

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
«ПЕРЕДОВЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ШКОЛЫ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

**КАТАЛОГ  
СПЕЦИАЛЬНЫХ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОСТРАНСТВ «ПЕРЕДОВЫХ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ШКОЛ»**



МИНОБРНАУКИ  
РОССИИ



НИЯУ

МИФИ



Передовые  
инженерные  
школы

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Методический центр «Передовые инженерные школы»

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

КАТАЛОГ СПЕЦИАЛЬНЫХ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ  
«ПЕРЕДОВЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ШКОЛ»

Москва 2024

УДК 377.09:62  
ББК 74.5:30-1  
К 29

**Каталог специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ».** – М.: НИЯУ МИФИ, 2024. – 108 с.

Предоставленный документ отражает результаты работы Методического центра «Передовые инженерные школы» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (МЦ ПИШ) в рамках Федерального проекта «Передовые инженерные школы» по сбору информации о созданных специальных образовательных пространствах в Передовых инженерных школах для совершенствования инженерного образования. В документе приведены описания специальных образовательных пространств, полученных от представителей ПИШ, разделенные по категориям и анализом способности повысить эффективность деятельности передовых инженерных школ в повышении уровня подготовки выпускников. Этот документ служит частью методических рекомендаций МЦ ПИШ НИЯУ МИФИ, направленных на обмен опытом между инженерными школами и усиление взаимодействия с индустриальными партнерами. Представленные практики являются ключевым инструментом для обогащения образовательного процесса и обеспечения соответствия требованиям современной индустрии.

*Составители: Тихомиров Г.В., Рыжов С.Н.*

ISBN 978-5-7262-3060-3

© Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ», 2024

## Содержание

Предисловие .....	4
Аббревиатуры и сокращения .....	6
Введение .....	8
1. Цели и задачи МЦ ПИИШ и каталога СОП.....	9
2. Требования к СОП в соответствии с паспортом ФП «ПИИШ» .....	10
2.1. Методы сбора данных .....	11
2.2. Приоритезация СОП ПИИШ.....	11
3. Специальные образовательные пространства.....	12
3.1. Специальные образовательные пространства в международной практике инженерной подготовки студентов .....	15
3.2. Опыт реализации специальных образовательных пространств в Передовых инженерных школах в качестве лучших практик ПИИШ .....	22
3.2.1. Специальные образовательные пространства ПИИШ типа «Лаборатория» .....	26
3.2.2. Специальные образовательные пространства ПИИШ типа «Опытное производство».....	56
3.2.3. Специальные образовательные пространства ПИИШ типа «Интерактивные комплексы опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий» .....	61
3.2.4. Специальные образовательные пространства ПИИШ типов «Цифровая фабрика», «Умная» фабрика» и «Виртуальная (кибер-физическая) фабрика» .....	82
3.2.5. Специальные образовательные пространства ПИИШ других типов.....	93
3.3. Анализ соответствия направлений реализации специальных образовательных пространств в передовых инженерных школах и международных, и российских трендов.....	95
Заключение .....	96
Список литературы .....	103

## Предисловие

Совместно с развитием инженерной науки в практической плоскости инженерии разрабатываются новые технологии производства, оборудование и специальное программное обеспечение, что приводит к необходимости совершенствования образовательной программы будущих инженеров. Программа обучения высших учебных заведений не всегда соответствует технологическим трендам, что приводит к низкой актуальности навыков и знаний выпускников. С целью решения данной проблемы, в 2022 году в Российской Федерации был запущен Федеральный проект «Передовые инженерные школы», сутью которого является создание отдельных структур передовых инженерных школ на базе крупнейших инженерных вузов Российской Федерации для современной подготовки и насыщения кадрами инженерных организаций Российской Федерации. Значительной особенностью ПИШ является полномасштабное сотрудничество с инженерными организациями – индустриальными партнерами ПИШ. Данное сотрудничество может заключаться в предоставлении образовательных пространств и материалов, участии при формировании образовательной программы, предоставлении мест для прохождения практик и стажировок, участии в научно-исследовательской работе студентов и т.д.

Современное высшее инженерное образование тесно связано с инновациями и технологическим прогрессом. В этом контексте ключевую роль играют современные специальные образовательные пространства: лаборатории, виртуальные фабрики, интерактивные комплексы и другие специальные образовательные пространства (СОП). Эти инфраструктурные элементы становятся неотъемлемой частью учебного процесса, способствуют совершенствованию инженерной подготовки студентов. Такие специально организованные пространства стимулируют творческое мышление, способствуют формированию у студентов ключевых компетенций и умений, необходимых для успешной работы в современной инженерной сфере.

Лаборатории и опытные производства играют важную роль в обучении будущих инженеров. Это места, где студенты могут применять теоретические знания на практике, проводить опыты, эксперименты, разрабатывать и тестировать новые технологии. приме-

нение современных технических средств в лабораториях позволяет создать реалистичную обстановку, повышает уровень погружения студентов в учебный процесс, помогает им лучше понимать и усваивать материал. В результате, студенты готовы к применению своих знаний в реальном инженерном процессе.

Инновационные виртуальные фабрики и интерактивные комплексы также играют важную роль в современном инженерном образовании. Они позволяют создать пространство для моделирования, разработки и тестирования инженерных проектов в условиях, близких к реальным. Это дает студентам возможность овладеть навыками работы с передовыми технологиями, понять процессы производства и разработки, а также применить полученные знания на практике.

Важно отметить, что СОП также способствуют интеграции студентов в научно-исследовательскую деятельность. Они предоставляют возможности для участия в проектах, направленных на решение актуальных проблем инженерной отрасли. Это стимулирует студенческий интерес к профессиональному развитию, позволяет им приобрести практический опыт, участвуя в инновационных проектах и исследованиях, и расширить свои профессиональные возможности. Таким образом, СОП играют ключевую роль в совершенствовании высшего инженерного образования и являются важным инструментом в развитии инженерной профессии в целом.

Задачей данного документа является представление результатов деятельности МЦ ПИШ по сбору данных о сформированных на территории ПИШ специальных образовательных пространствах. В данном документе представлены описания СОП ПИШ, в которые включен ряд параметров и характеристик, необходимых для успешного освещения и тиражирования успехов формирования СОП современного типа, отвечающих задачам трансформации и модернизации инженерного образования в Российской Федерации.

Документ является частью методических рекомендаций методического центра «Передовые инженерные школы» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (МЦ ПИШ НИЯУ МИФИ) и составлен для передачи передовым инженерным школам (ПИШ) для облегчения процесса обмена опытом в области передовых практик инженерного образования, использования СОП и взаимодействия с индустриальными партнерами между ПИШ.

## Аббревиатуры и сокращения

Аббревиатура	Расшифровка аббревиатуры
VR	– виртуальная реальность (англ. Virtual reality);
ВГАУ	– Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I;
ВУЗ	– высшее учебное заведение;
ГАК	– государственная аттестационная комиссия;
ГК	– государственная корпорация;
ДФФУ	– Дальневосточный федеральный университет;
ДГТУ	– Донской государственный технический университет;
ДПО	– дополнительное профессиональное образование;
ИП	– индустриальный партнер;
КНИТУ	– Казанский национальный исследовательский технологический университет;
КФУ	– Казанский (Приволжский) федеральный университет;
МАИ	– Московский авиационный институт;
МГТУ им. Н.Э. Баумана	– Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана;
МФТИ	– Московский физико-технический институт
МЦ ПИШ	– методический центр «Передовые инженерные школы»;
НГТУ им. Алексеева	– Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева;
НИОКР	– научно–исследовательская и опытно-конструкторская работа;
НИР	– научно-исследовательские работы;
НИРС	– научно-исследовательская работа студента;
НИТУ «МИСиС»	– Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»;
НИЯУ МИФИ	– Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

НовГУ	– Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого;
ОКР	– опытно-конструкторские работы;
ООО	– общество с ограниченной ответственностью;
ПАО	– публичное акционерное общество;
ПГУ	– Псковский государственный университет;
ПИШ	– передовая инженерная школа;
ПНИПУ	– Пермский национальный исследовательский политехнический университет;
ПО	– программное обеспечение;
ППС	– профессорско-преподавательский состав;
РНИМУ им. Н.И. Пи- рогова	– Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова;
РХТУ им. Д.И. Менде- леева	– Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева;
СОП	– специальное образовательное пространство;
СПбГМТУ	– Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
СПбПУ Петра Великого	– Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого;
ТГУ	– Национальный исследовательский Томский государственный университет;
ТПУ	– Национальный исследовательский Томский политехнический университет;
ТУСУР	– Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники;
УрФУ	– Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина;
ФП ПИШ	– федеральный проект «Передовые инженерные школы»;
ЮФУ	– Южный федеральный университет



## Введение

Для поддержания конкурентоспособности, эффективности и экономической целесообразности все предприятия должны соответствовать технологическим и экономическим трендам. Такое соответствие обеспечивается периодическими и своевременными модернизациями предприятий, включающими в себя: замену оборудования на современные аналоги, ввод новых технологических мощностей, совершенствование применяемых технологий и методов производства, совершенствование методов управления и т.д. Тем не менее, наиболее важным этапом поддержания работоспособности и эффективности предприятия является обеспечение предприятия квалифицированными кадрами, способными эффективно и полноценно использовать оборудование и ресурсы предприятия для его работы. Кадровый вопрос наиболее критичен для инженерных производств, в связи с большим числом требований к компетенциям, навыкам и знаниям инженеров, востребованных для такого производства.

Совместно с развитием инженерной науки, в практической плоскости инженерии разрабатываются новые технологии производства, оборудование и специальное программное обеспечение, что приводит к необходимости совершенствования образовательной программы будущих инженеров. Даже в отдельной отрасли инженерии функционирует большое число организаций – работодателей будущих инженеров технологии производства, оборудование и программное обеспечение которых значительно отличается. Таким образом, отдельным организациям требуется различный набор компетенций у выпускников одной специальности, что приводит к длительному периоду дополнительного обучения нового сотрудника. Кроме того, программа обучения высших учебных заведений не всегда соответствует технологическим трендам, что приводит к низкой актуальности навыков и знаний выпускников.

С целью решения данной проблемы, в 2022 году в Российской Федерации был запущен Федеральный проект «Передовые инженерные школы» (ФП ПИШ) [1], сутью которого является создание отдельных структур передовых инженерных школ (ПИШ) на базе крупнейших инженерных вузов Российской Федерации для современной подготовки и насыщения кадрами инженерных организаций

Российской Федерации. Существенной особенностью ПИШ является полномасштабное сотрудничество с инженерными организациями – индустриальными партнерами (ИП) ПИШ. Данное сотрудничество может заключаться в предоставлении образовательных пространств и материалов, участии при формировании образовательной программы, предоставлении мест для прохождения практик и стажировок, участии в научно-исследовательской работе студентов (НИРС) и т.д. Одним из обязательных условий для ИП является предоставление финансовых средств для обеспечения работы ПИШ.

В результате отборов, были выбраны 50 инженерных вузов, на базе которых были созданы ПИШ, для чего были предоставлены средства из федерального бюджета [2]. Отобранные вузы отличаются по географическому расположению, инженерной направленности, количеству и специальности ИП. Для формирования образовательного процесса в ПИШ используются как апробированные в базовых вузах методики и технологии, так и новые практики, разработанные в рамках сотрудничества с ИП. С учетом специфики федерального проекта отобранным ПИШ необходимо быстро и эффективно наладить образовательный процесс, обеспечить стабильный выпуск инженеров с новым набором компетенций, организовать финансовую профицитность ПИШ и максимизировать участие ИП в подготовке будущих сотрудников.

## **1. Цели и задачи МЦ ПИШ и каталога СОП**

Для обеспечения эффективной работы ПИШ необходим доступ студентов к современной инфраструктуре. С целью оказания методической помощи ПИШ был создан «Методический центр ПИШ» (МЦ ПИШ) на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», который также является одним из операторов ФП ПИШ. В задачи МЦ ПИШ входит сбор и анализ передовых практик ПИШ, характеристик и особенностей специальных образовательных пространств ПИШ, для их дальнейшего тиражирования среди ПИШ и, в перспективе, среди всех вузов Российской Федерации.

В рамках деятельности МЦ ПИШ был налажен процесс личного посещения всех ПИШ для рассмотрения передовых практик и СОП,

анализа эффективности и целесообразности реализации подобных практик и СОП в других ПИШ, уточнения проблематики и трудностей ПИШ для возможного содействия в решении данных трудностей.

В данном каталоге представлены результаты деятельности МЦ ПИШ по сбору данных о сформированных на территории ПИШ специальных образовательных пространств (СОП). В данном документе содержатся описания СОП ПИШ первой волны (созданные в результате отбора в 2022 году), в которые включен ряд параметров и характеристик, необходимых для успешного освещения и тиражирования успехов формирования СОП современного типа, отвечающих задачам трансформации и модернизации инженерного образования в Российской Федерации.

## **2. Требования к СОП в соответствии с паспортом ФП «ПИШ»**

Подробное описание типов СОП и требований, предъявляемых к их формированию и оснащению представлены в правилах «предоставления грантов в форме субсидий из федерального бюджета на поддержку программ развития передовых инженерных школ ...», которые были утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 8 апреля 2022 г. № 619 «О мерах государственной поддержки программ развития передовых инженерных школ» [1].

В соответствии с правилами, программы развития передовых инженерных школ должны включать мероприятия по обеспечению в партнерстве с высокотехнологичными компаниями условий для создания нового типа инженерной подготовки, осуществления прорывных разработок и исследований, направленных на решение задач, соответствующих мировому уровню актуальности и значимости в приоритетных областях технологического развития Российской Федерации. В том числе создание на базе передовых инженерных школ специальных образовательных пространств: лаборатории, опытные производства, интерактивные комплексы опережающей подготовки, цифровые, «умные», виртуальные (кибер-физические) фабрики. Пространства должны быть оснащены современным высокотехнологичным оборудованием, высокопроизводительными

вычислительными системами и специализированным прикладным программным обеспечением.

Одним из показателей, необходимых для достижения результатов предоставления гранта (для каждой передовой инженерной школы), является создание на базе передовой инженерной школы не менее 4 специальных образовательных пространств на конец 2024 года.

## ***2.1. Методы сбора данных***

Для формирования каталога специальных образовательных пространств ПИШ был реализован многоступенчатый алгоритм сбора и анализа данных для каждой ПИШ:

- 1) анализ буклетов и программ развития ПИШ;
- 2) личное посещение ПИШ для сбора данных и ознакомления с действующими СОП ПИШ;
- 3) проведение литературного обзора по теме применения СОП в инженерной подготовке студентов в мире и в Российской Федерации;
- 4) выбор параметров и характеристик для описания СОП и разработка анкеты сбора данных по СОП ПИШ;
- 5) целевой запрос передовым инженерным школам по предоставлению данных о действующих СОП в разработанном формате анкеты;
- 6) подготовка данного документа для представления описания СОП всех ПИШ с учетом опыта реализации подобных образовательных пространств в учебных организациях по всему миру (при наличии).

## ***2.2. Приоритезация СОП ПИШ***

Для первичной оценки проработанности и ценности СОП, с точки зрения задач федеральной программы «Передовые инженерные школы», был разработан механизм приоритезации, включающий следующие критерии:

- Рейтинг базового университета ПИШ – от 0 до 5 баллов (на основе «Рейтинга лучших вузов России RAEX-100, 2023 год», как наиболее актуального рейтинга).

- Качество описания СОП, полученного от ПИШ – от 0 до 5 баллов.
- Наличие количественных метрик результативности и эффективности СОП – от 0 до 5 баллов.
- Наличие описания по капитальным и регулярным финансовым и материальным затратам на воспроизводство и эксплуатацию СОП – от 0 до 5 баллов.
- Соответствие СОП заявленной категории – от 0 до 3 баллов.
- Вовлеченность индустриального партнера в работу СОП – от 0 до 2 баллов.
- Способность формирования новых передовых компетенций у студентов при обучении с использованием СОП– от 0 до 1 балла.
- Возможность использования функционала СОП в качестве источника внебюджетного финансирования – от 0 до 1 балла.

### 3. Специальные образовательные пространства

Специальные образовательные пространства могут отличаться по назначению, составу оборудования и типу решаемых задач. С целью структуризации документа было принято решение о выделении отдельных категорий СОП ПИШ. Классификация СОП в данной работе базируется на типах СОП, перечисленных в постановлении РФ № 619 [1,2]:

**Лаборатории.** Согласно наиболее общему определению, лаборатория – учреждение или его отдел, ведущие экспериментальную научно-исследовательскую работу, а также помещение, оборудованное для проведения научных, технических и других опытов. Например, химическая лаборатория, аэродинамическая лаборатория [3].

Типы лаборатории, реализованные на территории ПИШ, в зависимости от главной задачи лаборатории (обучение студентов и выполнение лабораторных работ, наработка практических навыков у студентов на реальных исследовательских задачах, выполнение научных исследований, разработка и тестирование новых продуктов) могут быть классифицированы по предназначению и целевому использованию:

- учебная лаборатория,

- научно-исследовательская лаборатория,
- учебно-научная лаборатория,
- экспериментальная лаборатория.

Данные подвиды лабораторий не имеют общепризнанных установленных определений и могут различаться для разных ПИШ в зависимости от характера эксплуатации СОП в рамках деятельности ПИШ.

**Опытные производства.** В соответствии с ГОСТ 14.004-83, опытное производство – производство образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или разработки конструкторской и технологической документации для установившегося производства [4].

Цель опытного производства – изготовление и отработка опытных образцов новых продуктов и технологических процессов, проверка и, при необходимости, корректировка метода производства. Помимо этих работ опытные производства выполняют различные работы и услуги, непосредственно не относящиеся к НИОКР (ремонтные работы, типографские услуги и т.д.), и осуществляют выпуск мелкосерийной продукции. Опытное производство может быть представлено предприятиями различных организационных и правовых форм с разной степенью хозяйственной самостоятельности — завод, цех, мастерская, опытно-экспериментальное подразделение, опытная станция, которые могут находиться на балансе научной организации или являться юридическим лицом. Опытное изделие зачастую используется в маркетинге для выяснения реакции на него потребителей и для внесения соответствующих корректив [5].

**Интерактивный комплекс опережающей подготовки.** Интерактивные комплексы опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий (ИКОП) — это образовательные ресурсы (в том числе электронные), предусматривающие активное вовлечение в совместную интеллектуальную деятельность студентов и научно-педагогических работников, созданные с целью реализации образовательных программ, отдельных дисциплин (модулей) и иных компонентов [6].

Интерактивные образовательные комплексы могут быть реализованы в формате деловых игр, кейсов на базе решения прикладных задач и проведения научных исследований, учебных тренажеров, имитационных симуляторов, проектно-аналитических сессий, ис-

пользования цифровых моделей реальных систем и др. с внедренной обратной связью, позволяющей проводить оценку образовательных достижений обучающихся по технологическим решениям в области инженерного образования [6].

**Цифровые фабрики.** В соответствии с [6], цифровые фабрики – системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения от стадии исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы изделия, и заканчивая созданием цифрового макета, «цифрового двойника», опытного образца или мелкой серии. Цифровая фабрика подразумевает наличие «умных» моделей продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) на основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования Smart Digital Twin – [(Simulation & Optimization) Smart Big Data]-Driven Advanced (Design & Manufacturing).

**«Умные» фабрики.** «Умные» фабрики – системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения от заготовки до готового изделия, отличительными чертами которого является высокий уровень автоматизации и роботизации, исключая человеческий фактор и связанные с этим ошибки, ведущие к потере качества («безлюдное производство»). В качестве входного продукта «умных» фабрик, как правило, используются результаты работы цифровых фабрик. «Умная» фабрика обычно подразумевает наличие оборудования для производства станков с числовым программным управлением, промышленных роботов и т.д., а также автоматизированных систем управления технологическими процессами (Industrial Control System, ICS) и систем оперативного управления производственными процессами на уровне цеха (Manufacturing Execution System, MES) [6].

***Виртуальные (кибер-физические) фабрики.***

Системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения за счет объединения цифровых и (или) «умных» фабрик в распределенную сеть. Виртуальная фабрика подразумевает наличие информационных систем управления предприятием (Enterprise Application

Systems, EAS), позволяющих разрабатывать и использовать в виде единого объекта виртуальную модель всех организационных, технологических, логистических и прочих процессов на уровне глобальных цепочек поставок (поставки, производство, дистрибуция и логистика, сбыт, послепродажное обслуживание) и (или) на уровне распределенных производственных активов [6].

В связи с тем, что типы СОП «Цифровая фабрика», «Умная фабрика» и «Виртуальная (кибер-физическая) фабрика» являются связанными категориями (входным продуктом «умной» фабрики является производимый продукт цифровой фабрики, а их объединение – виртуальной фабрикой), то СОП ПИИШ данных видов будут рассматриваться в одном разделе.

### ***3.1. Специальные образовательные пространства в международной практике инженерной подготовки студентов***

Одним из обязательных условий формирования профессиональных компетенций у студентов является применение знаний и навыков на практических задачах в условиях, приближенных к реальной профессиональной обстановке. В данном случае, под профессиональной обстановкой следует понимать рабочее место с профессиональным инструментарием и оборудованием, обладающее функционалом рабочего места в реальной компании – будущем работодателе студента. Использование студентами современного профессионального оборудования и инструментария при выполнении практических, лабораторных и научно-исследовательских работ позволит сформировать навык использования подобных средств, что снизит время дополнительного обучения выпускников на рабочих местах.

Инструменты, используемые в образовательном процессе, совершенствуются непрерывно. Мировой опыт показывает неуклонный рост значимости IT-технологий во всех сферах, включая академическую среду. Современные тренды в образовании заключаются в повсеместном внедрении цифровых решений. Так, достижения в мультимедийных и цифровых технологиях сделали инструменты виртуальной реальности доступными для массового пользователя. Недавнее создание относительно дешевых и доступных массовых моделей шлемов виртуальной реальности в совокупности с интен-



сивным развитием видеоигр привлекло внимание академической среды и промышленности. Виртуальная реальность рассматривается ими как новый вид образовательной и тренировочной среды. В ней обучающиеся свободно могут практиковаться во взаимодействии с комплексными инженерными системами, осваивать технологический процесс или производство, либо иметь неограниченный доступ в учебно-исследовательские лаборатории. Пандемия COVID-19 ускорила внедрение виртуальной реальности в образовательный процесс. Сегодня рассматриваются два основных подхода к применению виртуальной реальности. Первый вариант – дополненная реальность, где учащийся, находясь в реальной лаборатории/мастерской/производственной среде, получает данные и информацию о процессе на цифровые устройства в режиме реального времени, например, планшеты, смартфоны, очки. Таким образом, расширяется осведомленность о протекающих физических процессах и работе оборудования. Второй подход – создание виртуальных пространств (лаборатории/мастерские/производства), являющихся либо уникально созданными, либо цифровыми двойниками реально существующей инфраструктуры [7].

