

## Основы применения технологии цифрового двойника при проектировании ГТД: в ПИШ СПбПУ завершилась программа повышения квалификации для специалистов АО «ОДК»



С 11 по 15 декабря 2023 года в Передовой инженерной школе СПбПУ «Цифровой инжиниринг» проходила программа дополнительного профессионального образования (ДПО) **«Основы применения технологии цифрового двойника при проектировании газотурбинного двигателя»** для сотрудников АО «ОДК».

Программа повышения квалификации ориентирована на расширение и актуализацию знаний в области применения технологии цифровых двойников при проектировании газотурбинных двигателей с использованием [цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®](#). В учебную группу вошли инженеры-конструкторы, ведущие специалисты и руководители направлений производственного комплекса «Салют» АО «ОДК» (ГК «Ростех»).

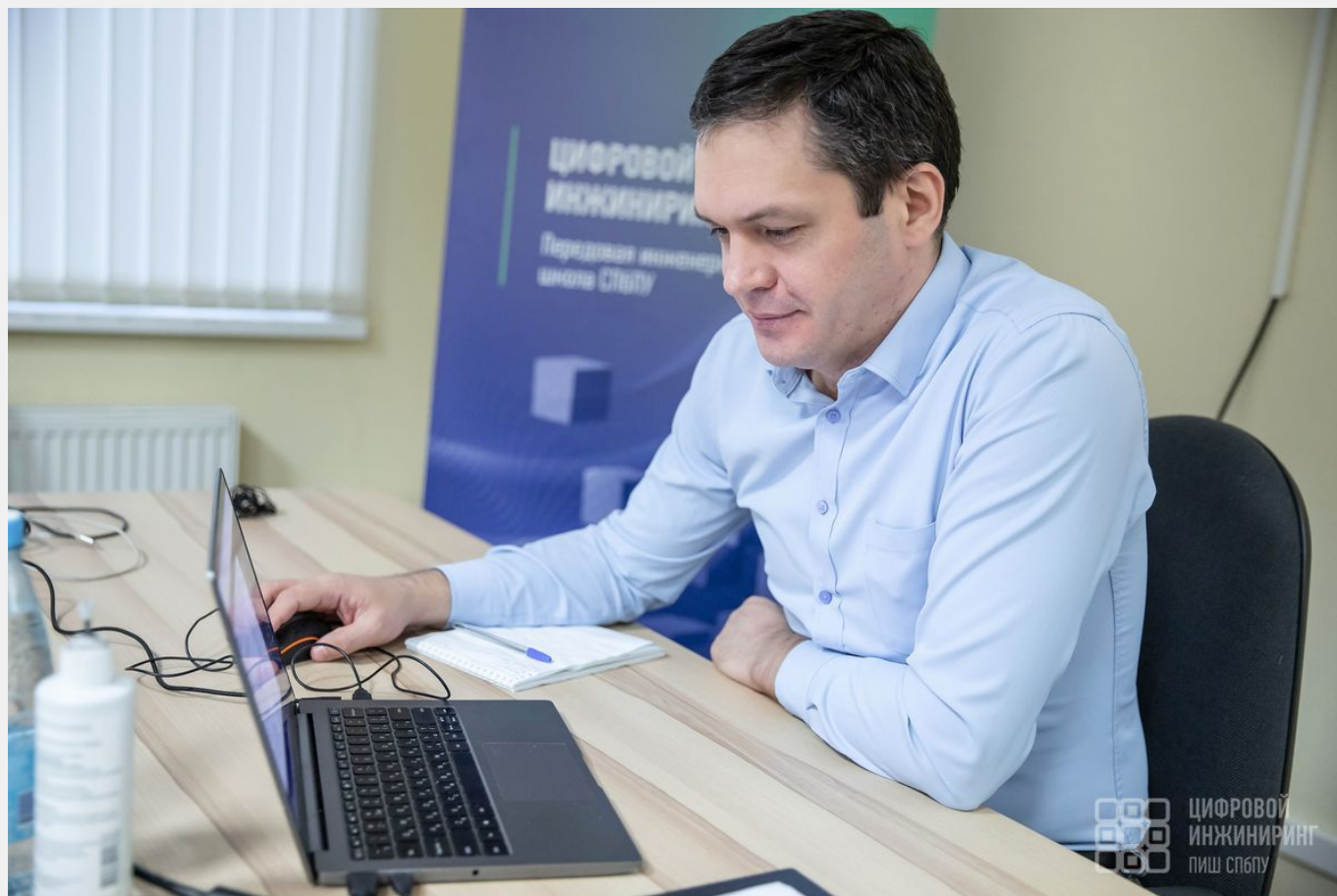
Программа повышения квалификации разработана на основе многолетнего успешного