Цифровые пространства предлагают ряд преимуществ. Например, обучающийся может получить неограниченный доступ к сложному и уникальному оборудованию, а также возможность свободной работы на нем без риска его повреждения, создания аварийной ситуации с последствиями (актуально, например, для химической и радиологической отрасли), ущерба для здоровья. Сам по себе образовательный процесс может быть более наглядным, так как студент, благодаря возможностям цифровых технологий, может наблюдать скрытые узлы и механизмы машин, устройств; возможно наблюдение за процессом с различных ракурсов и в разном масштабе, что недоступно в реальности. Также, являясь индивидуальным инструментом, цифровое пространство предлагает студенту удобный ему темп и необходимую повторяемость образовательного блока. В рамках университета, цифровые пространства являются более дешевыми альтернативами реальным лабораториям, не занимая при этом физического пространства. Тем не менее, они не лишены недостатков. Цифровые пространства требуют тщательного моделирования изучаемой среды, наличия квалифицированного об-

служивающего IT-персонала, а также регулярного обновления для сохранения своей актуальности [7].

Полностью отказаться от обучения в «живом» формате в академической среде не готовы. Об этом же говорят и сами студенты. Порой инструмент виртуальной реальности приводит к худшим результатам образования, нежели традиционная форма обучения. Причиной тому могут быть, например, перегрузка сенсорного восприятия у обучающегося, отвлекающая фоновая информация или недостаточная структурированность среды [8]. Однако тенденция комбинирования «реального» и «виртуального» обучения в мире уже сформировалась. Подобная практика успешно применяется в различных мировых университетах [9].

В рамках европейского проекта ERASMUS+ Janus был создан цифровой двойник лаборатории по робототехнике с интерактивной системой оценивания учащегося. Эта система сразу указывает учащемуся на его ошибки и предлагает их немедленно исправить. В Уханьском университете науки и технологий в Китае была создана виртуальная платформа для химиков-технологов, имитирующая полномасштабное химическое производство. Платформа выполнена в виде трехмерной графической среды, воспроизводящей локацию химического завода. Студенты, используя виртуального персонажа, должны управлять протекающим на заводе химическим производством. Платформа позволяет студентам вносить изменения в операционные режимы, знакомить с инструкциями по безопасности, а также участвовать в ликвидации нештатных и аварийных ситуаций. Виртуальная платформа разработана на открытом трехмерном движке, используемом для создания компьютерных игр (Unity3D). Сама платформа также использует сторонние приложения и программы для создания трехмерных моделей оборудования, внутреннего интерфейса, графических и звуковых эффектов, а также симуляции физического процесса (Google SketchUp, The Visual Studio 2013, Next-Gen UI kit, и т.п.) [10].

В Рурском университете в Бохуме (Германия) создан цифровой двойник лабораторного гидравлического контура. Двойник имеет подключение к реальной установке. Студенты, используя компьютеры со шлемом виртуальной реальности, могут управлять контуром удаленно и видеть результаты своих действий [11].

В Чешском техническом университете в Праге реализован оригинальный проект онлайн-лаборатории реального существующего и функционирующего исследовательского ядерного реактора VR-1 – исследовательского реактора нулевой мощности бассейного типа. Суть заключается в том, что студенты, физически находясь за пределами реакторного здания, с помощью онлайн-коммуникации подключаются к цифровой инфраструктуре лаборатории через специально разработанное приложение SWIRL (SoftWare for Internet Reactor Lab). В режиме реального времени она передает показания датчиков реактора, доступные для дальнейшей обработки студентами, а также ведет непрерывную видео- и аудиозапись реакторного зала и пульта управления. Персонал реактора при этом находится на рабочих местах, осуществляя контроль и управление установкой, а также выполняя программу занятия, например, вывод реактора в критическое состояние. В реакторном зале также находится один или несколько преподавателей, они читают студентам лекцию, попутно объясняя происходящее и беседуя с персоналом. На базе лаборатории реализован курс из шести лекций для студентов, включающий технический тур по реактору, подход к критическому состоянию, изучение кинетики реактора, калибровку стержней управления, изучение характеристик безопасности эксплуатации установки, а также составление карты потоков нейтронов. Лаборатория ведет также просветительскую деятельность для учащихся школ, устраивая короткие открытые уроки через трансляцию на YouTube [12].

В Университете Рея Хуана Карлоса (Испания) создана иммерсивная среда Fluid LabVir, дополняющая лабораторный курс по механике жидкостей и газа. Среда представляет веб-сайт, где студенты могут ознакомиться с теоретической частью по изучаемому физическому явлению, посмотреть поясняющие видеоролики, медиаматериалы, перейти к объясняющим видеороликам об устройстве реальных установок в лаборатории университета и, наконец, перейти к главной части ресурса – иммерсивному симулятору. Симулятор является копией реальных экспериментальных установок университета. Он выполнен в виде окна, на котором приведена схема установки, окна управления основным оборудованием (насосы, вентили и т.п.), а также окна считывания показаний датчиков. С помощью симулятора студенты впервые знакомятся с установкой через про-

стые опыты. Сама по себе среда не заменяет реальную лабораторию, но позволяет студентам хорошо подготовиться к занятиям через новую технологию обучения [13].

В школе Химического машиностроения в Университете Аалто (Финляндия) разработана интерактивная виртуальная химическая веб-лаборатория по изучению техники безопасности, оснащенная модулем цифрового экзамена с автоматической оценкой [14]. Платформа позволяет свободно перемещаться по лабораторным помещениям, взаимодействовать с окружением, а также запускать встроенные видеоролики, слайд-шоу и мини-игры.

Левенский университет (Бельгия) погружает студентов в виртуальную среду, демонстрирующую процесс изготовления мыла, а также его историческую эволюцию [15]. Студенты поэтапно проходят через средневековый процесс мыловарения, современный лабораторный процесс, CFD-анализ процесса в лабораторных реакторах и, наконец промышленное производство. Это позволяет студентам изучить сложный химический процесс с разных точек зрения.

В инженерной школе Эдинбургского университета (Шотландия) создана интерактивная удаленная лаборатория по изучению настройки и управлению электродвигателей с циклом лабораторных работ для студентов [16]. Учащиеся через специальный интерфейс в режиме реального времени получают удаленный доступ к оборудованию, а также принимают сигналы от датчиков и визуально контролируют состояние установки через видеокамеры наблюдения. Таким образом, студент физически не привязан к лаборатории, но может работать с реальными устройствами.

Идентичный подход в проведении лабораторных работ старается развивать международная платформа LabsLand [17], идеей которой является объединение удаленных лабораторий из университетов по всему миру. С помощью платформы студент может подключаться к работе из предлагаемого каталога и выполнять ее, имея дистанционный доступ к органам управления установки и возможность получения данных в реальном времени. На текущий момент платформа предлагает работы по биологии, химии, электротехнике, общей инженерии, робототехнике, мехатронике.

Следующей тенденцией в создании новых образовательных инструментов являются «серьезные игры» (англ. «Serious games»). Серьезная игра – программа, которая в игровой форме погружает уча-

щихся в конкретную инженерную задачу или процесс, обучая знаниям и умениям, необходимым для ее решения. Такая программа содержит элементы видеоигр (баллы, награды, задания) для повышения привлекательности и интереса процесса обучения, но при этом она полностью сосредоточена на реальной прикладной проблеме или процессе [18].

Одним из примеров серьезной игры является COSIGA, цель которой заключается в создании коммерчески успешного грузового автомобиля для существующего рынка. Игрокам в количестве 5 человек предстоит пройти через все этапы создания продукта: анализ рынка, определение технического задания, проектирование продукта, создание производства и логистических цепочек, маркетинг. Решение задач и возникающих в ходе игры проблем осуществляется через коммуникацию между всеми игроками, без которой достижение успеха невозможно [19].

Этот продукт был разработан в Бременском институте производства и логистики, являющемся в настоящее время одним из крупнейших исследовательских институтов Германии. В его портфолио также входят и другие серьезные игры. Например, SmartCity – однопользовательская игра по созданию «умного» города, где необходимо повышать безопасность и эффективность его различных районов, учитывая их взаимное влияние.

Более простыми вариантами серьезных игр являются игры-викторины. Например, серия игр-викторин по органической и неорганической химии, в которой студенты отвечают на различные вопросы с вариантами ответов [20–25].

Сфера серьезных игр продолжает активно развиваться. На текущий момент можно найти игры по многим направлениям инженерной подготовки: электротехнической [26], общемеханической [27–28], промышленного и гражданского строительства [29] и другие.

Активно развивается проектное обучение. Оно базируется на идее вовлечения студентов в среднесрочный или долгосрочный исследовательский или инженерный проект на правах полноценного исполнителя. Стоит отметить, что проект может реализовываться как на уже имеющейся инфраструктуре вуза, так и на специально созданной для него. Как правило, подобное обучение ограничивается рамками одного конкретного проекта и по его завершении требуется создание нового. Студенты могут участвовать индивидуально,

но чаще в проекте задействуются группы студентов. Это помогает им развивать не только технические знания и умения, но и отрабатывать навыки работы в команде, с распределением ролей и зон ответственности [30].

В Политехническом университете Мадрида студенты участвовали в создании аэростатного зонда для изучения конвективного теплопереноса в стратосфере. Перед студентами стояла задача полного проектирования и создания зонда в лабораториях и производственных помещениях вуза за 5 месяцев [31].

Традиционные учебные лаборатории также не теряют актуальности в наши дни. Вместе с тем некоторые вузы стремятся создать уникальную инфраструктуру, в которой студенты были бы вовлечены не в выполнение рутинных стандартных заданий, а в разработку и тестирование реальных технологий и устройств. В целом, такие лаборатории могут казаться похожими на проектное обучение. Однако проектное обучение предполагает работу в рамках одного конкретного задания, в то время как лаборатории предлагают инфраструктуру, на базе которой возможна реализация нескольких проектов, а также непрерывное проведение исследовательской деятельности.

Одним из примеров передовой лаборатории является StarLab в Туринском Политехническом Университете (Италия) на кафедре механической и политехнической инженерии. В ней проводится создание малых спутников (Cubesats), их тестирование, а также планирование их миссий [32]. Цель команды студентов и исследователей лаборатории – подготовить будущих профессионалов космической отрасли на примере реализации реальной космической миссии, начиная с разработки аппарата и заканчивая его эксплуатацией на орбите. При этом студенты принимают непосредственное участие в программе на всех ее этапах. Студенты-бакалавры прикрепляются к лаборатории для прохождения обязательной практики в рамках образовательной программы по космической инженерии. Магистры, принимая участие в разработке систем аппарата и их миссий, готовят магистерские работы. Аспиранты являются руководителями работ по созданию одиночного аппарата и координируют работу внутри своей группы между бакалаврами и магистрами. Лаборатория оснащена рядом комплексов: система по разработке аппаратов и их миссий (разработана по стандартам Европейского

космического агентства ESA), чистые комнаты для сборки аппаратов, отдел проверки функциональности аппарата, а также контрольный центр коммуникации и управления аппаратом во время его миссии.

В Университете прикладных наук Шмалькальдена (Германия) создана лаборатория для демонстрации современной производственной линии на примере линии по заполнению бутылок жидкостью. В учебно-демонстрационной линии используются только промышленные стандарты и оборудование для передачи студентам актуальных знаний о современных технологиях производства [33].

### ***3.2. Опыт реализации специальных образовательных пространств в Передовых инженерных школах в качестве лучших практик ПИШ***

Во всех действующих ПИШ, а также в большинстве высших учебных заведений Российской Федерации функционируют образовательные пространства для проведения лабораторных, практических и исследовательских работ. Часть таких пространств специализирована под требования научных групп или под направление подготовки обучающихся студентов. Однако наибольший интерес представляют экспериментальные и передовые практики организации структуры и работы подобных образовательных пространств.

Некоторые лучшие практики ПИШ, которые были подробно описаны в каталоге кандидатов лучших практик «Передовых инженерных школ» методического центра ПИШ, активно используют специализированную инфраструктуру как на территории ПИШ и базового вуза, так и на территории индустриальных партнеров ПИШ. Подобная инфраструктура зачастую не является специальным образовательным пространством ПИШ в связи с ограниченным функционалом или спецификой инфраструктуры. Далее приведены описания лучших практик, использующих подобную инфраструктуру, но описание которых как СОП не были предоставлены со стороны ПИШ.

В ПИШ «МАСТ» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС») и ПИШ «Промхимтех» (Казанский национальный исследовательский технологический университет) были реализованы СОП в хорошо известном формате «Learning

Factory»). Концепция подразумевает организацию обучающего комплекса, оснащенного современным производственным оборудованием и специалистами по работе с данным оборудованием, которые также являются кураторами и наставниками в процессе производственной практики студентов в данном комплексе. Важным преимуществом реализации такой концепции является приобретение учебным заведением собственных производственных мощностей и возможности закрепления компетенций студентов в процессе выполнения учебных или реальных производственных заказов. Впервые подобный концепт был реализован ещё в 1994 году в Германии, где и была доказана эффективность и результативность подобного метода обучения. Проблемами, препятствующими повсеместной реализации данной концепции, являются высокие капитальные затраты на строительство комплекса и его оснащение, а также затраты на обслуживание оборудования, зарплаты персоналу и приобретение расходных материалов.

Реализованная в ПИШ «МАСТ» (Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС») площадка «Кинетика» (инжиниринговый центр быстрого промышленного прототипирования высокой сложности «Кинетика») полностью соответствует классической концепции «Learning factory» и включает в свой состав высокотехнологичное оборудование общей стоимостью около 500 миллионов рублей. В рамках деятельности СОП проводятся практики и стажировки студентов, а также планируется проведение исследований в области аддитивных технологий. Подробное описание практики приведено в приложении 51 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

В ПИШ «Промхитех» (Казанский национальный исследовательский технологический университет) реализована более узкоспециализированная концепция learning factory, связанная с обучением студентов на тренажерах RTsim — компьютерных тренажерах для нефтегазового сектора. С 2022 года система цифровых тренажеров «РТСИМ.Карьера» активно используется в образовательном процессе ПИШ. В частности, модуль «Цифровые модели нефтегазовой отрасли» встроен в программы ДПО ПИШ. По программе ДПО ПИШ «Промхитех» обучены ППС университета профильных кафедр, использование цифровых моделей внедряется в учебный процесс. Данный подход позволяет предоставить работодателям циф-



ровые метрики освоения студентами навыков на тренажерах РТСИМ для стажировок и дальнейшего трудоустройства. Подробное описание практики приведено в приложении 52 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

Одним из наиболее популярных направлений практик в области СОП является создание интерактивного цифрового образовательного пространства. Подобные платформы могут использоваться как единая точка доступа к современному вычислительному инструментарию с виртуальными рабочими местами, площадке внеучебного развития студентов, базы размещения учебных курсов и ДПО и другое.

В ПИШ «Цифровое производство» (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина) студентам доступна «платформа цифрового инжиниринга» («Академия цифрового инжиниринга»), которая представляет собой единую экосистему инженерного образования и цифровых инженерных разработок. Подобная система может быть использована как для образовательного процесса, так и для разработки с использованием современного инженерного ПО (PLM, CAD, CAE и др.). Платформа предоставляет для обучения такие сервисы, как облачные сервисы, виртуальные рабочие места, виртуальные приложения, хранение виртуальных рабочих мест и пользовательских данных. Подробное описание практики приведено в приложении 54 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

В ПИШ «Передовая медицинская инженерная школа» (Самарский государственный медицинский университет) реализовано «Цифровое образовательное пространство ПМИШ», которое предназначено для формирования у обучающихся научной картины мира на стыке инженерных и медицинских наук. Оно включает мобильное приложение и программный сервис для построения дерева компетенций и индивидуальных компетентностных профилей. Им пользуются обучающиеся, руководители образовательных программ и эксперты от высокотехнологичных компаний. Особенностью пространства являются формирование продукто-ориентированных проектов и автоматизированное построение индивидуальных образовательных траекторий с учетом развития компетентностных профилей в области инженерной подготовки и медицины.

Подробное описание практики приведено в приложении 55 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

Еще одним направлением СОП, реализуемых на территории ПИШ, является применение VR-технологий для проведения исследований, лабораторных и практических работ. VR-технологии позволяют выполнять лабораторные работы, которые невозможно осуществить в реальности из-за опасности или дороговизны их проведения.

В ПИШ «Институт перспективного машиностроения «Ростсельмаш»» (Донской государственной технической университет) в 2022 году было создано специальное образовательное пространство – «многофункциональная лаборатория имитационного моделирования и виртуальной реальности». Целью создания лаборатории является выполнение проектов и решение прикладных задач с применением технологий виртуальной реальности. Подробное описание практики приведено в приложении 58 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

Другим примером применения виртуальной реальности является «VR комплекс диагностики компетенций», который был запущен в ПИШ «Передовая медицинская инженерная школа» (Самарский государственный медицинский университет). Данные пространства широко используются для проведения исследовательских и тестовых работ в виртуальной реальности. Подробное описание практики приведено в приложении 59 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

Релевантным примером переноса «опасных» лабораторных работ в виртуальное пространство служит комплекс виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе ПИШ «Передовая инженерная школа химического инжиниринга и машиностроения» (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева), в числе которых – лабораторные работы с радиоактивными материалами, сильными кислотами и взрывоопасными составами. Более того, подобная практика позволяет осуществить цифровую трансформацию образовательного процесса с использованием новейших технологий. В число возможных преимуществ реализации входит разработка специализированных цифровых тренажеров, конструкторов тренажеров и методологических рекомендаций для

преподавателей. Подробное описание практики представлено в приложении 60 каталога кандидатов лучших практик ПИШ.

### *3.2.1. Специальные образовательные пространства ПИШ типа «Лаборатория»*

Созданный в ПИШ «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» (Дальневосточный федеральный университет) «Научно-экспериментальный центр «Проектирование продуктов и рационов персонализированного питания» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.1 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») представляет собой площадку для разработки методов проектирования, технологий и товароведной оценки потребительского качества специализированных и персонализированных продуктов и рационов питания с применением различных видов сырья дальневосточного региона на основании учета генетических особенностей потребителей. Центр включает в свой состав «Лабораторию технологии продукции «HoReCa» и «Лабораторию нутрициологии». В задачи центра входят научно-исследовательские работы, разработка и утверждение технической документации, проведение выпуска опытных партий, проведение практических и лабораторных работ для студентов и аспирантов и другие задачи. В состав рабочей группы входят как научные сотрудники с кандидатской степенью, административный персонал и аспиранты, так и студенты ПИШ. На базе СОП совместно со студентами ПИШ были выполнены научно-исследовательские работы и получены 5 РИД, проведены практические и лабораторные работы в рамках учебного процесса ПИШ, выполнены экспериментальные части диссертационных работ магистрантов, аспирантов, докторантов в количестве 7 работ, в рамках курсового и дипломного проектирования – 8 работ.

На территории ПИШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» (Самарский университет имени С.П. Королева) функционирует «Лаборатория интеллектуальных систем управления (ЛИУП)» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.2 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), в задачи которой входит разработка цифровых двойников производственных ячеек (участка,

цеха, комплекса) – интегрированных цифровых систем оперативно-го планирования и управления производственной системой. В состав рабочей группы входят как научные сотрудники с кандидатской степенью и аспиранты, так и студенты ПИШ. На базе ЛИУП проводилась проектно-технологическая практика бакалавров 2 курса, проводится НИРС магистрантов 1 курса, проводятся регулярные проектно-практические занятия со школьниками, в т.ч. в формате «Университетские субботы: Цифровое производство», «Школа Королева», конструкторский марафон, технологический чемпионат, образовательной программы «Цифровизация и роботизация производств» (120 чел.). На базе ЛИУП ведется подготовка студентов по дисциплине ИОТ «Цифровая трансформация производства на базе концепции «Индустрия 4.0» (60 чел.). На базе СОП ведется подготовка команды магистрантов ПИАШ (1 и 2 года обучения) для участия в соревнованиях профессионального мастерства по компетенции «Цифровое производство» (Кластер «Креономика») и проводятся мероприятия по научно-профессиональному туризму студентов младших курсов (бакалавров) с целью их ранней профессиональной идентификации и знакомства с технологическими возможностями ПИАШ: фестиваль «Первый космический», Welcome Science Party в рамках Science Week ИДЭУ (200 чел.). Кроме того, СОП является площадкой для проведения курсов ДПО для специалистов предприятий (13 чел.): современные методы и модели анализа и оптимизации управления технологическими цепочками поставок, цифровое производство.

В ПИШ «Космическая связь, радиолокация и навигация» (ННГУ им. Н.И. Лобачевского) функционирует Учебно-лабораторный комплекс распределенных вычислений (подробное описание СОП приведено в разделе 2.3 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), который может принести ощутимый вклад в учебный процесс студентов образовательных программ ПИШ. Основными целями интерактивного лабораторного комплекса являются: внедрение распределенных вычислений в реальные задачи науки, исследования в области распределенных вычислений, выполнение научно-исследовательских работ, преддипломных практик и выпускных квалификационных работ бакалаврами и магистрами, в том числе с привлечением специалистов высокотехнологичной компании-партнера АО «Информаци-

онные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева» в интерактивном и дистанционном форматах.

Также в ПИШ «Космическая связь, радиолокация и навигация» (ННГУ им. Н.И. Лобачевского) функционирует «Учебно-лабораторный комплекс систем связи сверхвысокого диапазона частот» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.4 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП является площадкой для выполнения научных проектов ПИШ по разработке макета каналообразующей аппаратуры широкополосного канала межспутниковой связи сверхвысоких диапазонов частот для многоспутниковых систем с привлечением магистров, преддипломных практик и выпускных квалификационных работ магистрами, в том числе с привлечением специалистов высокотехнологичной компании-партнера АО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева». В задачи комплекса входит: разработка методов и подходов к созданию модульных полупроводниковых приемо-передающих устройств широкополосного канала связи и измерение их параметров, создание автоматизированных измерительных систем на основе интерактивного управления программируемыми средствами измерения, разработка новых лабораторных и практических работ и практик на базе научных исследований и перспективных разработок.

В передовой медицинской инженерной школе «Цифровое здравоохранение, нейротехнологии и биотехнологии» (Самарский государственный медицинский университет) создано «Образовательное пространство анатомического прототипирования» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.5 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), которое служит для разработки трехмерных анатомических моделей тела человека для интерактивных анатомических столов и трехмерных анатомических атласов. Модели разрабатываются и адаптируются по заказу партнера – высокотехнологичной компании «Развитие», занимающейся производством и дистрибуцией интерактивных комплексов очного и дистанционного обучения. Другой задачей пространства является прототипирование и трехмерное моделирование органов человека при производстве бионических продуктов – персонифицированных имплантов. На базе СОП организована проектная работа и образовательная деятельность по подго-

товке кадров для ряда НИОКТР по трехмерному анатомическому моделированию, разработке виртуальных анатомических тренажеров и атласов, прототипирования и 3D-моделирования при производстве бионических продуктов (имплантов).

В ПИШ «Кибер Авто Тех» (Казанский (Приволжский) федеральный университет) функционирует комплекс из 9 лабораторий, описание которых приведено далее.

В ПИШ «Кибер Авто Тех» функционирует научно-учебная «Лаборатория промышленного дизайна транспортных средств» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.6 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), в которой выполняются такие задачи, как: проектирование стилевых решений экстерьера и интерьера концептуальных автомобилей, генерирование идеи и моделирование поверхности; выявление художественно-образных и стилистических принципов технической эстетики, применяемых при разработке транспортных средств в соответствии с функциональными, эргономическими и техническими характеристиками; создание креативных продуктов для автомобилестроения: изготовление макетов в масштабе визуализации, создание автомобилей в виртуальной реальности. Лаборатория оснащена всем необходимым оборудованием для работы студентов с использованием технологий виртуальной реальности.

Также в ПИШ «Кибер Авто Тех» функционирует научно-учебная «Лаборатория новых материалов» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.7 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), которая предназначена для работы над следующими задачами: мониторинг мировых передовых разработок в области материаловедения, в том числе методов исследования материалов (участие в работе выставок, конференций, стажировки); исследование структуры и структурообразования металлических и неметаллических материалов в твёрдом и жидком состоянии с помощью современных методов физико-химического анализа; оценка и прогнозирование возможности повышения эксплуатационных (ресурс работы) и физико-механических (снижение веса, вибрации, шума) характеристик материалов для машиностроения за счет усовершенствования технологии получения деталей; разработка методик для достоверной оценки качества материалов и технологий их изготовления. В ре-

зультате работы СОП были разработаны и внедрены две новые образовательные программы (ВО и ДПО) по сквозным цифровым технологиям. Число обучающихся по образовательным программам (ВО и ДПО) составляет 28 человек. По программам ДПО в ПИШ КФУ уже завершили обучение 14 инженеров.

Учебная «Лаборатория водородной энергетики» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.8 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») также реализована на территории ПИШ «Кибер Авто Тех». В задачи лаборатории входит ознакомление студентов с альтернативными источниками энергии и накопителями энергии и с основными компонентами низкотемпературных топливных элементов. На базе СОП студенты изучают технологии сборки низкотемпературных топливных элементов, исследуют основные параметры и характеристики топливных элементов, а также методики и программы испытаний топливных элементов и батарей топливных элементов. Студенты проводят исследование факторов и условий позволяющих повысить эффективность и электрический КПД топливного элемента, а также изучают процесс получения водорода электролизом воды. В результате работы СОП была создана и внедрена новая образовательная программа (ВО и ДПО), по которой обучаются 82 студента. По программам ДПО в ПИШ КФУ уже завершили обучение 14 инженеров.

Учебно-научная «Лаборатория прототипирования» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.9 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») является платформой для разработки металлических порошковых композиций, полимерных и композиционных гранул для 3D-печати, технологий лазерного спекания углеродистых многокомпонентных порошков, технологий изготовления композитных изделий с высокой прочностью, теплопроводностью, электропроводностью, радиопрозрачностью, технологии изготовления филаментов с непрерывными волокнами (стекло, базальтовые и углеродные). В результате деятельности СОП были разработаны и внедрены три новые образовательные программы (ВО и ДПО), по которым обучаются 44 студента. По программам ДПО в ПИШ КФУ уже завершили обучение 10 инженеров.

Учебная образовательная лаборатория «Мехатроника» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.10 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») создана для проведения исследований в области подготовки инженерных кадров, разработка методик преподавания инженерных дисциплин для отечественного машиностроения, а также разработки кейсов по обучению студентов направления 15.03.06 Мехатроника и робототехника и повышения квалификации профессорско-преподавательского состава. В результате работы СОП были разработаны и внедрены две новые образовательные программы (ВО и ДПО), по которым обучаются 44 студента.

В задачи СОП «Лаборатория моделирования технологий заготовительного производства машиностроения» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.11 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») входит: моделирование, проектирование, оптимизация, реверс-инжиниринг и создание новых процессов обработки металлов давлением, прокатки, прессования, термообработки, а также моделирование, проектирование, оптимизация, реверс-инжиниринг и создание новых процессов литейных технологий: заполнение формы металлом, расчет температурных полей, расчет поля жидкой фазы, расчет поля скоростей, расчет конвективных потоков, расчет поля давлений, расчет сегрегации (хим. неоднородность), расчет дефектов, расчет напряжений и деформаций, работа ТЭНов, каналы охлаждения, работа фильтров, учет многократного использования формы. В результате работы СОП были разработаны и внедрены две новые образовательные программы (ВО и ДПО), по которым обучаются 44 студента ПИШ «Кибер Авто Тех».

Учебно-научная «Лаборатория исследований материалов топливных элементов» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.12 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») занимается вопросами поиска результатов прикладных и фундаментальных исследований и патентов отечественных и зарубежных авторов в области проектирования, моделирования процессов и прогнозирования характеристик топливного элемента (ТЭ) с протонообменной мембраной (ПОМ), формированием программ и методик для проведения исследований по повышению стабильности, энергоэффективности и



ресурса ТЭ, разработкой решений и построение моделей объекта исследований: разработка и исследование расчетной модели стека ПОМ ТЭ (1D) и другими связанными вопросами. В результате деятельности СОП были разработаны и внедрены две новые образовательные программы (ВО и ДПО), по которым обучаются 82 человека. Программы ДПО завершили 14 человек. Привлеченный объем средств на исследования и разработки в интересах бизнеса – 21 млн рублей.

Учебно-научная «Лаборатория интеллектуальных автомобилей» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.13 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») создана для разработки алгоритмов детектирования и распознавания объектов в имитационной среде (считывание данных с радаров, камер, лидаров), разработки программного обеспечения для фильтрации данных, получаемых с сенсоров, разработки прототипа программно-алгоритмического комплекса визуальной навигации и других связанных вопросов. В результате деятельности СОП была разработана и внедрена новая образовательная программа (ВО и ДПО), по которой обучаются 14 человека. Программу ДПО завершили 14 человек. Привлеченный объем средств на исследования и разработки в интересах бизнеса – 25 млн рублей.

Учебно-научная «Лаборатория систем связи» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.14 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») также создана в ПИШ «Кибер Авто Тех». В задачи лаборатории входит: исследование систем безопасности и защиты автомобиля, исследование условий успешной работы систем управления беспилотных автомобилей в условиях отсутствия связи и данных от базовых станций навигационных систем, разработка программного обеспечения для комплексирования данных, получаемых от навигационной системы и инерциальной системы точного позиционирования, разработка программного обеспечения для работы с беспроводными каналами связи (с целью обучения и объединения GSM/GPRS с модулями GPS по различным протоколам), разработка систем защищенного информационного взаимодействия между объектами на основе виртуальных частных сетей, разработка оптимальных решений организации информационного обмена на подвижных объектах. В результате работы СОП были разработаны и

внедрены две новые образовательные программы (ВО и ДПО), по которым обучаются 53 человека. Программы ДПО завершили 14 человек. В результате реализации программ ДПО были привлечены дополнительные внебюджетные средства в размере 0,25 млн рублей.

В ПИШ «Высшая школа авиационного двигателестроения» (Пермский политех) создана лаборатория «Научно-образовательная фабрика аддитивных технологий» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.15 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи лаборатории входит: организация научно-исследовательских, опытно-конструкторских и внедренческих работ, изготовление прототипов, опытных образцов и опытных партий изделий, профессиональная переподготовка и повышение квалификации сотрудников предприятий, а также проектная и профориентационная деятельность. За время функционирования СОП были получены пять РИД, 97 студентов прошли практику, за счёт выполнения НИОКТР были привлечены дополнительные внебюджетные средства в размере 30 млн рублей. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, аспиранты, административный персонал и студенты ПИШ.

В передовой инженерной школе атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии (НГТУ им. Р.Е. Алексеева) создана научно-техническая лаборатория «Жаропрочные и композиционные материалы» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.16 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Лаборатория работает по трем основным научным направлениям: разработка и экспериментальные исследования порошковых жаропрочных композиций для трехмерной печати методом SLM, разработка и экспериментальные исследования порошковых жаропрочных композиций для аддитивного производства ГИП, разработка и экспериментальные исследования порошковых композиций для получения пористых материалов. Также лаборатория участвует в образовательной деятельности в рамках направления подготовки магистров ПИШ – 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, направленность «Материалы для высокотемпературных ядерных реакторов». В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты

наук, аспиранты, административный персонал, студенты ПИШ и представитель индустриального партнера.

Также в передовой инженерной школе атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии (НГТУ им. Р.Е. Алексеева) создана экспериментальная лаборатория «Исследование ионизирующих излучений» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.17 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В лаборатории проводят исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, а именно: по гамма-излучению – изучение физического взаимодействия и виртуальное моделирование процессов взаимодействия гамма-квантов с электронами и ядрами вещества посредством фотоэффекта, Комптон-эффекта и эффекта рождения электрон-позитронных пар; по бета-излучению – изучение физического взаимодействия и виртуальное моделирование ионизационных и радиационных потерь при прохождении бета-излучения через вещество; по альфа-излучению – изучение физического взаимодействия и виртуальное моделирование ионизационных потерь, возникающих при прохождении альфа-излучения с веществом. В состав рабочей группы лаборатории входят кандидаты наук, административный персонал и студенты ПИШ.

В этой же ПИШ функционирует экспериментальная лаборатория «Моделирование газодинамики высокотемпературных газовых реакторов» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.18 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП имеет два основных научных направления: исследования гидродинамики и теплообмена в активных зонах и основном оборудовании высокотемпературных ядерных реакторов с газовым теплоносителем и численное моделирование и цифровое проектирование оборудования реактора типа ВТГР с использованием CFD-программ. В состав рабочей группы лаборатории входят кандидаты наук, младшие научные сотрудники, студенты ПИШ и представители индустриальных партнеров.

В ПИШ «Промхимтех» (Казанский национальный исследовательский технологический университет) создана «Лаборатория современных минеральных удобрений» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.19 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В дан-

ном СОП проводится разработка технологии получения современных марок минеральных удобрений, рецептуростроение и технология получения сульфатокалиевых удобрений с повышенным содержанием серы. Научные проекты СОП: разработка новых комбинированных удобрений, в том числе типа «КАС», разработка сульфатокалиевых удобрений. Ожидаемые результаты проектов: создание минеральных нейтрализаторов кислотности почвы (ИАС – на основе доломитовой муки, добавки мела и т.д.); создание пролонгированных удобрений (карбамидоформальдегидные, капсулированные с поверхности пленкообразователями, цементированные в объеме). В СОП реализуется новая магистерская программа ПИШ – «Технология современных минеральных удобрений». Количество магистрантов, обучающихся на программе ПИШ и имеющих возможность использования СОП, 24 человека (12 человек – набор 2022 года и 12 человек – набор 2023 года).

Также в ПИШ «Промхимтех» (Казанский национальный исследовательский технологический университет) создано СОП «Цифровой горизонт» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.20 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). На территории СОП выполняются следующие задачи: реализация таких магистерских ОП, как «Цифровая архитектура технологических компаний НГХК», «Технологический сервис газопереработки», «Smart-нефтепромышленная химия»; в т.ч. реализация в сетевой форме; реализация программ ДПО; профориентация школьников в части цифровых технологий для нефтегазохимической отрасли; реализация научных проектов «Цифровое моделирование производств», «Промышленная метавселенная»; научное сопровождение ВКР магистрантов; научный поиск применения ИИ для задач химической промышленности. Исходя из формулировок выполняемых в СОП задач, можно отметить, что СОП обладает частью характерных особенностей таких типов СОП, как «интерактивный комплекс опережающей подготовки» и «цифровая фабрика». В СОП прошли обучение на программах ДПО – 211 человек из 17 университетов и 6 вузов РФ. По сетевой форме обучилось 14 человек (модульная система управления).

В этой же ПИШ создано СОП «ЦифТех» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.21 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), на

базе которого выполняются следующие задачи: BIM-моделирование, TIM-моделирование объектов химических производств для наполнения компонентов научного проекта «Промышленная метавселенная», обучение студентов работе в программных продуктах по проектированию объектов химической промышленности, инфраструктуры химических предприятий и проектированию функциональных элементов производственных объектов, включая химические лаборатории, проведение обучения по программам ДПО с использованием современного отечественного программного обеспечения. Исходя из формулировок выполняемых в СОП задач, можно отметить, что СОП обладает частью характерных особенностей «цифровой фабрики». В СОП прошли курсы повышения квалификации 25 человек ППС ПИШ. Преподаватели школ (50 чел.) прошли повышение квалификации по тематике «Бесшовная профориентация» совместно с СИБУР. Кроме того, в СОП проходят базовую практику магистранты ПИШ.

В ПИШ университета ИТМО функционирует лаборатория высокотехнологичной энергетики (подробное описание СОП приведено в разделе 2.22 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), целью которой является разработка и запуск прототипов электрохимических платформ для переработки углекислого газа и биомассы для пилотного производства веществ с добавленной стоимостью. В СОП работают над следующими задачами: оптимизация процесса получения заданного продукта, путем точного контроля протекающей в реакторе реакции (температура среды, состояние электролита, приложенные токи и пр.), разработка и апробация новых электрокатализаторов, увеличивающих свою эффективность за счет внешних воздействий (магнитное поле, световое воздействие и др.), обучение студентов работе с оборудованием полупромышленного масштаба, реализация продуктовых решений в форматах выполнения НИР и подготовка выпускных магистерских работ. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, административный персонал, аспиранты и студенты ПИШ.

Также на территории ПИШ университета ИТМО функционирует научно-технологическая лабораторная установка для разработки волоконно-оптических спектральных фильтров для линий квантовых коммуникаций (подробное описание СОП приведено в разде-

ле 2.23 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Основная деятельность лаборатории заключается в проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических, аналитических, экспертных, учебно-методических работ. Кроме того, лаборатория является научной площадкой для обучения студентов в рамках учебных курсов «Волоконные брэгговские решетки», «Фотоника», «Световодная фотоника». В ходе деятельности лаборатории решаются задачи разработки научно-технологической лабораторной установки для изготовления волоконно-оптических спектральных фильтров для линий квантовых коммуникаций. Лаборатория активно используется в рамках учебного процесса для получения обширных знаний и навыков в области световодной фотоники, а также для создания экспериментальных образцов для дальнейших исследований. В состав рабочей группы лаборатории входят кандидаты наук, административный персонал, аспиранты и студенты ПИШ. За время работы лаборатории 7 студентов ПИШ прошли производственные или научно-производственные практики.

Российско-Белорусский научно-исследовательский центр гибридных технологий формообразования в станкостроении (подробное описание СОП приведено в разделе 2.24 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») функционирует на территории ПИШ гибридных технологий в станкостроении Союзного государства (Псковский государственный университет). В задачи центра входит: исследование и разработка технологий получения изделий с расширенными функциональными и эксплуатационными характеристиками, с заданной геометрически сложной и оптимизированной конфигурацией и минимизированной массой; исследование и разработка технологий, сочетающих аддитивное получение заготовок и последующую механическую обработку; механико-экономический анализ изготовления металлических изделий с помощью аддитивных технологий по сравнению с традиционными технологиями; проведение НИР и НИОКР в интересах индустриальных партнеров ПИШ и бизнеса с использованием инновационной роботизированной установки прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-М; внедрение в учебный процесс прикладных и научно-исследовательских элементов.

Также на территории ПИШ гибридных технологий в станкостроении Союзного государства (Псковский государственный университет) реализована научно-исследовательская лаборатория плазменных и лазерных технологий (подробное описание СОП приведено в разделе 2.25 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи лаборатории входит: исследование и разработка технологий повышения долговечности рабочих поверхностей быстроизнашивающихся деталей машин и оборудования методами газотермического напыления и лазерной обработки, легирования и наплавки; исследование и разработка новых материалов для формирования защитных покрытий различного функционального назначения; изучение патентной и научно-технической информации по технологиям газотермического напыления, лазерной и механической обработке. Благодаря работе лаборатории, были проведены следующие исследования: создание установки для газопламенного напыления и газопорошковой наплавки; проектирование опытно-экспериментального участка газопламенного напыления и газопорошковой наплавки; составление таблицы оптимальных режимов нанесения металлических и полимерных покрытий с использованием установки и другие работы.

Кроме того, на территории ПИШ гибридных технологий в станкостроении Союзного государства (Псковский государственный университет) реализована экспериментальная лаборатория интеллектуальных роботизированных систем (подробное описание СОП приведено в разделе 2.26 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи лаборатории входит: обеспечение формирования знаний и умений, необходимых для выбора, использования и анализа применения робототехники в процессе конструкторско-технологической подготовки автоматизированных производств; компьютерное проектирование, моделирование и расчёт мехатронных модулей, робототехнических устройств и комплексов различного назначения; изучение систем технического зрения.

В этой же ПИШ реализована научно-технологическая лаборатория цифрового прототипирования и реинжиниринга (подробное описание СОП приведено в разделе 2.27 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженер-

ных школ»). В задачи лаборатории входит: обучение системному подходу при решении комплекса вопросов, связанных с проектированием приводов оборудования машиностроительного производства; изучения основ твердотельного моделирования, применения аддитивных технологий в процессе макетирования и прототипирования объектов, технологий механической обработки и принципов функционирования технологического оборудования; изучение информации о машинах и оборудовании для выращивания изделий; усвоение алгоритмов изготовления технологической оснастки с применением 3D принтера.

Также в ПИИШ гибридных технологий в станкостроении Союзного государства реализован научно-образовательный центр перспективных систем электроприводов (подробное описание СОП приведено в разделе 2.28 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи центра входит: разработка электропривода для управления лазерной головкой и обработкой деталей на гибридном станке; разработка инновационных электроприводов и проведение стендовых испытаний электродвигателей; разработка новых систем диагностики состояния электродвигателей с использованием нейросетевого анализа данных; обратный инжиниринг электродвигателей; разработка цифровых двойников основных процессов работы гибридного станка; исследования и расчеты электромагнитных систем высокотехнологичных электродвигателей с постоянными магнитами и другие исследования и разработки. В результате работы центра были проведены следующие исследования: изучение патентной и научно-технической информации по гибридным станкам и операциям лазерного напыления и механической обработки; разработка программы испытаний опытного образца серводвигателя; разработка эскизного проекта универсального испытательного стенда; разработка структурной схемы электрического привода гибридного станка; изучение назначения и функциональных возможностей цифровых двойников для различных вариантов применения; изучение возможностей ПО SimInTech с позиции использования в качестве базового ПО для создания цифровых двойников; рассмотрение возможности создания цифровых двойников для различных вариантов применения; изучение кинематической схемы, электроприводов и структуры системы управления гибридного станка; разработка и



согласование технического задания на создание цифрового двойника гибридного станка. Часть задач выполняемых в СОП проектов позволяют отнести его к типу СОП «Цифровая фабрика».

На территории ПИШ «Цифровой инжиниринг» (СПбПУ Петра Великого) функционирует демонстрационный (образовательный) стенд с авиационным двигателем с системой контроля с применением беспроводных технологий (подробное описание СОП приведено в разделе 2.29 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Стенд был установлен в рамках создания материально-технической базы для сопровождения процесса обучения магистров по решению фронтальных задач, в том числе для проведения экспериментальных исследований натуральных турбомашин и отработки систем автоматического управления в рамках выполнения курсовых проектов, практик и подготовки магистерской диссертации. Задачи СОП: исследовательские испытания беспроводных датчиков и систем передачи данных, стендовые испытания, верификация и валидация расчетных методик, разработка программного комплекса, обеспечивающего решение задач функционального моделирования, создание на площадке ПИШ ЦИ программно-аппаратного стенда цифровых испытаний БАРК-МТВаД.

В ПИШ «Судостроение Индустрии 4.0» (СПбГМТУ) создана лаборатория «Пневматика и автоматика» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.30 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью лаборатории является подготовка специалистов в области промышленной автоматизации, обладающих знаниями о характеристиках и принципах работы базовых компонентов автоматике, способных проектировать, эксплуатировать и обслуживать современное промышленное оборудование, работающее в автоматизированном и автоматическом режимах. Задача лаборатории – обучение студентов работе с: базовыми компонентами пневмосистем, пневматическими приводами различного типа, пневматическими распределителями, электрическими реле, электропневматическими распределителями, датчиками и компонентами с пропорциональным управлением, компонентами, обеспечивающими безопасность оборудования, компонентами с цифровым управлением. На базе лаборатории реализуется дисциплина «Периферийные устройства и автома-

тика» в рамках ОП «Проектирование и эксплуатация роботизированных комплексов лазерной и электрофизической обработки».

В ПИИШ «Электронное приборостроение и системы связи» (ТУСУР) создана сетевая научно-образовательная лаборатория «Лаборатория систем технологической связи» (лаборатория СТС)» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.31 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Деятельность лаборатории СТС направлена на выполнение научных исследований и разработок, предоставление условий инициативным командам для реализации инновационных проектов и на подготовку и переподготовку кадров. В лаборатории СТС реализуется ряд совместных научных проектов ФГБОУ ВО «ТУСУР» и ООО «СТК». Ещё одним важным направлением деятельности лаборатории является аппаратное, программное и информационное обеспечение регионального оператора «Беспилотные системы» в рамках внедрения экспериментального правового режима в сфере цифровых инноваций по эксплуатации беспилотных авиационных систем в Томской области.

В ПИИШ «Агробиотек» (Томский государственный университет) функционирует 4 лаборатории, описание которых приведено далее.

В ПИИШ создано специальное образовательное и лабораторное пространство «Промышленной биотехнологии природного сырья» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.32 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Пространство служит следующим целям: обучение студентов различных ступеней подготовки по направлению биотехнология/химия/биология/инноватика/управление качеством, проведение научно-исследовательских работ по направлению деятельности СОП (в том числе в интересах индустриального партнёра), выполнение выпускных квалификационных работ студентов, выполнение работ и услуг по направлению «контроль качества, идентификация органических веществ», разработка и аттестация методик по определению и идентификации органических метаболитов. Пропускная способность СОП по прохождению студенческих стажировок и практик – до 300 человек в год. Объём производства РИД – от 2 в год.

Также в «Агробиотек» создано специальное образовательное и лабораторное пространство «Биоинженерия проکاریот» (подробное

описание СОП приведено в разделе 2.33 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Пространство служит следующим целям: обучение студентов различных ступеней подготовки по направлению биотехнология/химия/биология/трансляционная медицина, проведение научно-исследовательских работ по основным направлениям деятельности СОП: анализ метагеномов микроорганизмов, поиск ценных штаммов микроорганизмов, анализ экспрессии рекомбинантных белков в *E. Coli*, трансформация *E. coli* плазмидной ДНК. Пропускная способность СОП по прохождению студенческих стажировок – 4–5 человек в год. В год от 30 до 40 студентов ПИШ проходят практики и выполняют ВКР. Объём производства РИД – от 1 до 2 в год. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, административный персонал, аспиранты и лаборанты.

Создано специальное образовательное пространство «Клеточные технологии» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.34 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Пространство служит для обучения студентов различных ступеней подготовки по направлению биотехнология/химия/биология/трансляционная медицина. Кроме того, пространство служит для проведения научно-исследовательских работ по основным направлениям деятельности СОП: подбор питательных сред для выращивания эмбрионов КРС *in vitro*, оценка воспроизводимости результата применения ИVP-технологии, получение эмбрионов крупного рогатого скота *in vitro* с целью обеспечения эффективного воспроизведения поголовья, выявление биомаркеров функционального программирования иммунной системы, генетическое и эпигенетическое редактирование опухлевых клеток. Пропускная способность СОП по прохождению студенческих стажировок – 4–5 человек в год. В год от 15 до 20 студентов ПИШ проходят практики и выполняют ВКР. Объём производства РИД – от 1 до 2 в год. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, административный персонал, аспиранты и лаборанты.

В ПИШ ТГУ создано специальное образовательное пространство «Клеточные технологии» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.35 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В пространстве вы-

полняются следующие задачи: синтез новых полимерных и композиционных материалов для легкой, пищевой промышленности и биомедицины; разработка рецептур композиций, в том числе биоразлагаемых, и исследование закономерностей их переработки методами экструзии, литья под давлением; исследование физико-химических и физико-механических свойств полимерных и композиционных материалов; работа со студентами для формирования у них компетенций в области синтеза, переработки и исследования полимеров и композиционных материалов.

В ПИИШ «Интеллектуальные энергетические системы» (Томский политехнический университет) создана экспериментальная лаборатория научно-образовательного центра «Цифровые решения в области топлив, их синтеза и применения» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.36 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью пространства является разработка цифровых двойников композиционных жидких топлив наземного, морского и авиационного назначения и технологий их синтеза.

В ПИИШ «Когнитивная инженерия» (НГУ) создана лаборатория испытаний и сертификации (подробное описание СОП приведено в разделе 2.37 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Задачами лаборатории являются: создание и развитие технологий оптоволоконно-оптических измерительных устройств и систем на их основе с использованием принципов DTS, DAS, BOTDA, BOTDR; метрологические тесты и калибровка устройств для анализа оптического сигнала; постановка компетенций студентам по работе с оптоволоконно-оптическими технологиями: создание измерительных систем, калибровка, тестирование, сертификация. Лаборатория находится на территории индустриального партнера, арендуемой университетом безвозмездно. СОП используется для других образовательных активностей ПИИШ: Зимняя школа Технохак, программы ДПО.

Также в ПИИШ «Когнитивная инженерия» (НГУ) создана лаборатория полногеномных технологий для биологии и медицины (подробное описание СОП приведено в разделе 2.38 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Лаборатория создана с целью разработки компонентной базы для таргетного высокопроизводительного секвенирования

и подходов к рациональному дизайну таргетных ДНК- и РНК- панелей. Задачами лаборатории являются: дизайн и заказ синтеза олигонуклеотидов для тестовой таргетной панели онкомаркеров, проверка эффективности полученной таргетной панели на клинических образцах, гистологических образцах опухолей, в сравнении с используемыми наборами, разработка онкотестов на основе таргетного высокопроизводительного секвенирования, дизайн расширенной универсальной панели онкомаркеров для таргетного высокопроизводительного секвенирования, формирование у студентов компетенций в области подготовки NGS-библиотек, а также в области рационального дизайна экспериментов. В лаборатории 4 студента выполняют работу по созданию независимых продуктов совместно с индустриальным партнером и в процессе его исследований и разработок. Лаборатория находится на территории индустриального партнера, арендуемой университетом безвозмездно. СОП используется для других образовательных активностей ПИШ: Зимняя школа Технохак, программы ДПО.

В ПИШ «Цифровое производство» (УрФУ) функционирует 5 лабораторий, описание которых приведено далее.

На территории ПИШ реализована научно-технологичная и экспериментальная лаборатория численных методов исследования течения рабочих тел и турбомашин (подробное описание СОП приведено в разделе 2.39 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В лаборатории работают над следующими задачами: изучение аэродинамических характеристик элементов проточных частей наземных турбоустановок и авиационных газотурбинных двигателей (в 2D и 3D постановке), исследование физических закономерностей процессов распыла топлива в камерах сгорания газотурбинных установок, верификация математических моделей в области гидрогазодинамики потоков в турбоустановках, создание экспериментального банка данных по продувкам аэродинамических устройств для проектирования элементов наземных турбоустановок и авиационных газотурбинных двигателей, проведение испытаний натуральных элементов турбомашин на вибрационную и усталостную прочность, расчет, проектирование и конструирование газотурбинных двигателей. Также лаборатория активно используется в учебном процессе в рамках программ бакалавриата, магистратуры и аспирантуры. В

состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, преподаватели, административный персонал, аспиранты и представители индустриального партнера. За время работы лаборатории 16 студентов ПИШ прошли стажировки, а 20 студентов – практики. За счет выполнения НИОКТР и грантов РФ привлечены дополнительные средства в размере 34,5 млн рублей.

В ПИШ «Цифровое производство» реализована научно-технологическая и экспериментальная лаборатория «Цифровое моделирование и анализ данных» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.40 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В части реализации учебного процесса, в лаборатории работают над следующими задачами: приобретение/развитие навыков студентов по созданию цифровых моделей технологических процессов обработки металлов давлением, получение студентами навыков постановки задач и цифрового моделирования технологических процессов обработки металлов давлением, приобретение студентами навыков экспериментального определения реологических свойств металлов и сплавов, подвергаемых обработке давлением, а также интегрирование их в цифровую среду, приобретение студентами навыков исследования предметной области и возможности применения систем искусственного интеллекта на основе комплексов методов и инструментальных средств систем искусственного интеллекта, приобретение навыков разработки и применения методов и алгоритмов машинного обучения для решения задач, приобретение навыков разработки и применения методов и алгоритмов компьютерного зрения для решения задач. В части научной деятельности в лаборатории ведется разработка и совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением на основе цифрового и физического моделирования и анализа больших данных. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, административный персонал и представители индустриального партнера.

В ПИШ УрФУ реализована научно-технологическая и экспериментальная лаборатория прототипирования (подробное описание СОП приведено в разделе 2.41 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В лаборатории работают над следующими задачами: создание моделей и прототипов разрабатываемых продуктов, развитие навыков

работы с современным высокотехнологичным оборудованием и программным обеспечением, разработка виртуальных прототипов и проведение верификации крупноузловых моделей. Исходя из формулировок выполняемых в СОП задач, можно отметить, что СОП обладает частью характерных особенностей такого типа СОП, как «цифровая фабрика». В состав рабочей группы лаборатории входят профессорско-преподавательский состав и студенты ПИШ.

В ПИШ «Цифровое производство» (УрФУ) реализована научно-технологическая и экспериментальная лаборатория киберфизических систем управления техническими процессами на основе данных (подробное описание СОП приведено в разделе 2.42 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В лаборатории работают над следующими задачами: разработка и создание прототипов киберфизических систем, которые интегрируют физические и вычислительные компоненты, в том числе, системы автоматизации и управления в современном транспорте; тестирование и оценка разработанных киберфизических систем, в том числе, проведение экспериментов, моделирование и симуляция работы, анализ полученных данных и оценка их производительности и эффективности. Исходя из формулировок выполняемых в СОП задач, можно отметить, что СОП обладает частью характерных особенностей такого типа СОП, как «цифровая фабрика». Количество цифровых моделей, созданных проектными группами – 6. В рабочую группу лаборатории входят профессорско-преподавательский состав и студенты ПИШ. В СОП могут учиться студенты базового университета, на текущий момент СОП используется для проведения интенсивов по изучению базовых возможностей ПО Прайм «цифровое машиностроение» в рамках проекта «Цифровая кафедра», студенты вузов-партнеров.

В ПИШ «Цифровое производство» (УрФУ) реализована научно-технологическая и экспериментальная лаборатория модельно-ориентированного системного инжиниринга (подробное описание СОП приведено в разделе 2.43 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Лаборатория была создана с целью развития и внедрения методов модельно-ориентированной системной инженерии (MBSE) при проектировании перспективных энергетических установок путем расширения взаимодействия между ПИШ УрФУ и ПАО «КАМАЗ» в

совместных проектах НИОКР и образовательных программах. В лаборатории работают над следующими задачами: внедрить передовые цифровые технологии проектирования (MBSE) силовых установок и других систем автомобилей в совместных образовательных проектах и проектах НИОКР между УрФУ и ПАО «КАМАЗ» (в т.ч. обеспечить переход на отечественное ПО), организовать высокотехнологичные рабочие места для реализации совместных передовых проектов и проведения виртуальных испытаний (программное и аппаратное обеспечение приобретается за счет грантовых средств ПИШ УрФУ), повысить компетенции действующих инженерных кадров и мотивировать привлечение новых кадров среди практикантов. Ценность СОП заключается в обеспечении полного цикла ведения проекта, регламентируемого особенностями системного инжиниринга и повышении уровня компетенций и качества обучения действующих сотрудников без отрыва от производства. Исходя из формулировок выполняемых в СОП задач, можно отметить, что СОП обладает частью характерных особенностей такого типа СОП, как «цифровая фабрика». В рабочую группу лаборатории входят доктора и кандидаты наук, преподаватели, аспиранты и представители индустриальных партнеров. В студенческое конструкторском бюро, созданном на базе СОП, работают студенты различных инженерных институтов УрФУ, такая возможность есть и у обучающихся в других университетах.

В ПИШ МГТУ им. Н.Э. Баумана реализована СОП «Интеллектуализированные системы в управлении полётами космических и летательных аппаратов и навигационно-баллистического обеспечения космических полётов» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.44 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью создания образовательного пространства является обучение студентов навыкам работы с экспериментальным и измерительным оборудованием при проведении практических исследований и физическом моделировании процессов, сопровождающих функционирование агрегатов и систем наземного технологического и стартового оборудования ракетно-космической техники. Задачами образовательного пространства являются поиск и выявление эффективных методов, методик и технических решений для улучшения тактико-технических и эксплуатационных характеристик оборудования, систем и объектов



наземной космической инфраструктуры, приводящих к снижению материальных, энергетических и финансовых затрат, а также времени выполнения операций по подготовке ракет-носителей и космических аппаратов к пуску на технических и стартовых комплексах космодромов.

Лаборатория «Лазерные медицинские системы» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.45 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») создана в ПИШ «Интеллектуальные системы тераностики» (Сеченовский Университет). Лаборатория предоставляет сотрудникам и обучающимся инфраструктуру для научно-технологической подготовки инженерной направленности, формирования кросс-функциональных команд, наставничества, формирования у обучающихся навыков проектной работы. Лаборатория позволяет проводить полный цикл исследований и экспериментов по трансляции тех или иных методов оптической неинвазивной диагностики и терапии в биомедицинскую практику. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, аспиранты и студенты ПИШ. Данная СОП является уникальным активом ПИШ Сеченовского университета, так как имеет в своем составе узконаправленное оборудование, применяющееся для специализированных исследований. В свою очередь лаборатория имеет открытый формат и планируется её использование как под заказные НИОКР промышленных партнеров, так и для обучения сторонних студентов и сотрудников.

Лаборатория «Медицинские материалы» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.46 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») также создана в ПИШ «Интеллектуальные системы тераностики» (Сеченовский Университет). Особенностью СОП является привлечение обучающихся к решению экспериментальных инженерных задач, реализация индивидуальных образовательных траекторий, поддержание в надлежащем состоянии материально-технической базы, наставничество, формирование у обучающихся навыков проектной работы в следующих областях: печать трехмерных индивидуальных геометрических моделей биологических объектов аддитивным методом на основе данных компьютерной и магнитно-резонансной томографии, печать аддитивным методом, различными

полимерами и смолами, прототипов медицинских изделий, для стоматологии, лицевой хирургии, ортопедии, проведение испытания новых материалов для 3D печати медицинского и инженерного назначения и другие связанные области. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, аспиранты и студенты ПИШ. Данная СОП предусматривает обучение как студентов базового университета, так и проведение программ дополнительного образования для студентов других вузов, сотрудников промышленных партнеров.

В ПИШ «Школа медицинской инженерии» (РНИМУ им. Н.И. Пирогова) реализован научно-производственный комплекс по производству геномных данных (подробное описание СОП приведено в разделе 2.47 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), задачей которого является производство любого типа данных о первичной последовательности ДНК. Комплекс решает экспериментальные задачи в таких областях, как: shotgun, транскриптомика, эпигеномика, секвенирование целевых регионов, работа с генетической информацией единичных клеток. В рамках комплекса реализуется научный проект «Социогенетическая инженерия» по выявлению больших хромосомальных перестроек размером от 50 тысяч пар нуклеотидов (молекулярное кариотипирование методом массового параллельного секвенирования) и нахождению малых инсерций, делеций (размером до 50 нуклеотидов) и однонуклеотидных замен. Образовательное пространство комплекса обеспечивает реализацию программ магистратуры ПИШ, модули ДПО, а также предоставляет возможность участвовать в практических проектах студентам программы специалитета, магистратуры и бакалавриата МБФ РНИМУ им. Н.И. Пирогова

В передовой инженерной школе радиолокации, радионавигации и программной инженерии (Московский физико-технический институт) создана лаборатория испытательного оборудования (подробное описание СОП приведено в разделе 2.48 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит обеспечение условий для комплексной практической подготовки специалистов, способных к решению фронтальной задачи ПИШ (создание перспективных радиолокационных систем, превосходящих по своим характеристикам

известные мировые аналоги, а также наукоемких цифровых инструментов для разработки сложных технических систем), и в части элементов построения радиолокационных станций (РЛС), практическое обучение студентов работе с отечественной элементной базой в части элементов приёмопередающего тракта (ППТ) РЛС. СОП является площадкой для проведения занятий по проектному обучению студентов («Инженерный практикум»), обучающихся по дисциплинам образовательных программ высшего образования «Радиолокационные технологии (бакалавриат)», «Радиолокационные технологии (магистратура)», а также программ дополнительного профессионального образования, реализуемых ПИШ РПИ. Планируется, что до 2030 года включительно на базе ЛАБИО не менее 300 студентов ПИШ РПИ пройдут обучение в рамках инженерного и лабораторного практикумов, не менее 50 студентов ПИШ РПИ пройдут стажировки, не менее 400 школьников примут участие в профориентационных мероприятиях.

В этой же ПИШ создана лаборатория прикладного программного обеспечения (подробное описание СОП приведено в разделе 2.49 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит: практическое обучение работе с отечественными системами автоматизированного проектирования (далее – САПР), практическое обучение работе с внутренними форматами и API основных отечественных САПР, обучение способам построения специализированного программного обеспечения на примере отечественных САПР. СОП является инфраструктурой для обеспечения научно-исследовательской деятельности в части отечественных программных комплексов, обучения работе с основными отечественными программными вычислительными комплексами. Планируется, что до 2030 года включительно на базе ЛППО не менее 500 студентов ПИШ РПИ пройдут обучение пользованию специальным программным обеспечением «САПР РЛС», в рамках дисциплин и инженерного практикума, не менее 50 студентов ПИШ РПИ пройдут стажировки, не менее 400 школьников примут участие в профориентационных мероприятиях.

В ПИШ «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии» (МИСиС) создана лаборатория «Биофабрикация» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.50 приложения к каталогу

специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), структура которой выполнена в виде биотехнологической лаборатории полного цикла, где возможно проведение образовательных мероприятий, проведение инженерных работ по созданию инженерных устройств и работы с клеточным материалом и гидрогелями. Основной задачей СОП является проведение образовательной деятельности, совмещенной с проектной работой на реальных задачах, связанных с биотехнологией и с трехмерной биопечатью. Была разработана магистерская программа «Биомедицинская инженерия и биофабрикация». В рамках научно-исследовательского направления деятельности СОП планируется создавать передовое оборудование для этой отрасли.

Также в ПИШ «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии» создана виртуальная лаборатория для моделирования полного комплекса технологических переделов (подробное описание СОП приведено в разделе 2.51 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП предназначено для проведения инженерных расчетов по направлениям школы, в том числе «Цифровое материаловедение», «Аддитивные технологии», «Цифровое управление технологическими процессами металлургии и машиностроения», «Современные материалы и методы получения высокоточных отливок», «Биомедицинская инженерия и биофабрикация». Лаборатория является неотъемлемой частью фабрики для обучения по всем программам образования, реализуемых в ПИШ МАСТ, включая дополнительное и сетевое обучение, так как позволяет проводить все необходимые расчеты перед решением инженерных задач. Кроме того, лаборатория используется для выполнения НИОКР/НИР/ОКР в рамках доходных договоров с партнерами. «Виртуальная лаборатория для моделирования полного комплекса технологических переделов», являясь составной частью «Фабрики обучения», представляет собой уникальный актив как для студентов ПИШ, так и для студентов базового университета (НИТУ МИСИС), а также для студентов других вузов, которые обучаются по программам дополнительного образования, реализуемым в ПИШ МАСТ. В комплексе с «Фабрикой обучения» лаборатория обеспечивает замкнутую производственную среду, позволяющую сначала в цифровом виде разработать технологию, а далее реализовать ее на реальном оборудо-

вании фабрики. Исходя из этих данных, СОП можно отнести к категории «Цифровая фабрика». Важно отметить, что такая организация существенно упрощает использование ресурсов лаборатории студентами, научными сотрудниками и профессорско-преподавательским составом, в том числе, в рамках сетевого взаимодействия.

В этой же ПИШ на финальной стадии внедрения находится лаборатория гранульных технологий (подробное описание СОП приведено в разделе 2.52 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП также является частью «Фабрики обучения», объединившей в рамках единого пространства замкнутую технологическую цепочку аддитивного производства. Задачи СОП: прохождение студентами практик по изучению процессов атомизации порошковых материалов, в том числе в рамках программ магистратур, проведение НИОКР/НИР/ОКР по направлениям, связанным с получением требуемых металло-порошковых композиции, в том числе для аддитивного производства. В 2023 году студенты вовлечены в проведение пусконаладочных работ оборудования, в 2024 году запланировано прохождение практики не менее 20 студентами, которые будут обучаться по программам «Аддитивные технологии» и «Цифровое материаловедение». Использование СОП запланировано при реализации проекта в интересах Госкорпорации «Росатом» по теме «Разработка технологии и постановка на производство низковольтного агломерированного и сферического порошков тантала конденсаторного класса», а также другим проектам, реализуемым ПИШ МАСТ в интересах промышленных партнеров по разработке новых материалов и технологий производства изделий из них. Кроме того, в 2024 году СОП планируется дооснастить отечественной установкой горячего изостатического прессования (ГИП), что откроет дополнительные возможности в части разработки технологий (как лабораторных, так и для транспонирования их и переноса в промышленные условия производства) получения высококачественного материала для изделий ответственного машиностроения. Договор поставки оборудования согласован и будет подписан после подтверждения финансирования в 2024 году.

Также на финальной стадии внедрения находится лаборатория по управлению затвердеванием (подробное описание СОП приведено в разделе 2.53 приложения к каталогу специальных образова-

тельных пространств «Передовых инженерных школ») – пространство, которое включает в себя уникальную отечественную установку МАСТ-300НТ, не имеющую аналогов в мире. Она предназначена для исследования аддитивного процесса сплавления металлических порошков. СОП «Лаборатория по управлению затвердеванием», СОП «Лаборатория гранульных технологий» и имеющееся оборудование в базовом университете ПИШ формируют полную технологическую цепочку для аддитивного производства, основанного на технологии селективного лазерного сплавления металлических порошков. Эта цепочка будет использоваться для образовательных целей по программам, связанным с направлениями «Аддитивные технологии», «Цифровое материаловедение». В 2023 году студенты были вовлечены в проведение пусконаладочных работ оборудования, в 2024 году запланировано использование оборудования для образовательных целей, в том числе прохождение стажировок и практик всех студентов ПИШ МАСТ и обучающихся по программам ДПО по направлениям «Цифровое материаловедение» и «Аддитивные технологии». В настоящий момент в лаборатории разрабатываются программы, методики испытаний и планируется к проведению экспериментальное сравнение свойств изделий такого типа, изготовленных аддитивным и традиционным способами. Установка МАСТ-300НТ будет использоваться для продолжения исследований в рамках НИОКР по теме «Разработка лабораторной технологии и оборудования аддитивного производства с лазерным источником концентрированной энергии для получения изделий с управляемым уровнем свойств», выполняемой в интересах индустриального партнера.

В ПИШ «Агроген» (ВГАУ) создана лаборатория по биотехнологическому и молекулярно-генетическому исследованию растений (подробное описание СОП приведено в разделе 2.54 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Задачами СОП являются: высокотехнологичное сопровождение селекционно-семеноводческих процессов, проведение исследований в области биотехнологических, молекулярно-генетических исследований и микроклонального размножения растений, использование биотехнологических методов и методов молекулярно-генетического маркирования для повышения эффективности селекционного процесса при создании конкурентоспособных

отечественных сортов сельскохозяйственных культур, молекулярно-генетическая паспортизация селекционного материала растений при использовании его в селекции, семеноводстве и для защиты авторских прав, проведение стажировок и подготовка специалистов в области молекулярно-генетических исследований и биотехнологии растений. На базе лаборатории реализуется программа повышения квалификации «Технологические аспекты производства оздоровленного посадочного материала плодовых и ягодных культур» в объеме 72 часа (2 зачетные единицы), а также ведутся лабораторные и практические занятия для магистров по курсам «Основы биотехнологии», «Сельскохозяйственная биотехнология», «Инновационные технологии в селекции растений».

На территории ПИШ «Инженерия киберплатформ» (Южный федеральный университет) функционирует научно-технологическая лаборатория проектирование бортовых систем робототехнических комплексов (подробное описание СОП приведено в разделе 2.55 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Задачами лаборатории являются: разработка демонстратора имитационно-моделирующего комплекса для исследования эффективности применения робототехнических комплексов, разработка демонстрационного образца разнородной робототехнической группы повышенной автономности, разработка демонстратора технологии интеллектуальной обработки мультиспектральных данных, разработка программно-аппаратных систем интеллектуального управления, навигации, связи и технического зрения разнородной робототехнической группы, развитие востребованных промышленностью компетенций студентов ПИШ ЮФУ, развитие соревновательной робототехники в ПИШ ЮФУ. За 2023 год достигнуты следующие показатели: количество заявок на РИД, созданных в лаборатории – 7; образовательных продуктов (модулей, курсов, факультативов), разработанных и реализуемых в рамках ООП при непосредственном участии сотрудников лаборатории – 3; программы ДПО, разработанные в рамках лаборатории – 4; слушатели, прошедшие обучение по программам ДПО, разработанных в рамках лаборатории – 16; объем привлеченных средств коллективом лаборатории от НИОКР – 90 млн руб.;

На территории ПИШ «Институт перспективного машиностроения «Ростсельмаш» (ДГТУ) функционирует многофункциональная

лаборатория имитационного моделирования и виртуальной реальности (подробное описание СОП приведено в разделе 2.56 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В лаборатории ведется выполнение проектов и решение прикладных задач с применением технологий виртуальной реальности, проводится разработка и совершенствование методов и алгоритмов имитационного моделирования сельскохозяйственной техники и процессов ее работы, исследуется применение симуляций и виртуальной реальности в области инженерии. Использование VR технологий предполагается в рамках технологического трека развития образовательного процесса передовой инженерной школы. Применение VR технологий обеспечит возможность отрабатывать на ранних стадиях проектирования технологические решения крупноузловой сборки ЗУК, КУК и тракторов, производимых «ООО КЗ РОСТСЕЛЬМАШ». Внедрение такого подхода позволит проводить обучение персонала и отрабатывать новые методологические принципы и технологические процессы сборки сельскохозяйственной техники перспективных поколений с новыми компоновочными решениями.

Также на территории ПИШ «Институт перспективного машиностроения «Ростсельмаш» (ДГТУ) функционирует научно-технологическая лаборатория «Интеллектуальные платформы сельхозмашин и спецтехники» (подробное описание СОП приведено в разделе 2.57 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В лаборатории студенты работают над решением практических кейсов под руководством опытных инженеров, а также проводят исследования в области реверс инжиниринга с применением современных технологий. В лаборатории планируется создать концепцию построения интеллектуальных систем аграрных машин: техника для земледелия, техника для предпосевной обработки почвы, техника для ухода за посевами, техника для внесения удобрений, техника для послеуборочной обработки, посевная техника, техника для полива и орошения, уборочная техника на базе программно-аппаратных решений, апробированных на технике «ООО КЗ РОСТСЕЛЬМАШ».

В ПИШ «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» (Дальневосточный федеральный университет) функционирует инжиниринговый центр экстракции БАВ («Научная лаборато-



рия сверхкритических технологий») (подробное описание СОП приведено в разделе 2.58 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») целью которого является разработка и экспериментальные исследования технологических процессов получения целевых продуктов при переработке зерновых сельскохозяйственных культур, дикорастущих и лекарственных растений. В задачи СОП входят: подбор и оценка биотехнологического потенциала сельскохозяйственных культур и культивированных растений, стандартизация и разработка методов сверхкритической экстракции, разработка лабораторных технологических регламентов экстрагирования, проведение практических и лабораторных работ для студентов и аспирантов, выполнение экспериментальной части в рамках курсового и дипломного проектирования и диссертационных работ магистрантов, аспирантов, докторантов, обучение студентов научно-технологической и экспериментальной работе, в том числе основам разработки современных методов экстрагирования. Инжиниринговый центр оснащен высокотехнологичным оборудованием (комплекс для сверхкритической экстракции CO<sub>2</sub>, хромато-масс-спектрометр, полуавтоматический аппарат Сокслета и др.). Кроме того, в центре применяется VR-тренажер для обучения студентов (разработано ПИШ). Представители ПИШ указали в качестве типа СОП «Лабораторию» и «Опытное производство». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа был выбран тип «Лаборатория», исходя из отсутствия спецификации производимой продукции и фокусе задач СОП на обучении студентов ПИШ.

### *3.2.2. Специальные образовательные пространства ПИШ типа «Опытное производство»*

На территории передовой инженерной школы Университета Лобачевского функционирует опытное производство высокоточных материалов для микроэлектроники (подробное описание СОП приведено в разделе 3.1 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП предназначено для создания парка пилотных установок для производства высокочистых веществ и материалов, выпуска высокотехнологической продукции для микроэлектронной отрасли и разработки

технологий производства высокочистых веществ на базе уникальных научных разработок сотрудников ПИШ. СОП является уникальным активом ПИШ, в рамках которого в производственном процессе задействованы только сотрудники и студенты ПИШ. Закрытая организация СОП связана с возможностью «утечки» уникальных технологий, применяемых в производственных процессах и являющихся интеллектуальной собственностью сотрудников ПИШ. Открыта возможность посещения СОП в рамках экскурсий. Объем реализованной высокотехнологичной продукции «Материалы для микроэлектроники» – 0,6 млн руб. на 11.2023.

Продукция опытного производства ПИШ Университета Лобачевского:

- 1,2-трансдихлорэтилен (ТДЭ) 8N (ТУ 20.14.13-001-02068143-2023). Назначение: источник жидкого хлора, используемый при окислении кремния и очистке трубок;
- Присадка PeoLIN (ТУ 20.14.13-002-02068143-2023). Назначение: концентрат адгезионного раствора для полировки и шлифовки кремниевых пластин;
- Присадка RheoLAP, проводятся испытания на соответствие заваленным требованиям на базе АО «ТЕЛЕКОМ-СТВ» и ОАО «ИНТЕГРАЛ» (Республика Беларусь). Назначение: стабилизирующая присадка порошка оксида алюминия при шлифовке и полировке кремниевых пластин.

На территории ПИШ «Моторы будущего» (Уфимский университет науки и технологий) функционирует опытное производство по исследованию БПЛА (подробное описание СОП приведено в разделе 3.2 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит: мониторинг мировых достижений и разработок в области БПЛА, внедрение инновационных решений и подходов в деятельность отделов проектирования, формирование опережающего научно-технического задела в области беспилотных летательных аппаратов, привлечение финансирования в виде грантовой поддержки и заказчиков научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по инновационным направлениям, публикация результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях, формирование вектора научно-исследовательской повестки в области беспи-

лотных летательных аппаратов, исследование прототипов изделий, написание программного обеспечения низкого уровня для микроконтроллеров. Вышеописанные задачи подходят для типа СОП «Лаборатория», однако заявленный тип «Опытное производство» связан с наличием заключенных договоров и выигранных грантов: грант «СТАРТ-1», в рамках него создано МИП ООО «ЭД» – 2-е МИП ПИШ «Моторы Будущего», заключен договор с Фондом содействия инновациям, найден конструктор-технолог в МИП, определены задачи МИП (грант на 4 млн руб.).

Планируемые задачи СОП ПИШ «Моторы будущего» как опытного производства:

- доведение электродвигателя ЭД-БАС до УГТ 10;
- заключение контракта с ЦИАМ им. П.И. Баранова на написание алгоритма расчета электродвигателей с инкорпорированными магнитами;
- заключение контракта с SBER Robotics Labs на производство электропривода для роботов;
- освоение компетенции по реализации векторного управления электродвигателями;
- освоение компетенции в области зубчатых передач и редукторов.

Также на территории ПИШ «Моторы будущего» (Уфимский университет науки и технологий) планируется запуск центра электронных систем управления и электрических двигателей электротехнических комплексов (подробное описание СОП приведено в разделе 3.3 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП создается для поддержки отдела исследований БПЛА и будет выполнять аналогичные с предыдущим СОП задачи для соответствующего тематического направления СОП. Согласно плану в ноябре 2024 года планируется поступление оборудования и выполнение пусконаладочных работ. В декабре 2024 года – январе 2025 года будет проводиться обучение персонала.

На территории ПИШ «Моторы будущего» функционирует производственный участок ПИШ (подробное описание СОП приведено в разделе 3.4 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), на котором осуществляется: полный цикл изготовления изделия от закупки мате-

риалов и инструмента, до конечной сборки и упаковки; поиск и внедрение технических новшеств, научных открытий и изобретений, передового опыта, способствующих улучшению технологии и росту производительности труда; изготовление пакетов статора и ротора из электротехнической стали, изготовление магнитопроводов, изготовление постоянных магнитов, изготовление деталей разной сложности из обрабатываемых видов металла; изолирование пазов ЭМ, поклейка изоляционных листов, ручная намотка ЭМ разной мощности (от резольвера до ГСУ двигателя); изготовление изоляционных листов, клиньев и других деталей из стеклотекстолита на двух станках ЧПУ Roland, пропитка и заливка статоров ЭМ, пайка и монтаж выводов статоров обмотанных; установка изоляции и клиньев для склейки магнитов на магнитопровод, склейка магнитов на магнитопровод, запрессовка магнитов и валов во втулку (монтаж магнитопровода и, непосредственно, в ротор).

Продукция опытного производства ПИШ «Моторы будущего» (и объём произведенных изделий за 2023 год):

- СГ150 – 3 шт.;
- ЭП150 – 4 шт.;
- ЭД-БАС – 5 шт.;
- СГ-1,0 – 6 шт.;
- ЭДН-125 – 12 шт.;
- ЭДС-125 – 12 шт.;
- Электрозаслонка САУРЗ – 2 шт.;
- КСТ (двигатель – 13 шт.;
- РГ-15В – 4 шт.;
- СГ-1,5 – 14 шт.;
- ЭДН-150 – 9 шт.;
- Су-76 – 10 шт.;
- Интеграл – 25 шт.;
- Макларен – 8 шт.

Кроме того, на производственном участке ПИШ освоена технология изготовления, намагничивания постоянных магнитов из сплавов NdFeB и SmCo с уменьшением трудозатрат и с увеличением коэффициента использования материала по сравнению с другими производителями магнитов. Освоена технология изготовления шихтованных магнитов толщиной 1мм. Освоена уникальная технология

изготовления пресованных катушек. Привлеченные финансовые средства за счет выполнения НИОКР – около 200 млн рублей.

На территории НОЦ ПИШ «Агробиотек» (Томский государственный университет) функционирует обучающая фабрика (Learning factory) по химической инженерии на базе ООО «ИХТЦ» (подробное описание СОП приведено в разделе 3.5 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Специальное образовательное пространство решает задачи по подготовке специалистов в области масштабирования химических технологий с применением современных программных продуктов и широкой приборной базы для осуществления основных операций химических технологий: выдерживание реагирующих масс при заданных температуре и давлении, концентрирование и разделение химических веществ, измельчение, сушка, гранулирование, фильтрация и т.д. На базе СОП возможна практическая подготовка специалистов через участие в выполнении НИОКР по масштабированию химических технологий, выполнении технологических и конструкционных расчетов, подбору оборудования, разработке технической документации. СОП оборудовано опытно-промышленным установками для синтеза антипиренов, синтеза метилэтилкетона и испытания катализаторов для процессов гидроочистки. В 2023 году на базе СОП выполнено более 40 НИОКР общей стоимостью более 1 млрд рублей, разработано более 50 и оформлено около 15 РИД. На базе СОП прошли практику и стажировку 12 студентов ПИШ. В реализации практики и стажировок задействованы 30 сотрудников ИХТЦ – начальник цеха, 4 начальника установок, 8 технологов, 25 аппаратчиков и 2 слесаря КИПиА.

На территории ПИШ «Школа медицинской инженерии» (РНИМУ им. Н.И. Пирогова) функционирует специальное образовательное пространство медицинского приборостроения и разработки медицинских изделий от дизайна до производства (подробное описание СОП приведено в разделе 3.6 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В СОП реализуется образовательная и научная деятельность по направлению медицинского приборостроения и созданию опытных образцов. В рамках работы СОП разработаны и реализуются 4 ДПП: ПК «Макетирование в промышленном дизайне меди-

цинского оборудования», ПК «Промышленное 3D-моделирование медицинского оборудования с использованием российского ПО», ПК «Основы материаловедения медицинских изделий», ПП «Производство медицинских изделий. Система разработки и постановки продукции на производство». За 2023 год на программах ДПО инженерного профиля обучено 104 слушателя. По заказу индустриального партнера изготовлены опытно-промышленные образцы колец для гидродинамических испытаний искусственных клапанов сердца. Инженерами ПИШ разработан прибор, позволяющий испытывать искусственные клапаны сердца. В рамках создания образовательного пространства оборудованы учебный класс для занятий учащихся магистратуры «Медицинское приборостроение» и рабочая зона для инженеров передовой инженерной школы. Выполняемые функции и достигнутые показатели позволяют отнести данный СОП к категориям «лаборатория» и «цифровая фабрика». Из-за отсутствия производимых товаров (кроме производства образцов) категория «опытное производство» не подходит для данного СОП.

### *3.2.3. Специальные образовательные пространства ПИШ типа «Интерактивные комплексы опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий»*

В ПИШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» (Самарский университет им. С.П. Королева) функционируют 5 СОП типа «Интерактивные комплексы опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий», описание которых приведено далее.

На территории ПИАШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» функционирует интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «Цифровые аддитивные технологии» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.1 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Ключевой задачей СОП является создание новой модели инженерного образования при подготовке инженерных кадров, обеспечивающей создание и развитие в стране перспективных типов производств изделий аэрокосмической техни-

ки на основе современных цифровых аддитивных технологий. В соответствии с ключевой задачей СОП выполняет следующие функции: разработка и реализация новых основных профессиональных образовательных программ высшего образования инженерной направленности на всех уровнях подготовки (бакалавриат, специалитет, магистратура, программы дополнительного профессионального образования), направленных на решение фронтальной задачи; организация практико-ориентированного процесса подготовки в передовой инженерной школе на основе современных цифровых аддитивных технологий; развитие и использование опытного экспериментального производства как средства для отработки внедрения аддитивных технологий, направленных на решение фронтальной задачи; коммерциализация результатов научно-инновационной и исследовательской деятельности, внедрение и распространение результатов деятельности интерактивного комплекса; повышение квалификации и (или) профессиональной переподготовки, в том числе в форме стажировки для профессорско-преподавательского состава, а также образовательных организаций высшего образования, реализующих образовательные программы инженерного профиля. Исходя из функций, СОП также можно отнести к категории «опытное производство». Специфической особенностью СОП является сквозное освоение обучающимися (как студентов ПИАШ, так и студентов других вузов) от универсальных до профессиональных компетенций, содержащих: метакомпетенции, цифровые компетенции (брендовые) и предметные профессиональные компетенции (способность к проектной и исследовательской деятельности в рамках концепции «Цифрового завода», а также способность к междисциплинарной проектной коммуникации).

Также в ПИАШ функционирует интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «VR-технологии» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.2 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП выполняет следующие функции: реализация совместной учебной, научной, творческой, производственной и общественной деятельности обучающихся, преподавателей и иных категорий работников ПИАШ; подготовка и переподготовка научно-педагогических кадров и обучающихся ПИАШ; обучение и повышение квалификации

специалистов ракетно-космической отрасли; обучение инженерных кадров прогрессивным технологическим процессам; организация и руководство научно-исследовательской работой, производственной практикой обучающихся, проведение текущего и промежуточного контроля знаний обучающихся; развитие учебной и материальной базы подразделения, эффективное использование современного оборудования, приборов, технологий; повышение квалификации научно-педагогических кадров и уровня подготовки специалистов для высокотехнологичных предприятий. В рамках СОП в 2023 году были реализованы: конкурс Спутник с 8 по 28 апреля (Артек, Крым) с 35 участниками, мероприятие «Школа Королева» с 30 по 4 ноября с 18 участниками. Проведена оцифровка 3D-моделей силовых агрегатов аэро-техники (5 шт.).

В этой же ПИШ функционирует интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «Робототехника и мехатроника» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.3 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), который используется для обучения не только студентов ПИШ, но и студентов бакалавров, магистров Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королева, а также для организации курсов повышения квалификации «Введение в ROS» для сотрудников предприятий. В СОП проводится НИОКТР «Разработка структуры, физических и информационных компонентов киберфизической фабрики по производству МГТД». В задачи СОП входит: развитие общих компетенций и навыков в направлении робототехники и программирования робототехнических систем, компетенции по администрированию операционных и мета-операционных систем (Linux и Robot Operating System (ROS)), развитие умений работы с интеллектуальными системами технического зрения, компетенции по реализации собственных инженерных проектов в профессиональной области по направлению робототехники.

В ПИАШ университета им. С.П. Королева формируется интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «Системный инжиниринг беспилотных авиационных систем» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.4 приложения к каталогу специальных обра-



зовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП находится на этапе формирования. Техническое оснащение СОП предполагается использовать в учебном процессе по ключевым направлениям подготовки кафедры: «Самолётостроение» (специалитет) и «Авиастроение» (магистратура/бакалавриат), а также для реализации ИОТ «Беспилотные летательные аппараты». Ведётся работа по открытию нового профиля «Беспилотные летательные аппараты» на базе одного из имеющихся или других направлений подготовки с использованием технической базы СОП. На базе СОП проводится внеурочная учебно-исследовательская работа со студентами различных курсов и специальностей, затрагивающая ключевые вопросы стадий жизненного цикла БАС, подготавливаются доклады для участия в конференциях, рукописи научных статей, заявки на регистрацию РИД. Кроме научно-исследовательской деятельности в задачи СОП также входит организация образовательной деятельности, предусматривающей активное вовлечение в совместную интеллектуальную деятельность студентов и научно-педагогических работников университета с целью реализации образовательных программ. СОП несет следующие функции: реализация совместной учебной, научной, творческой, производственной и общественной деятельности обучающихся, преподавателей и иных категорий работников ПИАШ, подготовка и переподготовка научно-педагогических кадров и обучающихся ПИАШ, обучение и повышение квалификации специалистов аэрокосмической отрасли, обучение инженерных кадров прогрессивным технологическим процессам, организация и руководство научно-исследовательской работой, производственной практикой обучающихся, проведение текущего и промежуточного контроля знаний обучающихся, руководство курсовыми проектами и работами, выпускными квалификационными работами обучающихся, проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, оказание услуг на договорных началах предприятиям, организациям, иным юридическим и физическим лицам, развитие учебной и материальной базы подразделения, эффективное использование современного оборудования, приборов, технологий.

В ПИАШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» работает интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых

технологий «Цифровой инжиниринг технологических процессов» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.5 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью создания или оснащения подразделения ПИАШ является обучение инженерных кадров ПИАШ компетенциям в области цифрового инжиниринга – цифрового организационно-технологического дизайна и оптимизации производственных процессов и режимов работы оборудования. Создание интерактивного комплекса опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «Цифровой инжиниринг технологических процессов» связан с решением сквозных научных исследований и разработок, определенных в программе ПИАШ: внедрение технологий автоматизации и цифровизации процессов производства аэрокосмической техники, отработка прогрессивных конструкторско-технологических решений создания аэрокосмической техники. Интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «Цифровой инжиниринг технологических процессов» используется в таких образовательных программах ПИАШ как: цифровые системы управления качеством в аэрокосмической индустрии (Управление в технических системах, магистратура), перспективные технологии производства изделий аэрокосмической техники (Машиностроение, бакалавриат), организация цифрового производства (Авиационная и ракетно-космическая техника, магистратура), автоматизация и инновации в проектировании и производстве авиационной техники (Авиастроение, магистратура). Комплекс используется для разрабатываемой в интересах ПАО «ОДК-Кузнецов» программы ДПО «Моделирование штамповки в программном продукте QForm».

В ПИШ университета Иннополис функционирует киберфизическая лаборатория информационной безопасности «Иннокиберполигон» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.6 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП полностью оснащено оборудованием и ПО. Ведущие российские компании, среди которых – Kaspersky, Positive Technologies, Security Vision, Код безопасности и SearchInform, предоставили более 50 специализированных программных средств защиты от актуальных киберугроз для «Инноки-

берполигона». «Иннокйберполигон» — современная лаборатория для кйберучений и подготовки специалистов в сфере информационной безопасности, позволяющим эмулировать сложные инфраструктуры, например, банки и государственные учреждения. В лаборатории установлены виртуальные учебные стенды с курсами и тренажёрами по анализу безопасности кода, защите от атак на корпоративную инфраструктуру и расследованию кйберпреступлений. Лаборатория ориентирована на внедрение образовательных программ ПИШ в практическую подготовку, выработку у ИТ-специалистов и инженеров умений решать реальные кейсы и задачи в сфере кйбербезопасности. В целях изучения механизмов и средств защиты информации на базе лаборатории созданы учебно-тренировочные стенды. Стенды состоят из курсов, тренажеров и кйберучений для повышения эффективности освоения материала и получения знаний за короткий период. Направления стендов: анализ безопасности кода (обучение учащихся навыкам тестирования приложений на наличие ошибок и уязвимостей в исходном коде с применением статического и динамического анализа), атаки на корпоративную инфраструктуру (обучение навыкам тестирования на проникновение), расследование кйберпреступлений (обучение навыкам выявления компьютерных атак и расследования инцидентов информационной безопасности), защита от внешних и внутренних угроз (обучение навыкам построения эшелонированной защиты), анализ беспроводных сетей (обучение навыкам тестирования на проникновение и защиты беспроводных сетей). За время работы СОП были достигнуты следующие результаты:

- закуплено современное серверное оборудование для виртуализации учебных курсов и стендов для проведения кйберучений;
- создано 30 высокотехнологичных рабочих мест с современными профессиональными ПК для обучающихся и 1 рабочее место преподавателя;
- дизайн пространства разработан в стиле современных Центров мониторинга информационной безопасности (SOC);
- в рамках методологического наполнения пространства: запущена платформа для обучения информационной безопасности с запуском виртуальных машин внутри браузера (курсы/ctf/тренажеры/кйберучения), интегрированы средства защиты информации 17 компании партнеров (поставщиков решений) в кйберучения для со-

здания цифровых двойников организаций с возможностью проведения анализа защищенности, создан 3D город «Neopolis» для киберучений;

- с 2024 года лаборатория будет внедрена в практическую подготовку по программам ДПО ПИШ для инженеров: «От теории к практике на Иннокиберполигоне: основы информационной безопасности» (72 ак.час.), «Кибербезопасность: исследование и защита на Иннокиберполигоне» (256 ак.час.);

- лаборатория «Иннокиберполигон» включена в образовательный процесс по программе бакалавриата ПИШ «Инженерия информационных систем» и магистратуры ПИШ «Инженерия безопасности систем и сетей»;

- получено 11 РИДов, в т.ч. Киберфизическая лаборатория Университета Иннополис «Иннокиберполигон» вошла в реестр отечественного ПО.

В передовой инженерной школе атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии (НГТУ им. Р.Е. Алексеева) функционирует СОП «Устойчивое развитие и ESG-трансформация» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.7 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), в задачи которого входит: осуществление научно-исследовательской, экспертно-аналитической, образовательной деятельности в области устойчивого развития на микро-, мезо- и макроуровнях. Распространение результатов научных исследований, полученных в результате деятельности центра устойчивого развития; привлечение к научной работе центра устойчивого развития научно-педагогических и других работников НГТУ, аспирантов и студентов НГТУ, а также представителей предприятий-партнеров; подготовка научно-педагогических кадров высшей квалификации для удовлетворения потребностей ПИШ, университета, региона; организация воспитательного процесса обучающихся с целью формирования гражданской позиции, способности к труду и жизни в современных условиях, сохранению и преумножению нравственности, культурных и научных ценностей общества; организация профориентационной работы со школьниками и студентами региона, мероприятий по выявлению талантливых и одаренных детей и молодежи, привлечению их к научно-познавательной деятельности. Функции СОП: проведение поисковых и прикладных научных ис-

следований, сбор и систематизация статистических данных, необходимых для эффективной реализации проектов, продвижение данных как базы для научных исследований студентов ПИИШ, интеграция научного и образовательного процессов, внедрение результатов научных исследований в учебный процесс, разработка и реализация программ ДПО в области устойчивого развития, подача заявок на грантовые программы РФ в соответствии с целями и задачами СОП, осуществление в установленном в НГТУ порядке сотрудничества с ведущими мировыми, российскими и зарубежными научными и образовательными организациями в сфере устойчивого развития, привлечение к научной деятельности в области устойчивого развития студентов путем организации студенческих научных обществ, конференций, конкурсов, олимпиад, организация информационных мероприятий по тематике устойчивого развития среди студентов ПИИШ и сотрудников университета, организация профориентационной работы со школьниками региона, мероприятий по выявлению талантливых и одаренных детей, привлечению их к научно-познавательной деятельности в сфере устойчивого развития.

Также в передовой инженерной школе атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии (НГТУ им. Р.Е. Алексеева) функционирует СОП «Интеллектуальные цифровые системы реального времени и SCADA-технологии» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.8 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), в задачи которого входит: предоставление ресурса для реализации программ магистратуры ПИИШ и программ дополнительного профессионального образования для магистрантов ПИИШ и промышленных партнеров, разработка и программная реализация цифровых моделей управления технологическими процессами АЭС, решение кейсов, связанных с разработкой систем реального времени в атомной отрасли, формирование и проведение комплекса мероприятий по реализации цифровых сервисов для интерактивных комплексов опережающей подготовки ПИИШ на базе отечественного программного обеспечения, продвижение и популяризация отечественного программного обеспечения в рамках деятельности промышленных партнеров ПИИШ. Научная деятельность СОП направлена на создание методов и технологий проектирования цифровых моделей управления технологическими процессами АЭС с применением

SCADA в качестве слоя мониторинга и диспетчерского контроля; построения интеллектуальных адаптивных систем цифрового управления на основе ЗОСРВ Нейтрино; обеспечения защищенности систем верхнего уровня (СВУ) АСУ ТП атомных электростанций от киберугроз и разработки АСУ на основе отечественных операционных систем.

В ПИШ университета ИТМО функционирует комплекс-тренажер по автоматизированному культивированию микроорганизмов и получению биопрепаратов (подробное описание СОП приведено в разделе 4.9 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью СОП «Комплекс-тренажер по автоматизированному культивированию микроорганизмов и получению биопрепаратов» является решение задачи активного вовлечения в совместную интеллектуальную деятельность научно-педагогических работников и студентов. Используется для реализации образовательных программ ПИШ ИТМО, организации и проведения практических занятий и тренировок с использованием комплекса-тренажера; поддержки и содействия научно-исследовательской работы в области биотехнологии и микробиологии; реализации продуктовых решений в форматах выполнения НИР и подготовки выпускных магистерских работ. В состав рабочей группы лаборатории входят кандидаты наук, административный персонал, аспиранты и студенты ПИШ. Сейчас на базе СОП реализуются 5 лабораторных и практических работ. На базе СОП преподаются 3 учебные дисциплины.

Также в ПИШ университета ИТМО функционирует цифровой тренажер-симулятор для построения алгоритмов искусственного интеллекта и разработки цифровых продуктов в рамках образовательного пространства программы «Химия и искусственный интеллект» и программы «Искусственный интеллект» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.10 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Задачи СОП: интерактивный комплекс призван решать задачи активного вовлечения в совместную интеллектуальную деятельность студентов и научно-педагогических работников; используется для реализации образовательных программ ПИШ ИТМО, отдельных дисциплин; разработка сервисов для дизайна новых материалов и лекарств с заданными свойствами с применением мето-

дов искусственного интеллекта; обучение студентов применению методов ИИ в научных исследованиях в области химии и смежных наук; разработка и тестирование новых алгоритмов машинного обучения для предсказания свойств и поведения химических соединений; создание цифровых двойников для проведения компьютерных экспериментов в области химии и материаловедения; обучение и тестирование различных нейросетевых моделей (моделей компьютерного зрения, LLM, распознавания и синтеза речи) студентами с целью проверки продуктовых и исследовательских гипотез в рамках проектного трека магистерской программы «Искусственный интеллект»; обучение студентами моделей в рамках различных соревнований по машинному обучению, проводимых на открытых платформах (Kaggle, ods и др.); реализация продуктовых решений в форматах выполнения НИР и подготовки выпускных магистерских работ. В состав рабочей группы лаборатории входят доктора и кандидаты наук, административный персонал, аспиранты, представители индустриальных партнеров и студенты ПИШ. На базе СОП были проведены 10 стажировок и практик. Реализовано 3 онлайн-сервиса. На базе СОП преподаются две учебные дисциплины.

В ПИШ «Цифровой инжиниринг» (СПбПУ) функционирует Научно-образовательное пространство «ТВЭЛ-СПбПУ» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.11 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Научно-образовательное пространство обеспечивает создание нового типа инженерной подготовки в интересах высокотехнологичных компаний России за счет цифровой трансформации образовательных подходов и технологий, включающей внедрение новой образовательной программы высшего образования на основе выполнения прорывных научно-технологических разработок и обеспечивающих их исследований, направленных на решение актуальных фронтальных инженерных задач для высокотехнологичной промышленности России. Задачи СОП: проведение образовательных программ магистратуры: «Компьютерный инжиниринг и цифровое производство», «Системный цифровой инжиниринг в атомном машиностроении», реализуемые совместно с высокотехнологическими компаниями-партнерами, проведении комплексных инженерных расчетов с учетом новых полученных компетенций и знаний, разработка интеллектуальных цифровых двойников в атомной

и термоядерной энергетике, совместная проектная работа студентов с опытными инженерами. Для каждого студента предусмотрено отдельное учебное место. В новом пространстве проходят лабораторный практикум по цифровому производству, занятия по дисциплинам «Вычислительная механика», «Оптимизация в производственных технологиях», а также регулярные встречи с кураторами со стороны ООО «Центротех-Инжиниринг» для обсуждения практических задач и магистерских диссертаций. Рядом с учебным классом оборудовано пространство на 8 рабочих мест для инженеров отделов исследования и проектирования механизмов и энергетического машиностроения инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®), которые ведут работу над актуальными проектами в сотрудничестве с предприятиями АО «ТВЭЛ». Такой формат позволяет вовлекать студентов непосредственно в работу инженерных команд, позволяя приобретать знания в рамках выполнения конкретных НИОКР без отрыва от реальной проектной деятельности.

Кроме того, в ПИШ «Цифровой инжиниринг» (СПбПУ) функционирует интерактивный комплекс «Передовые цифровые технологии в двигателестроении» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.12 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Главной задачей комплекса является создание единой экосистемы, включающей образовательное пространство (ОП) и научно-учебную лабораторию, обеспечивающей неразрывный процесс обучения студентов. В рамках интерактивного комплекса будет проводиться отработка технологии построения двухсторонних информационных связей компьютерных моделей с реальными объектами, необходимая для решения задач создания цифрового двойника стадии эксплуатации ГТД. Задачи СОП: вовлечение студентов в выполнение НИОКР по фронтальным инженерным задачам индустриального партнера с использованием цифровой платформы CML-Bench, обеспечение неразрывного процесса обучения студентов в концепции технологии цифрового двойника, обеспечение сквозного применения технологии цифрового двойника на стадиях ЦД-Р, ЦД-П, ЦД-Э.

В ПИШ «Судостроение Индустрии 4.0» (СПбГМТУ) функционирует 5 СОП типа «Интерактивные комплексы опережающей под-



готовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий», описание которых приведено далее.

В ПИШ «Судостроение Индустрии 4.0» (СПбГМТУ) функционирует НОЛ «Передовые цифровые технологии в судостроении («Умное судостроение»)» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.13 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). ИКОП – это инструмент тестирования и апробации отечественных решений для цифровой трансформации предприятий отрасли. Использование современных информационных технологий моделирования технологических, технических и управленческих процессов создаст уникальную киберфизическую среду для анализа, методического и кадрового обеспечения внедрения и использования новых импортопережающих отечественных цифровых производственных технологий.

Также в ПИШ «Судостроение Индустрии 4.0» (СПбГМТУ) функционирует ИКОП «Цифрового проектирования сварных конструкций и технологических процессов» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.14 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). ИКОП предназначен для обучения студентов ПИШ принципам и подходам к исследованию и разработке технологий ремонтной сварки и наплавки с использованием порошка и проволоки изделий судового машиностроения. Задачи СОП: производить и исследовать дуговую, лазерную и плазменную наплавку; исследовать возможность наплавки деталей сложной геометрии; проводить и исследовать удалённый мониторинг зоны обработки; выполнять симуляцию процесса обработки в среде цифрового двойника технологии. ИКОП используется работниками лаборатории для разработки технологических процессов, планирования работ.

Создан ИКОП «Технологии заготовительного производства» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.15 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). ИКОП предназначен для обучения студентов ПИШ принципам и подходам к исследованию и разработке лазерных и электрофизических технологий в заготовительном производстве технологий. Задачи СОП: овладение методикой технико-экономического обоснования выбора способа производства заготовок; определение технологических режимов и параметров термиче-

ской резки заготовок машиностроительных деталей. На ИКОП работниками лаборатории отрабатываются технологии, применяемые в заготовительном производстве при использовании лазерных и электрофизических технологий. На ИКОП для нужд АО «ОССЗ» выполняется отработка технологии заготовительного производства при использовании лазерных и электрофизических технологий в рамках договора № 19азф-23 от 14.04.2023 «Поставка установки технологической сварочной лазерно-дуговой в целях обеспечения программы модернизации АО «Онежский судостроительно-судоремонтный завод», цена договора – 69,2 млн руб.

В ПИШ «Судостроение Индустрии 4.0» функционирует ИКОП «Лабораторный комплекс (линия) лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки судовых металлоконструкций» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.16 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). ИКОП предназначен для обучения студентов ПИШ принципам и подходам к исследованию и разработке технологий лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки судовых металлоконструкций. Задачи СОП: производить и исследовать лазерную и лазерно-дуговую сварку, выполнять стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные соединения, исследовать возможность сварки в нижнем, горизонтальном и вертикальном пространственном положении, проводить удаленный мониторинг зоны обработки. На ИКОП работниками лаборатории отрабатываются технологические процессы гибридной лазерно-дуговой сварки объемных судовых конструкций.

В этой же ПИШ функционирует ИКОП «Лабораторный комплекс ремонтной сварки и наплавки (порошковой и проволоочной) изделий судового машиностроения» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.17 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). ИКОП предназначен для обучения студентов ПИШ принципам и подходам к исследованию и разработке технологий ремонтной сварки и наплавки с использованием порошка и проволоки изделий судового машиностроения. Задачи СОП: производить и исследовать дуговую, лазерную и плазменную наплавку, исследовать возможность наплавки деталей сложной геометрии, проводить и исследовать удаленный мониторинг зоны обработки, выполнять симуляцию

процесса обработки в среде цифрового двойника технологии. На ИКОП работниками лаборатории отрабатываются технологические процессы объемной дуговой наплавки изделий судового машиностроения (гребной винт, базовые элементы конструкций и т.д.).

В ПИШ «Электронное приборостроение и системы связи» (ТУСУР) создано СОП «Цифровая платформа» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.18 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Цифровая платформа предназначена для организации процесса поступления и обучения студентов передовой инженерной школы ТУСУР, а также для организации проектной деятельности. СОП позволяет студенту составить индивидуальную траекторию обучения на основе его плана развития и реализуемого проекта. С помощью цифровой платформы студенты имеют возможность выбирать проекты для реализации во время обучения в передовой инженерной школе ТУСУР. Система также включает в себя автоматизированную подачу заявок на новые проекты, подачу заявок на реализацию предложений дополнительных курсов, предложений о партнерстве и др. В задачи цифровой платформы входит: повышение привлекательности передовой инженерной школы и создание единой точки входа для обучающихся, организация конкурентных процедур поддержки научных проектов и привлечения обучающихся к научным исследованиям и разработкам, обеспечение образовательной деятельности по направлениям: 11.04.01 – Радиотехнические системы, 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии, системы связи и Интернет вещей, 11.04.04 – Электроника, наноэлектроника и микросистемная техника, 12.04.03 – Интегральная фотоника и оптоэлектронная фотоника. На текущий момент в «Бирже проектов» цифровой платформы опубликованы 25 научных проектов, из них 23 проекта уже начали реализовываться. В реализации данных проектов задействованы научные сотрудники университета, представители промышленных партнеров, студенты передовой инженерной школы и университета в целом. По состоянию на 01.11.2023 года на цифровой платформе авторизовано/зарегистрировано 214 пользователей, среди которых сотрудники и студенты университета, представители промышленных партнеров.

В ПИШ «Агробиотек» (Томский государственный университет) создано специальное образовательное пространство «Территория

искусственного интеллекта» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.19 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В СОП осуществляется опережающая подготовка специалистов в области разработки автономных роботизированных платформ для задач точного земледелия. Студенты ПИШ на интерактивном полигоне приобретают практические навыки в решении задач: разработки специализированного ПО для автономных роботов на базе ROS, разработка интеллектуальных систем с применением технологий искусственного интеллекта для задач точного земледелия, построения систем автоматического управления наземными роботизированными платформами, построения систем технического зрения для решения сельскохозяйственных задач, обеспечении логистическо-навигационной информацией наземных роботов, разработки встраиваемых систем для обеспечения функционирования наземных роботов. В СОП осуществляется обучение студентов ПИШ с применением VR технологий. Данная технология позволяет студентам моделировать и конструировать по-новому, а также используется в качестве выравнивания студентов по базовым дисциплинам.

В ПИШ «Интеллектуальные энергетические системы» (Томский политехнический университет) создан интерактивный образовательный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «ЛОГОС» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.20 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»), целью которого является внедрение программных продуктов «ЛОГОС» в образовательный процесс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий: разработка перечня решаемых задач в рамках адаптации пакета программ «ЛОГОС» к образовательному процессу на основе анализа возможностей программы и обучения сотрудников ТПУ разработчиком программных продуктов «ЛОГОС», разработка образовательных модулей и методических материалов. За время работы СОП, было достигнуто следующее: результаты интеллектуальной деятельности – 2 ед. (программный модуль по расчету теплофизических свойств диоксида урана, база данных расчетных сеток коронарных артерий человека для программного комплекса ЛОГОС); разработаны модули для образовательных программ в рамках

направления подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии» (дисциплины Теплогидравлические процессы ЯЭУ, Системы контроля, управления и диагностики АЭС), 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» (дисциплины Математическое моделирование физических процессов, Имитационное моделирование); выполняется научно-исследовательская работа студентов (10 человек), курсовое проектирование (Теплогидравлические процессы ЯЭУ, Имитационное моделирование) и подготовка выпускных квалификационных работ студентов (5 человек) по направлениям подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии», 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»; разработана программа повышения квалификации для сотрудников ТПУ и внешних заказчиков с реализацией в 2024 году.

На территории ПИШ «Инженерия киберплатформ» (Южный федеральный университет) функционирует интерактивный комплекс опережающей подготовки разработчиков симуляторов и цифровых двойников киберфизических систем (подробное описание СОП приведено в разделе 4.21 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Задачами комплекса являются: создание виртуальных прототипов воздушной, наземной, водной и подводной среды, цифровых двойников робототехнических комплексов различного базирования, объектов среды технических и людских ресурсов с целью выполнения проектов в интересах АО «УЗГА», АО «Эйбург», ГК «Калашников», Фонда перспективных исследований, АО «Андроида техника»; реализация процесса интерактивного развития следующих компетенций у студентов ПИШ ЮФУ: 1) способен создавать виртуальные прототипы и цифровые двойники киберфизических систем, в том числе, используя технологии дополненной реальности. 2) способен разрабатывать программное обеспечение симуляторов киберфизических систем, используя средство проектирования Matlab, Unity, Flowvision. На территории СОП были разработаны программы ДПО «3D-моделирование киберфизических систем», «Основы разработки симуляторов робототехнических систем», обучено 16 человек. Сотрудниками СОП пройдены 2 стажировки на АО «РусБиТех». СОП используется при реализации ООП по направлению 15.03.06 – Мехатроника и робототехника, 13.03.02 – Электротехника и электроэнергетика, 13.04.02 – Электротехника и

электроэнергетика, 15.04.06 – Мехатроника и робототехника. Исходя из задач и достижений СОП, можно отметить, что СОП больше относится к категориям «Цифровая фабрика» или «Опытное производство», чем к «Интерактивный комплекс опережающей подготовки».

Также на территории ПИШ «Инженерия киберплатформ» (Южный федеральный университет) функционирует интерактивный комплекс автоматизированной подготовки операторов БПЛА (подробное описание СОП приведено в разделе 4.22 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП оборудован симулятором для подготовки операторов БПЛА мультикоптерного и самолетного типов с функцией дистанционного управления от органов управления реального БПЛА (AeroSIM-RC + Remote Controller + Pro Edition +12 Channels + Scenario Aerial Inspections). Задачами комплекса являются: подготовка студентов ПИШ ЮФУ навыкам управления БПЛА мультикоптерного типа в симуляторе и в реальных условиях полета, подготовка студентов ПИШ ЮФУ навыкам управления БПЛА самолетного типа в симуляторе и в реальных условиях полета, обучение студентов ПИШ ЮФУ навыкам подготовки и обслуживания БПЛА мультикоптерного и самолетного типов, обучение студентов ПИШ ЮФУ навыкам планирования полетов БПЛА мультикоптерного и самолетного типов в симуляторе и в реальных условиях. За время эксплуатации СОП, были достигнуты следующие показатели: разработана программа ДПО «Оператор БПЛА. Начальный уровень», обучено 9 человек, сотрудниками СОП пройдены 2 стажировки, с помощью ИК осуществлена подготовка команды для участия во всероссийских соревнованиях по автономным БПЛА «Аэробот-2023», команда выиграла I место в общем зачете. СОП используется при реализации ООП по направлению 15.03.06 – Мехатроника и робототехника (бакалавриат) и 15.04.06 – Мехатроника и робототехника (магистратура).

В этой же ПИШ функционирует интерактивный комплекс компьютерного мультифизического моделирования электронной компонентной базы РТК (подробное описание СОП приведено в разделе 4.23 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). С помощью СОП осуществляется подготовка обучающихся передовой инженерной шко-

лы к проведению математического моделирования и анализа как отдельных, так и взаимосвязанных физических процессов, применению модулей расширения со специальными функциями для мультифизического моделирования материалов и структур микро- и нанoeлектроники, интегральной оптоэлектроники и микроэлектромеханических систем. Для деятельности СОП приобретена лицензия COMSOL Multiphysics (№9602601) на учебный класс для 30 активных сессий, а также однопользовательская лицензия COMSOL Multiphysics (№9602600) на один ПК, включающая модули: «AC/DC», «МЭМС», «Волновая оптика», «Плазма», «Полупроводники», «Химические реакции», «Трассировка частиц». С использованием Интерактивного комплекса компьютерного мультифизического моделирования электронной компонентной базы РТК реализуются дисциплины ООП по направлениям подготовки 28.04.01, 11.04.04, 11.04.03, 28.03.02. Дисциплины: «Моделирование физических процессов и систем», «Нейронные сети», «Проектный курс». Общее количество обучающихся – 43. СОП планируется использовать при выполнении НИОКР по проекту «23-91-00099 Исследование конструктивно-технологических решений создания миниатюрных электростатических МЭМС сенсорики и резонаторов с инкапсуляцией механического элемента в слоях кремниевой пластины». Партнёр – АО «Элемент». Исходя из задач СОП, стоит отметить, что СОП больше относится к категории «Лаборатория», чем к «Интерактивный комплекс опережающей подготовки».

В этой же ПИШ «Инженерия киберплатформ» функционирует интерактивный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров в области радиотехники и цифровой связи РТК (подробное описание СОП приведено в разделе 4.24 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП выполняет следующие функции: материально-техническое обеспечение научного и образовательного процесса в ПИШ «Инженерия киберплатформ»; получение компетенций, связанных с разработкой, отладкой, моделированием, эксплуатацией систем связи и ее составляющих частей; освоение методов моделирования алгоритмов цифровой обработки сигналов; освоение методов моделирования и измерения характеристик узлов приемопередающей аппаратуры; решение задач реального сектора экономики в области цифровой связи; демонстрация технологий совре-

менной цифровой связи. Комплекс позволяет проводить полный цикл расчетно-экспериментальных работ по разработке устройств микроволнового диапазона. Функциональные возможности комплекса позволяют проводить расчет (моделирование) СВЧ-устройств, а также проводить измерения характеристик макетов разработанных устройств или их составляющих частей. Экспериментальные исследования формируемых сигналов можно проводить как во временной, так и в спектральной области. Студенты ПИШ ЮФУ получили возможность проводить экспериментальные исследования в рамках выполнения проектов в одном месте. В состав комплекса входит макет цифрового приема-передающего устройства, что позволяет студентам на практике применять знания по методам генерирования и формирования сигналов и исследовать реальный макет приема-передающего устройства, а также его узлов. Данный комплекс позволяет студентам получить уникальные компетенции в области разработки, планирования экспериментальных исследований и проведения измерений с применением современных радиоизмерительных приборов. Планируется дополнить комплекс макетами типовых функциональных узлов приема-передающей аппаратуры, создать дистанционный доступ к работе комплекса, приобрести дополнительную оснастку для проведения измерений и расширения функциональных возможностей.

В ПИШ «Высшая школа авиационного двигателестроения» (Пермский политех) на стадии внедрения (после ремонта) находится СОП «Проектная студия Политехнической школы» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.25 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи студии входит: организация научно-исследовательских, опытно-конструкторских и внедренческих работ обучающихся старших классов, изготовление прототипов, опытных образцов и опытных партий изделий, проектная и профориентационная деятельность. Студия оборудована FDM-принтером высокоточной печати и FDM-принтером с открытой архитектурой, а также 3D-сканером. На базе СОП 115 человек уже прошли практики и стажировки. Представители ПИШ «Высшая школа авиационного двигателестроения» указали в качестве типа СОП «Лабораторию» и «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа



был выбран тип «Интерактивный комплекс опережающей подготовки», исходя из функционала СОП. Тем не менее, данное СОП может быть отнесено и к «Цифровой фабрике» в связи заявленным функционалом СОП по изготовлению прототипов, опытных образцов и опытных партий изделий. Но, так как данный процесс реализован в рамках профориентации школьников, а не производства конкурентноспособной продукции, «Проектная студия» была отнесена к «Интерактивным комплексам опережающей подготовки».

В ПИИШ «Распределенные системы управления технологическими процессами» (НовГУ им. Ярослава Мудрого) создано «Образовательное пространство А.И. Галушкин» (подробное описание СОП приведено в разделе 4.26 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит: проведение лекционных, лабораторных и практических работ, использование программно-аппаратных комплексов студентов для решения задач с использованием специализированного прикладного программного обеспечения и отладкой проектов на аппаратной платформе, создание условий для интеграции учебной и научной деятельности при решении задач образовательного процесса и партнеров ПИИШ в области информатики и вычислительной техники, погружение студента в условия, максимально приближенные к рабочей обстановке инженера-разработчика. На базе СОП ведутся работы по проектам для партнёров, проведены занятия Школы по инженерным наукам Союзного государства (40 студентов), проведены занятия в рамках Летней школы для 108 школьников. Представители ПИИШ «Распределенные системы управления технологическими процессами» указали в качестве типа СОП «Лабораторию» и «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа, был выбран тип «Интерактивный комплекс опережающей подготовки», исходя из функционала СОП.

Также в ПИИШ «Распределенные системы управления технологическими процессами» (НовГУ им. Ярослава Мудрого) создано «Образовательное пространство И.И. Ползунов» (Автоматизированные системы управления) (подробное описание СОП приведено в разделе 4.27 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит: проведение лекционных, лабораторных и практических работ, ис-

пользование программно-аппаратных комплексов студентов для решения задач с использованием специализированного прикладного программного обеспечения и отладкой проектов на аппаратной платформе, создание условий для интеграции учебной и научной деятельности при решении задач образовательного процесса и партнеров ПИШ в области информатики и вычислительной техники, погружение студента в условия, максимально приближенные к рабочей обстановке инженера-разработчика. На базе СОП проведены занятия Школы по инженерным наукам Союзного государства (40 студентов), проведены занятия в рамках Летней школы для 108 школьников. Представители ПИШ «Распределенные системы управления технологическими процессами» указали в качества типа СОП «Лабораторию» и «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа, был выбран тип «Интерактивный комплекс опережающей подготовки», исходя из функционала СОП.

В ПИШ «Системная инженерия ракетно-космической техники» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) создается центр космических технологий мирового уровня для разработки, изготовления и испытаний малых космических аппаратов, компонентов транспортно-энергетических модулей и микродвигательных установок (подробное описание СОП приведено в разделе 4.28 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Образовательная составляющая СОП включает следующие задачи: на оборудовании центра будет производиться научно-исследовательская работа студентов и аспирантов, а также курсовое проектирование, на оборудовании центра будет проводиться цикл лабораторных работ, на базе центра будет осуществляться подготовка кандидатских и докторских диссертационных работ, в центре будут производиться стажировки студентов и аспирантов международных вузов, в центре будут проводиться курсы повышения квалификации сотрудников профильных организаций Роскосмоса, в центре будут реализовываться новые образовательные программы в интересах ракетно-космической отрасли, как предприятий Роскосмоса, так и частных космических компаний, будут разработаны и реализованы сетевые образовательные программы с региональными вузами, которые готовят специалистов в ракетно-космической отрасли. Кроме того, в центре будут производиться исследования перспективных

схем электрических ракетных двигательных установок, материалов для аэрокосмической техники. Направления исследований: исследование влияния космических условий на искусственные объекты, физические процессы в канале, разрядной камере и пучке электро-ракетных двигателей, в катодах-нейтрализаторах, перевод электрических ракетных двигателей на альтернативные рабочие вещества, исследование физических и эксплуатационных свойств альтернативных и композитных материалов для элементов космических аппаратов, создаваемый центр будет использоваться для проведения полного цикла испытаний электрических ракетных двигателей и малых космических аппаратов. В состав рабочей команды СОП входят доктора и кандидаты наук, аспиранты, административный персонал, студенты ПИШ и 10 представителей индустриальных партнеров. Представители ПИШ указали в качестве типа СОП «Лабораторию» и «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа был выбран тип «Интерактивный комплекс опережающей подготовки», исходя из функционала СОП.

### *3.2.4. Специальные образовательные пространства ПИШ типов «Цифровая фабрика», «Умная» фабрика» и «Виртуальная (кибер-физическая) фабрика»*

На территории ПИАШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» (Самарский университет им. С.П. Королева) функционирует цифровая фабрика систем региональной авиации и беспилотных летательных аппаратов (ЦФ ЛА) (подробное описание СОП приведено в разделе 5.1 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью ЦФ ЛА является обеспечение в кратчайшие сроки проектирования и отработки технологий производства глобально конкурентоспособной авиационной техники, в том числе беспилотной, от стадии исследования и заканчивая созданием цифровых двойников и опытных образцов, в том числе за счет подготовки инженерных кадров, обладающих компетенциями в области применения цифровых интеллектуальных технологий подготовки и управления производством для повышения гибкости, производительности, качества и снижения затрат на производство. В рамках

создания ЦФ ЛА рассматриваются следующие ключевые направления конструкторско-технологической подготовки производства авиационной техники, в том числе беспилотной: разработка конструкторской документации, разработка и отработка технологических процессов производства изделий и их сборки, разработка и опытное производство электронных частей беспилотных летательных аппаратов и систем их управления, оперативное управление производственными процессами с применением MES систем и производственная логистика, контроль, дефектоскопия и управление качеством. Все перечисленные направления основываются на применении как цифровых средств (программных средств) поддержки принятия решений, так и интеллектуальных средств. При этом формируется полный цикл создания беспилотных летательных аппаратов, начиная от проектирования и заканчивая производством опытных образцов. ЦФ ЛА используется в основных образовательных программах ПИАШ таких как: организация цифрового производства (Авиационная и ракетно-космическая техника, магистратура), автоматизация и инновации в проектировании и производстве авиационной техники (Авиастроение, магистратура), перспективные ракетно-космические комплексы (Ракетные комплексы и космонавтика, бакалавриат). В настоящее время на базе ЦФ ЛА реализуются следующие прикладные научные проекты:

- разработка и изготовление имитационного стенда для настройки и калибровки систем управления беспилотных воздушных судов;
- разработка и изготовление автопилота для управления беспилотным летательным аппаратом вертикального взлета;
- разработка системы ассоциативно-параметрического проектирования стапельной оснастки агрегатно-сборочного производства авиакосмической техники;
- разработка и совершенствование интеллектуальных и цифровых методов управления качеством на этапах жизненного цикла;
- разработка технологии автоматизированного проектирования и отработка прогрессивного конструкторско-технологического процесса создания винтов из композиционных материалов для беспилотных летательных аппаратов.

На территории передовой инженерной школы Университета Лобачевского. функционирует цифровая фабрика отделения материала-

лов для микроэлектроники (подробное описание СОП приведено в разделе 5.2 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит: проведение цифровых исследований в рамках НИР/НИОКР/ОКР (исходные данные для проектирования, разработка технологической и конструкторской документации), разработка и реализация программ ДПО для промышленных партнеров, проведение экономических и экологических исследований в рамках НИР/НИОКР/ОКР (технико-экономическое обоснование, маркетинговые исследования рынка продукции), проведение студентами ПИШ мастер классов для школьников по программе «Цифровая фабрика отделения материалов для микроэлектроники». Число пройденных стажировок – 1 (12 человек ООО «СИБУР» на тему «Инфракрасная спектроскопия: основы метода, техника выполнения измерений, практическое применение). Привлечённое финансирование НИОКР ~ 25 млн руб. (исходные данные для проектирования, технологические расчеты, маркетинговые исследования, разработка и аттестация аналитических методик ТЭО и др.). СОП работает по принципу «open space», есть доступ для использования ПО, оборудования для реализации задач вне рамок ПИШ для передачи лучших практик ПИШ в другие подразделения, вузы и организации.

На территории ПИШ «Цифровой инжиниринг» (СПбПУ) в процессе запуска находится учебно-виртуальное предприятие, включая виртуальную испытательную лабораторию для валидации математических и компьютерных моделей составных частей сложных технических систем (подробное описание СОП приведено в разделе 5.3 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). СОП представляет собой специальное программное решение на базе ФГАОУ ВО «СПбПУ», имитирующее информационную систему реального предприятия. Функционирование обеспечивается наличием: специализированного ПО (например, КОМПАС-3D, ПОЛИНОМ MDM и пр.); автоматизированных рабочих мест; цифровой платформы разработки цифровых двойников CML-Bench™. Задачи СОП: проектное обучение, ориентированное на практические задачи промышленности, подготовка специалистов, умеющих работать с современным отечественным инженерным ПО, комплексная методология обучения автоматизированному проектированию в ИИС, разработка и анализ эле-

ментов цифрового двойника изделия, апробация информационных технологий, обучение проектного персонала интегрированным САПР. СОП планируется запустить в работу в 2024 году. Планируется запуск основной образовательной программы: разработка платформенных решений в области системного и цифрового инжиниринга.

На территории передовой медицинской инженерной школы (СамГМУ) совместно с научно-технологической лабораторией телемедицины создана «Умная» фабрика телемедицинского приборостроения (подробное описание СОП приведено в разделе 5.4 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В СОП для разработки трехмерных моделей используются рабочие места, оснащенные видеокартами с поддержкой CUDA для высокопроизводительных вычислений, для сохранения наборов данных (датасетов) выделено отдельное пространство на серверах университета. В задачи СОП входит: разработка новых аппаратно-программных решений для онлайн-мониторинга динамики показателей здоровья, сбор и обработка телемедицинской информации с использованием технологий искусственного интеллекта, реализация программных компонентов систем поддержки принятия врачебных решений. Основной план развития СОП состоит в расширении номенклатуры и функциональных возможностей Платформы дистанционного мониторинга физиологических показателей пациента «Health Check-Up».

На территории ПИАШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» (Самарский университет им. С.П. Королева) создана киберфизическая фабрика малоразмерных газотурбинных двигателей (КФФ МГТД) (подробное описание СОП приведено в разделе 5.5 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В задачи СОП входит:

- создание полигонов для разработки и отработки многоуровневого моделирования, обмена данными между устройствами и системами, обработки данных, интеграции подсистем в единую информационно-аналитическую систему, технологий производства и визуализации, организации функциональных, логических и информационных процессов для организации и управления реальным

«физическим» производством МГТД с определенной программой выпуска изделий;

- создание производственного полигона (интеллектуальной производственной ячейки) подразумевает оснащение КФФ 5-осевым обрабатывающим центром для обработки центробежных колес (импеллеров) компрессора МГТД, электроэрозионным прошивным станком для точной обработки глубоких отверстий малого диаметра, в частности форсунок камер сгорания МГТД и полноразмерных ГТД, изготовленных аддитивными технологиями, роботоманипулятором для организации интеллектуальной производственной ячейки (ИПЯ);

- создание полигона компьютерного инжиниринга и цифровых технологий для реализации цифрового контура КФФ в части интеллектуальной конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Полигон оснащается современными вычислительными рабочими станциями и сервером для реализации единой информационно-аналитической системы (ЕИАС), которая позволит сформировать содержание цифрового паспорта изделия/ДСЕ;

- создание полигона иммерсивных технологий в двигателестроении, позволяющего с использованием устройств визуализации (очки AR/VR, мобильные планшеты и смартфоны) дополнять реальные производственные объекты как ИПЯ, так и объекты производства – МГТД необходимой актуальной информацией;

- создание испытательного полигона для исследования рабочего процесса как в отдельных узлах, так и в малоразмерных газотурбинных двигателях (МГТД) и энергетических установках (МГТУ) в целом, в том числе для валидации и верификации цифровых двойников рабочих процессов; отработка новых методов и средств измерений различных параметров энергетических установок и их узлов; отработка методик проведения испытаний МГТД и его узлов, методик термогазодинамического анализа результатов испытаний и идентификации математических моделей; экспериментальное подтверждение правильности и эффективности мероприятий по доводке рабочего процесса и прочностных характеристик исследуемых МГТД/МГТУ или их отдельных узлов; экспериментальное подтверждение соответствия характеристик энергетических установок и их узлов техническому заданию или проекту.

На территории ПИАШ «Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники» (Самарский университет им. С.П. Королева) создана киберфизическая фабрика малых космических аппаратов (подробное описание СОП приведено в разделе 5.6 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Целью КФ МКА является создание и отработка прогрессивных конструкторско-технологических и организационно-технических решений серийного производства малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. Задачи и функции КФ МКА: организация образовательной деятельности, предусматривающей активное вовлечение в совместную интеллектуальную деятельность студентов и научно-педагогических работников университета с целью реализации образовательных программ; разработка конструктивно-технологических решений унифицированных платформ малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (МКА ДЗЗ), позволяющих производить их автоматизированную сборку; создание роботизированного интеллектуального производства платформ МКА ДЗЗ; разработка технологических решений по изготовлению и сборке МКА; разработка технологических решений по автоматизации хранения входящих компонентов и материалов, включающих в себя систему идентификации и распознавания; разработка технологических решений автоматизированной транспортировки деталей и корпусов МКА между участками; разработка технологических решений по контролю и испытаниям МКА; разработка методики интеллектуального оперативного управления роботизированным интеллектуальным производством. КФ МКА принимает участие в реализации следующих образовательных программ, реализуемых ПИАШ: «Автоматизация и инновации в проектировании и производстве авиационной техники» (магистратура), «Перспективные ракетно-космические комплексы» (бакалавриат), «Промышленный дизайн производственных линий» (программа дополнительного профессионального образования). Результаты проекта будут использованы при разработке новых образовательных программ магистратуры «Цифровые системы управления качеством в аэрокосмической индустрии системах» (2025 г.) и бакалавриата «Перспективные технологии производства изделий аэрокосмической техники» (2024 г.). Внедрение в образовательный процесс результатов настоящего



научного проекта позволит обучающимся приобрести компетенции в области организации работы автоматизированного производства, современных подходов к проектированию, конструированию и серийного производства аэрокосмической техники.

Созданный в ПИШ «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» (Дальневосточный федеральный университет) «Агрополигон» («Научная лаборатория аквабиотехнологии и агроинженерии» в партнерстве с Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки») (подробное описание СОП приведено в разделе 5.7 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ») предназначен для достижения следующих целей: разработка импортонезависимых технологий интенсивной вертикальной культивации растений в концепции Индустрии 4.0 (с использованием IT-технологий), ориентированных как на отечественный, так и мировой рынки. Создание образовательной и исследовательской базы для разработки, внедрения и эксплуатации новых технологий биоэкономической отрасли в консорциуме и партнерстве с высокотехнологичными компаниями и ведущими научными коллективами; разработка биотехнологий массового получения микро- и макродорослей, микробиологического белка как альтернативного источника кормовой муки, для использования в качестве компонентов кормов при товарном выращивании гидробионтов с применением IT-технологий.

В задачи «Агрополигона» входят: проведение научных исследований по поиску эффективных режимов динамического освещения сельскохозяйственных культур для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, изучение вертикального растениеводства и беспочвенной культивации растений, проведение практических и лабораторных работ для студентов и аспирантов, выполнение экспериментальной части в рамках курсового и дипломного проектирования и диссертационных работ магистрантов, аспирантов, докторантов, обучение студентов научно-технологической и экспериментальной работе, в том числе основам вертикального растениеводства, беспочвенной культивации растений, разработка рецептур кормов для аквакультуры с применением биологически-активных веществ микробиологического белка в лабора-

торных условиях, моделирование биотехнологического процесса получения кормового микробиологического белка (КБМ) в лабораторных условиях. В рамках деятельности СОП получены следующие результаты при участии обучающихся ПИШ:

- изучена взаимосвязь освещения и почвенного субстрата с ростом и развитием растений салата в замкнутых условиях;
- проведены эксперименты по определению оптимальных параметров освещения, таких как интенсивность, длина волны, поляризации;
- проведены эксперименты по определению оптимальных параметров почвенного субстрата, таких как механический и гранулометрический состав, пропорция минеральных удобрений;
- проведена обработка и сравнение полученных результатов и определена эффективность использования оптимизированных параметров;
- разработаны рекомендации по использованию оптимальных параметров освещения и почвенного субстрата для увеличения продуктивности светокультур;
- проведен скрининг штаммов-продуцентов в качестве источника для получения (КМБ); установлено, что наибольшая скорость роста и прирост белка характерны для штаммов *Thermothelomycetes thermophila* и *Humicola grisea*, что позволило рекомендовать их в качестве продуцентов КМБ;
- проведено моделирование биотехнологического процесса получения КМБ в лабораторных условиях; выпущена лабораторная партия КМБ;
- проведен этап по разработке рецептур кормов для аквакультуры с применением биологически активных веществ и КМБ: выделены целевые группы-потребители кормов, определены потребности целевых групп, разработаны предложения по химическому составу и пищевой ценности кормов для каждой целевой группы;
- проведены практические и лабораторные работы с использованием VR-тренажера в рамках учебного процесса ПИШ;
- выполнены экспериментальные части диссертационных работ магистрантов, аспирантов, докторантов в количестве 8 работ, в рамках курсового и дипломного проектирования – 9 работ.

- в деятельности СОП принимают участие обучающиеся по направлениям подготовки 19.03.01 Биотехнология, 27.03.02 Управление качеством, 19.04.01 Биотехнология, 19.04.05 Высокотехнологичные производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения, 12.04.04 Биотехнические системы и технологии, 27.04.02 Управление качеством, 06.05.01 Биоинженерия и биоинформатика, 09.04.03 Прикладная информатика, а также по программам аспирантуры и докторантуры.

- количество полученных РИД – 8;

- привлечены финансовые средства за счет выполнения НИ-ОКТР (софинансирование) – 6,8 млн руб.

«Агрополигон» оснащен высокотехнологичным оборудованием: «Умная» фабрика растений «Программно-аппаратный комплекс рациональной вертикальной культивации» – экспериментальная лаборатория «SMART Bio LAB», инкубатор микробиологический, камера для роста растений, IP-камеры для реализации системы фенотипирования, система фенотипирования, микроскоп цифровой тип 1 Levenhuk MED, микроскоп цифровой тип 2 Levenhuk DTX500 LCD, микроскоп цифровой тип 3 Levenhuk MED D25T LCD. В соответствии с задачами «Агрополигона», в СОП используется следующее специализированное программное обеспечение: база данных параметров питательного раствора для беспочвенной культивации базилика многолистного сорта «Эмили» в гидропонной системе, база данных изображений для определения фенологических фаз базилика сорта «Эмили», программа для автоматического управления системой беспочвенного культивирования на базе гидропонной установки, программа для корректировки показателей питательного раствора в процессе беспочвенной культивации на гидропонной установке, программа для определения фенологических фаз базилика в гидропонной установке, программное обеспечение человеко-машинного интерфейса системы беспочвенного культивирования на базе гидропонной установки. Представители ПИИШ «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» указали в качества типа СОП «Лабораторию» и «Умную» фабрику». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа был выбран тип «Умная фабрика», исходя из задач и функционала «Агрополигона».

В ПИШ «Системная инженерия ракетно-космической техники» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) создается центр разработки, изготовления и испытаний малых космических аппаратов типоразмера CubeSat (подробное описание СОП приведено в разделе 5.8 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). В образовательном пространстве планируется сконцентрировать полный спектр работ по разработке, изготовлению и испытанию малых космических аппаратов (МКА) типоразмера CubeSat для решения актуальных прикладных задач. Размещение в рядом расположенных помещениях конструкторского бюро, лабораторий разработки бортовых систем, зала сборки и испытаний, что возможно благодаря малому размеру объектов разработки, позволит на наглядных практических примерах проводить образовательные мероприятия. Единовременное рассмотрение всего жизненного цикла создания МКА и участие в нем, при реализации проектов малых спутников, позволит сформировать системное мышление разработчиков космической техники, усилит понимание взаимосвязи отдельных технических направлений, компетенций и знаний, необходимых разработчику космической техники, будет формировать у обучающихся мышление «главного конструктора». При реализации проекта планируется использование возможностей ГК «Роскосмос» по попутному запуску разработанных аппаратов. Тесная кооперация с Центром управления полетами МГТУ им. Н.Э. Баумана позволит полностью замкнуть цепочку жизненного цикла создания космической техники в МГТУ им. Н.Э. Баумана «разработка – изготовление – эксплуатация». Главная цель центра – обучение и проведение образовательных мероприятий для студентов путем вовлечения в разработку МКА и их систем на любом этапе жизненного цикла. Представители ПИШ указали в качестве типа СОП «Цифровую фабрику», «Лабораторию» и «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа, был выбран тип «Цифровая фабрика», исходя из функционала и цели СОП.

Также в ПИШ «Системная инженерия ракетно-космической техники» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) создается Центр технологий СЖО (подробное описание СОП приведено в разделе 5.9 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Актуальность создания данного образователь-

ного пространства обусловлена необходимостью усиления практической подготовки студентов, обучающихся по специальности «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», в области проведения научных и учебных исследований процессов и оборудования, используемого при наземной эксплуатации, предстартовой подготовке и старте ракет и космических аппаратов. Целью создания образовательного пространства является обучение студентов навыкам работы с экспериментальным и измерительным оборудованием при проведении практических исследований и физическом моделировании процессов, сопровождающих функционирование агрегатов и систем наземного технологического и стартового оборудования ракетно-космической техники. Задачами образовательного пространства являются поиск и выявление эффективных методов, методик и технических решений для улучшения тактико-технических и эксплуатационных характеристик оборудования, систем и объектов наземной космической инфраструктуры, приводящих к снижению материальных, энергетических и финансовых затрат, а также времени выполнения операций по подготовке ракет-носителей и космических аппаратов к пуску на технических и стартовых комплексах космодромов. Планы по развитию СОП включают усовершенствование условий подготовки высококвалифицированных кадров для высокотехнологичных предприятий Госкорпорации Роскосмос. Представители ПИШ указали в качестве типа СОП «Лабораторию», «Виртуальную (кибер-физическую) фабрику» и «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Для однозначной классификации СОП в рамках данного документа был выбран тип «Виртуальная (Кибер-физическая) фабрика», исходя из функционала и конечной цели СОП.

В ПИШ «Моторы будущего» (Уфимский университет науки и технологий) в процессе создания находится комплекс, включающий «Умную фабрику»: «Smart. Engines of the future» и «Цифровую фабрику»: «Digital. Engines of the future» (подробное описание СОП приведено в разделе 5.10 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Фабрики оснащены передовым программным обеспечением: Компас 3D, Ansys, SolidWorks (в том числе расчетные модули), Star-CCM, Altium Designer, Matlab, DipTrace. Задачей СОП является разработка

цифровых моделей производства узлов и элементов электрических машин. На данный момент, в соответствии с описанием СОП, полученном от представителей ПИШ, СОП находится на стадии подготовки помещений, ремонта и оснащения.

### *3.2.5. Специальные образовательные пространства ПИШ других типов*

В передовой инженерной школе атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии (НГТУ им. Р.Е. Алексеева) функционирует видеостудия НГТУ (подробное описание СОП приведено в разделе 6.1 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»). Видеостудия выполняет следующие задачи: запись высококачественных учебных видеороликов, видео- и аудиозапись многоступенчатых презентаций в высоком качестве, проведение онлайн-лекций и веб-конференций, создание видеокурсов без съемочной группы и постобработки, обработка полученного материала в итоговое видео, для получения информационных видеопрезентаций. С начала года записаны: информационные ролики в количестве 15 шт., лекции в количестве 20 шт. Представители ПИШ указали в качестве типа СОП «Лабораторию». Однако в описанном пространстве не реализуется образовательный или научно-исследовательский процесс. Описание видеостудии НГТУ, её функционал и задачи не позволяют отнести видеостудию ни к одному из рассматриваемых типов СОП. Исходя из этого, видеостудия представлена в данном разделе. Если рассматривать видеоконтент как продукт, то данный тип СОП можно было бы отнести к «Опытному производству» или «Цифровой фабрике», если бы создаваемый видеоконтент был бы востребован у индустриального партнера или других представителей бизнеса и производился бы на контрактной основе. Возможное развитие видеостудии и заключение подобных соглашений позволит в дальнейшем классифицировать как «Опытное производство» или «Цифровую фабрику».

В ПИШ «Электронное приборостроение и системы связи» (ТУ-СУР) функционирует видеостудия Jalinga Exclusive Teleprompter (подробное описание СОП приведено в разделе 6.2 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых

инженерных школ»). Аппаратная часть видеостудии Jalinga Exclusive Teleprompter включает в себя: сервер, видеосистему, звуковую систему, стеклянную сенсорную доску, освещение и фон, экраны спикера, телесуфлер. Деятельность видеостудии Jalinga Exclusive Teleprompter направлена на осуществление следующих функций: запись образовательных курсов и вебинаров, ускорение подготовки материалов видеокурсов по теоретической части образовательных модулей, повышение качества материалов видеокурсов по теоретической части образовательных модулей (высокое разрешение видео, качество звука, применение интерактивной доски и т.п.), популяризация проектной деятельности через сеть Интернет. В видеостудии Jalinga Exclusive Teleprompter подготовлено около 20 образовательных курсов (более 360 видеолекций). Более 150 человек (за 2022-2023 гг.) прошли курсы повышения квалификации, подготовленные с использованием видеостудии Jalinga Exclusive Teleprompter. В состав рабочей группы видеостудии входят кандидаты наук и административный персонал (15 человек). В СОП планируется проведение вебинаров, онлайн-конференций и круглых столов по научным тематикам, проведение профессиональной съемки тематических лекций и разработка образовательных курсов и модулей. Кроме того, на базе видеостудии планируется проведение «Школы нескучного доклада», в рамках которой участников научат доступно доносить до слушателя информацию разной сложности, а также подготовка студентов передовой инженерной школы «Электронное приборостроение и системы связи им. А.В. Кобзева» к контрольным точкам по проектной деятельности (съемка видеоотчета/презентации результатов реализации проекта). Представители ПИШ указали в качестве типа СОП «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Однако в описанном пространстве на данный момент не реализуется образовательный процесс с использованием интерактивных технологий. Описание видеостудии, её актуальный функционал и задачи не позволяют отнести видеостудию ни к одному из рассматриваемых типов СОП. Исходя из этого, видеостудия представлена в данном разделе. При реализации планов по проведению «школы нескучного доклада» и видеостудии может быть присвоен тип «Интерактивный комплекс опережающей подготовки». Кроме того, если рассматривать видеоконтент, как продукт, то данный тип СОП можно было бы отнести к «Опытному

производству» или «Цифровой фабрике», если бы создаваемый видеоконтент был бы востребован у индустриального партнера или других представителей бизнеса и производился бы на контрактной основе.

### ***3.3. Анализ соответствия направлений реализации специальных образовательных пространств в передовых инженерных школах и международных, и российских трендов***

В опубликованном исследовании методического центра «ПИШ» «Анализ трендов обеспечения качества инженерного образования в Российской Федерации и международных сообществах» [34] были выявлены актуальные направления исследований в области совершенствования инженерного образования в России и во всем мире. Среди таких трендов совершенствования инженерного образования были выявлены: применение VR и AR технологий в инженерном образовании, создание и применение цифровых двойников производств и объектов, обучение полному циклу производств, проектов и исследований.

В результате анализа описаний СОП, полученных от ПИШ, были выявлены СОП, в которых активно реализуются данные тренды:

- применение, исследование, разработка и совершенствование VR и AR технологий – 16 СОП (данное направление реализуется в СОП, описание которых приведено в разделах 2.2, 2.5-2.6, 2.19-2.20, 2.26, 2.56, 2.58, 4.2, 4.4-4.5, 4.13, 4.19, 4.21, 5.5, 5.7 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»);

- применение, исследование, разработка и совершенствование цифровых двойников объектов, предприятий и процессов – 15 СОП (данное направление реализуется в СОП, описание которых приведено в разделах 2.2, 2.28, 2.36, 4.1, 4.6, 4.10-4.12, 4.14, 4.17, 4.19, 4.21, 5.1, 5.3, 5.5 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»);

- обучение, реализация и исследование полного цикла производства, исследований и проектов – 7 СОП (данное направление реализуется в СОП, описание которых приведено в разделах 2.43, 2.45, 2.50, 3.4, 4.24, 5.1, 5.8 приложения к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ»).



Из результатов анализа можно сделать вывод, что направления реализации специальных образовательных пространств в ПИИШ соответствуют наиболее актуальным и обсуждаемым трендам совершенствования инженерного образования в международном и российском опыте. Таким образом, реализация таких СОП в ПИИШ способствуют основной задаче федерального проекта «Передовые инженерные школы» – модернизации инженерного образования и достижение современных передовых показателей и качеств образовательного процесса будущих инженеров.

## **Заключение**

В результате проведенного литературного обзора, сбора и анализа данных о специальных образовательных пространствах ПИИШ через организацию личных визитов передовых инженерных школ представителями методического центра ПИИШ был составлен Каталог специальных образовательных пространств ПИИШ. В данном документе представлено краткое описание реализованных в ПИИШ специальных образовательных пространств. Полное, оригинальное описание СОП, включая фотоматериалы приведены в документе «Приложение к каталогу специальных образовательных пространств «Передовых инженерных школ», который также является продуктом работы методического центра «ПИИШ» НИЯУ МИФИ.

В каталоге кратко описаны 104 специальных образовательных пространства реализованных или находящихся на финальной стадии внедрения в ПИИШ. Среди 104 СОП:

- СОП типа «Лаборатория» – 58 СОП;
- СОП типа «Опытное производство» – 6 СОП;
- СОП типа «Интерактивный комплекс опережающей подготовки» – 28 СОП;
- СОП типа «Цифровая фабрика», «Умная фабрика» и «Виртуальная (кибер-физическая) фабрика» – 10 СОП;
- СОП другого типа – 2 СОП.

Согласно полученным описаниям СОП, представители промышленных партнеров активно вовлекаются в процесс обучения студентов на базе СОП. Взаимодействие с промышленным партнером включает в себя участие представителей ИП в рабочей группе

СОП, заключение соглашений и договоров на выполнение научно-исследовательских работ и производство продукции.

По итогам анализа описаний специальных образовательных пространств ПИШ была проведена приоритезация специальных образовательных пространств по критериям, описанным ранее в данном документе. В табл. 1 представлен ТОП-30 описаний специальных образовательных пространств ПИШ, отобранных по их полноте, точности и значимости для достижения целей федерального проекта «ПИШ».

Документ является частью методических рекомендаций методического центра «Передовые инженерные школы» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и составлен для передачи передовым инженерным школам для облегчения процесса обмена опытом в области реализации и использования специальных образовательных пространств, а также взаимодействия с промышленными партнерами.

Таблица 1. Топ-30 специальных образовательных пространств ПИШ по итогам приоритизации описаний СОП, полученных от ПИШ

№	СОП	ПИШ	Тип СОП	Итоговый Балл
1	Научно-образовательное пространство «ТВЭЛ-СПБПУ»	«Цифровой инжиниринг»	ИКОП	25,2
2	Экспериментальная лаборатория Научно-образовательного центра «Цифровые решения в области топлив, их синтеза и применения» (НОЦ ЦРОТСП)	«Интеллектуальные энергетические системы»	Лаборатория	24,65
3	Демонстрационный (образовательный) стенд с авиационным двигателем с системой контроля с применением беспроводных технологий	«Цифровой инжиниринг»	Лаборатория	24,2
4	Кибер-физическая лаборатория информационной безопасности «Иннокрибполлигон»	ПИШ Университета Иннополис	ИКОП	24
5	Центр технологий СЖО	ПИШ МГТУ им. Н.Э. Баумана	Виртуальная (кибер-физическая) фабрика	23,53
6	Интерактивный комплекс «Передовые цифровые технологии в двигателестроении»	«Цифровой инжиниринг»	ИКОП	23,2
7	Интерактивный образовательный комплекс опережающей подготовки инженерных кадров на основе современных цифровых технологий «ЛОГОС»	«Интеллектуальные энергетические системы»	ИКОП	23,15

№	СОП	ПИШ	Тип СОП	Итоговый Балл
8	Научно-технологическая лаборатория «Проектирование бортовых систем робототехнических комплексов»	«Инженерия киберплатформ»	Лаборатория	23,13
9	Опытное производство высококачественных материалов для микроэлектроники	ПИШ Университета Лобачевского	Опытное производство	23,08
10	Научно-технологическая и экспериментальная лаборатория численных методов исследования течения рабочих тел и турбомашин	«Цифровое производство»	Лаборатория	23,08
11	киберфизическая фабрика малоразмерных газотурбинных двигателей (КФФ МГТД)	Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники»	Виртуальная (кибер-физическая) фабрика	22,6
12	Лаборатория интеллектуальных систем управления (ЛИУП)	«Интегрированные технологии в создании аэрокосмической техники»	Лаборатория	22,6
13	Центр космических технологий мирового уровня для разработки, изготовления и испытаний малых космических аппаратов, компонентов транспортно-энергетических модулей и микродвигательных установок	ПИШ МГТУ им. Н.Э. Баумана	ИКОП	22,53

№	СОП	ПИШ	Тип СОП	Итоговый Балл
14	«Агрополигон» «Научная лаборатория аква-биотехнологии и агроинженерии» в партнерстве с Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный научный центр агро-биотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»	«Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем»	«Умная» фабрика	22,47
15	Учебно-виртуальное предприятие, включая виртуальную испытательную лабораторию для валидации математических и компьютерных моделей составных частей сложных технических систем	«Цифровой инжиниринг»	Цифровая фабрика	22,2
16	Научно-технологическая и экспериментальная лаборатория «Цифровое моделирование и анализ данных»	«Цифровое производство»	Лаборатория	22,08
17	Лаборатория высокотехнологичной энергетики	ПИШ университета ИТМО	Лаборатория	22,04
18	Научно-технологическая лабораторная установка для разработки волоконно-оптических спектральных фильтров для линий квантовых коммуникаций	ПИШ университета ИТМО	Лаборатория	22,04

№	СОП	ПИП	Тип СОП	Итоговый Балл
19	Устойчивое развитие и ESG-трансформация	ПИП атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии»	ИКОП	22
20	Лаборатория по управлению затвердеванием	«Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии»	Лаборатория	22
21	Специальное образовательное и лабораторное пространство НОЦ ПИП «Агробiotек» «Промышленной биотехнологии природного сырья»	«Агробiotек»	Лаборатория	21,99
22	Биоинженерия прокариот	«Агробiotек»	Лаборатория	21,99
23	Learning factory по химической инженерии на базе ООО «ИХТЦ»	«Агробiotек»	Опытное производство	21,99
24	Центр исследования командов	«Агробiotек»	Лаборатория	21,99
25	Цифровая платформа передовой инженерной школы «Электронное приборостроение и системы связи»	«Электронное приборостроение и системы связи» им А.В. Кобзева	ИКОП	21,89
26	Лаборатория современных минеральных удобрений	«ПромХимТех»	Лаборатория	21,78

№	СОП	ПИШ	Тип СОП	Итоговый Балл
27	Лаборатория исследований материалов топливных элементов (научная/учебная)	«Кибер Авто Тех»	Лаборатория	21,77
28	Лаборатория по биотехнологическому и молекулярно-генетическому исследованию растений	«Агроген»	Лаборатория	21,63
29	Научно-технологическая и экспериментальная лаборатория моделирования системного инжиниринга	«Цифровое производство»	Лаборатория	21,58
30	Интеллектуализированные системы в управлении полётами космических и летательных аппаратов и навигационно-баллистического обеспечения космических полётов	ПИШ МГТУ им. Н.Э. Баумана	Лаборатория	21,53

## Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 апреля 2022 г. № 619 «О мерах государственной поддержки программ развития передовых инженерных школ». – Текст: электронный // сайт федерального проекта «Передовые инженерные школы». – URL: [https://engineers2030.ru/upload/medialibrary/085/ykqnqbv54wn89kt5127ndedy69xdp1pq/pr\\_110422\\_619.pdf](https://engineers2030.ru/upload/medialibrary/085/ykqnqbv54wn89kt5127ndedy69xdp1pq/pr_110422_619.pdf) (дата обращения: 13.06.2023).

2. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 608 от 30 июня 2022 г. «Об утверждении распределения грантов в форме субсидий из федерального бюджета на поддержку программ развития передовых инженерных школ...». – Текст: электронный // сайт федерального проекта «Передовые инженерные школы». – URL: <https://engineers2030.ru/upload/iblock/8b2/tervmg7rgxlizbtdj8q3fwv55wdanbkw/Prikaz-608-ot-30.06.2022.pdf> (дата обращения: 13.06.2023).

3. Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. исследований; под ред. А. П. Евгеньевой. – 4-е изд., стер. – М.: Рус. яз.; Полиграфресурсы, 1999. Т. 1. А–Й. – 702 с.

4. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства термины и определения основных понятий: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 09.02.83 № 714: дата введения 01.07.1983. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/53/5324.pdf> (дата обращения: 11.03.2024). – Текст: электронный.

5. Толковый словарь «Инновационная деятельность». Термины инновационного менеджмента и смежных областей (от А до Я). 2-е изд., доп. / Отв. ред. В.И. Суслов. – Новосибирск: Сибирское научное издательство. – 2008. – 269 с.

6. «Разъяснения к объявлению о проведении отбора на предоставление грантов в форме субсидий из федерального бюджета на поддержку программ развития передовых инженерных школ, обеспечение прохождения практик и стажировок, в том числе в формате работы с наставниками, для талантливых студентов лучших магистерских программ, обеспечение повышения квалификации и (или) профессиональной переподготовки, в том числе в форме стажировки на базе высокотехнологичных компаний, для профессорско-преподавательского состава и управленческих команд передовых инженерных школ, а также образовательных организаций высшего образования, реализующих образовательные программы инженерного профиля, в рамках реализации федерального проекта «Передовые инженерные школы» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации»– Текст: электронный // сайт федерального проекта «Передовые инженерные школы». – URL: <https://engineers2030.ru/upload/iblock/c17/i0ggjctij4jgblw4j00dbwatup>



wxep84/26\_05\_2022\_b\_n\_Afanasev\_D\_V\_Bez\_avtora.pdf (дата обращения: 20.02.2024).

7. Diego Vergara, Educational trends post COVID-19 in engineering: Virtual laboratories / Diego Vergara, Pablo Fernández-Arias, Jamil Extremera, Lilian P. Dávila, Manuel P. Rubio // *Materials Today: Proceeding*. – № 49, 2022. – pp. 155–160. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321054006#b0055> (дата обращения: 07.11.2023);

8. Adurangba V. Oje, Virtual reality assisted engineering education: A multimedia learning perspective, / Adurangba V. Oje, Nathaniel J. Hunsu, Dominik May // *Computers & Education: X Reality*. –Volume 3, December 2023. – Art. 100033.

9. Dario Antonelli, A Virtual Reality Laboratory for Blended Learning Education: Design, Implementation and Evaluation / Dario Antonelli, Athanasios Christopoulos, Mikko-Jussi Laakso, Valentina Dagiene // *Education Sciences*. – May 2023. – № 13(5). – pp. 528.

10. Shu-Guang Ouyang, A Unity3D-based interactive three-dimensional virtual practice platform for chemical engineering / Shu-Guang Ouyang, Gang Wang, Jun-Yan Yao, [и др.] // *Comput Appl Eng Educ*. – 2017. – pp. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1002/cae.21863> (дата обращения: 07.11.2023).

11. Remote Lab meets Virtual Reality – Enabling immersive access to high tech laboratories from afar / Pascalis Trentsios, Mario Wolf, Sulamith Frerich // *Procedia Manufacturing*. – Volume 43. – 2020. – pp. 25–31. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920306818> (дата обращения: 07.11.2023).

12. Online training and education from the VR-1 reactor—Lessons learned / Ondrej Novak, et al. // *Nuclear Engineering and Technology*. – 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.08.020> (дата обращения: 07.11.2023).

13. FLUID-LABVIR, an immersive online platform as complement to enhance the student’s learning experience in experimental laboratories of Fluid Mechanics and Fluid Engineering / Ana Cruz del Álamo, et al. // *Education for Chemical Engineers*. – Volume 41. – October 2022. – Pages 1–13. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1749772822000197> (дата обращения: 07.11.2023).

14. Learning experiences from digital laboratory safety training / Panu Viitaharju, Kirsi Yliniemi, Minna Nieminen, Antti J. Karttunen // *Education for Chemical Engineers*. –Volume 34. – 2021. – Pages 87–93. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.009> (дата обращения: 07.11.2023).

15. A practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments / Serkan Solmaz, et al. // *Education for Chemical Engineers*. – Volume 35. – 2021. – Pages 81–93. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.01.007> (дата обращения: 07.11.2023).

16. Open-source remote laboratory experiments for controls engineering education. / Reid D, BurrIDGE J, Lowe D, Drysdale T. // *International Journal of Mechanical Engineering Education*. – 2022. – № 50(4). – pp. 828–848. – doi:10.1177/03064190221081451.

17. LabsLand: remote laboratory access marketplace. – LabsLand. – URL: <https://financesonline.com/internship-statistics/> (дата обращения: 07.11.2023). – Текст: электронный.

18. Design of serious games in engineering education: An application to the configuration and analysis of manufacturing systems. / M. Urgo, W. Terkaj, M. Mondellini, G. Colombo, // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. – Volume 36. – January 2022. – Pages 172-184. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581721001905#bib29> (дата обращения: 07.11.2023).

19. BIBA Gaming Lab: Cosiga. – BIBA Gaming Lab. – URL: <https://www.biba-gaminglab.com/en/our-games/cosiga/> (дата обращения: 07.11.2023). – Текст: электронный.

20. Design, implementation, and evaluation of a game-based application for aiding chemical engineering and chemistry students to review the organic reactions / José Nunes da Silva Júnior et al. // *Education for Chemical Engineers*. – Volume 34. – 2021. – Pages 106-114. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.007> (дата обращения: 07.11.2023).

21. Game-based application for helping students review chemical nomenclature in a fun way / M.A. Sousa Lima et al. // *J. Chem. Educ.*, – № 96 (4). – 2019. – pp. 801–805.

22. A hybrid board game to engage students in reviewing organic acids and bases concepts / J.N. da Silva Júnior, et al. // *J. Chem. Educ.* – № 97 (10). – 2020. – pp. 3720–3726.

23. Time bomb game: design, implementation, and evaluation of a fun and challenging game reviewing the structural theory of organic compounds / J.N. da Silva Júnior, et al. // *J. Chem. Educ.* – № 97 (2). – 2020. – pp. 565–570.

24. Interactions 500: design, implementation, and evaluation of a hybrid board game for aiding students in the review of intermolecular forces during the covid-19 pandemic / J.N. da Silva Júnior, et al. // *J. Chem. Educ.* – 2020.

25. Reactions: an innovative and fun hybrid game to engage the students reviewing organic reactions in the classroom / J.N. da Silva Júnior, et al. // *J. Chem. Educ.* – № 97 (3). – 2020. – pp. 749-753.

26. Way Back Machine (13 may 2019): Circuit Warz – Only the very best engineers need to apply. – Way Back Machine (13 may 2019): Circuit Warz. – URL: <https://web.archive.org/web/20190311133133/http://www.circuitwarz.com/> (дата обращения: 07.11.2023). – Текст: электронный.

27. Way Back Machine (28 august 2019): Racing Academy. – Way Back Machine (28 august 2019): Racing Academy. – URL: <https://web.archive.org/>

org/web/20190311133133/http://www.circuitwarz.com/ (дата обращения: 07.11.2023). – Текст: электронный.

28. A multi-user virtual laboratory environment for gear train design / El-Sayed S. Aziz, Yizhe Chang, Sven K. Esche, Constantin Chassapi // *Computer Applications in Engineering Education*. – Volume 22. – Issue 4. – Dec 2014. – Pages 571–802.

29. Serious games for learning prevention through design concepts: An experimental study, / Zia Ud Din, G. Edward Gibson // *Safety Science*. – Volume 115. – 2019. – Pages 176-187. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.02.005>(дата обращения: 07.11.2023).

30. Living labs as an opportunity for experiential learning in building engineering education / William O'Brien [и др.] // *Advanced Engineering Informatics*. – 2021, October. – V. 50. – art. 101440. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101440>.

31. TASEC-Lab: A COTS-based CubeSat-like university experiment for characterizing the convective heat transfer in stratospheric balloon missions / David González-Bárcena et al. // *Acta Astronautica*. – Volume 196. – 2022, July. – Pages 244-258.

32. STAR laboratory at Politecnico di Torino: a facility to develop educational space projects. / Fabrizio Stesina, Sabrina Corpino // *IFAC-PapersOnLine*. – Volume 54, Issue 12. – 2021. – Pages 80-87.

33. Development of a Modern, Low Cost, Lab Scale Industry 4.0 Plant for Education, / Jayabadrinath Krushnan, Frank Schrödel // *IFAC-PapersOnLine*. – Volume 55, Issue 17. – 2022, Pages 156–161.

34. Тихомиров Г.В. Анализ трендов обеспечения качества инженерного образования в Российской Федерации и международных сообществах / Г.В. Тихомиров, С.Н. Рыжов // *Профессорский журнал. Серия: Технические науки*. – 2022. – № 1 (5). – стр. 34–48.

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

КАТАЛОГ СПЕЦИАЛЬНЫХ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ  
«ПЕРЕДОВЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ШКОЛ»

Корректор *Т.В. Волвенкова*

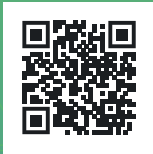
Подписано в печать 15.05.2024. Формат 60×84 1/16.  
Уч.-изд. л. 6,75. Печ. л. 6,75. Изд. № 004-3. Тираж 100 экз. Заказ № 16.

---

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».  
Типография НИЯУ МИФИ.  
115409, Москва, Каширское ш., 31.



Минобрнауки РФ



НИИУ МИФИ

Федеральный проект «Передовые инженерные школы» создан в 2022 году по инициативе Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и направлен на подготовку квалифицированных инженерных кадров для высокотехнологичных отраслей экономики. Проект «Передовые инженерные школы» является одной из 42 инициатив Правительства РФ, направленных на повышение качества жизни граждан, выполняется в рамках государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации». Подробности о федеральном проекте приведены в Постановлении Правительства РФ от 08.04.2022 № 619.



Современное  
инженерное  
образование



Федеральный  
проект ПИШ