опыта выполнения НИОКР в отрасли двигателестроения в интересах предприятий ОДК. Разработчиками образовательной программы выступили специалисты ПИШ СПбПУ, обладающие уникальными инженерными компетенциями для решения стратегических задач высокотехнологичной промышленности, в частности, двигателестроения:

**Александр Себелев**, начальник отдела перспективных разработок в двигателестроении Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг», руководитель направления двигателестроения в развитии Цифровой платформы CML-Bench®, руководитель образовательной программы [«Передовые цифровые технологии в двигателестроении»](#)

**Андрей Шенгальс**, ведущий инженер отдела кросс-отраслевых технологий Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ





CML-Bench® – цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) и «умных» цифровых двойников (Smart Digital Twins) высокотехнологичных промышленных изделий / продуктов и технологических / производственных процессов их изготовления; система управления деятельностью в области системного цифрового инжиниринга (системного и модельно-ориентированного инжиниринга, математического, компьютерного и суперкомпьютерного моделирования, цифрового проектирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга).

Разработчики Платформы – специалисты экосистемы технологического развития Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ). Уникальная отечественная разработка применяется в НИОКР СПбПУ и крупнейших высокотехнологичных компаний ГК «Ростех», ГК «Росатом» и др. На Цифровой платформе CML-Bench® реализованы десятки прорывных проектов с разработкой цифровых двойников изделий в области двигателестроения, автомобилестроения, атомного машиностроения и атомной энергетики, нефтегазового машиностроения, медицины и др.

СПбПУ на протяжении нескольких лет является надежным партнером ОДК в части реализации стратегии развития корпорации и внедрения передовых цифровых

производственных технологий. В 2018 году подписана [дорожная карта](#) «Технет НТИ – ОДК». Портфель совместных проектов насчитывает свыше 20 НИОКР, среди которых флагманский проект ПАО «ОДК-Сатурн» по заказу Минпромторга России – разработка технологии цифрового двойника морского газотурбинного двигателя и редуктора в составе агрегата (соисполнители – Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ и Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова).

В рамках данной НИР проведена масштабная кастомизация Цифровой платформы CML-Bench® под бизнес-процессы с ПАО «ОДК-Сатурн». Результаты трехлетней работы были официально представлены на [демо-дне Индустриального центра компетенций «Двигателестроение»](#), приуроченном к 15-летию юбилею ОДК.

Программа ДПО «**Основы применения технологии цифрового двойника при проектировании ГТД**» проходила в очном формате в период с 11 по 16 декабря..

Первый день включал два модуля, посвященных концепции цифрового двойника как передовой технологии, позволяющей значительно сократить время проектирования и снизить стоимость создания новых изделий. **Александр Себелев** рассказал о цифровой трансформации отрасли газотурбинного двигателестроения, становлении и развитии технологии цифрового двойника, представил основные подходы к определению термина «цифровой двойник изделия». Спикер подчеркнул, что проекты по разработке и применению цифровых двойников высокотехнологичных промышленных изделий на базе Цифровой платформы CML-Bench® реализуются в соответствии с национальным стандартом Российской Федерации – [ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»](#). Стандарт разработан специалистами Центра НТИ СПбПУ и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», утвержден приказом № 979-ст Росстандарта 16 сентября 2021 года, введен в действие с 1 января 2022 года. В конце ноября 2023 года национальный стандарт получил признание на мировой арене и был [официально включен](#) в перечень взаимно признаваемых стандартов в сфере авиастроения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией.

Александр Себелев отметил, что нормативный документ становится основой для формирования отраслевых стандартов. Так, на базе ГОСТ Р 57700.37-2021

Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова разрабатывает стандарт «Цифровые двойники газотурбинных двигателей. Общие требования».

Второй модуль был посвящен построению архитектуры цифрового двойника и многоуровневой матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических, нормативных и др.). Инженер-исследователь отдела перспективных разработок в двигателестроении Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» **Юрий Горский** представил слушателям основы модельно-ориентированного системного инжиниринга. Были рассмотрены иерархия и декомпозиция бизнес-процессов предприятия, информационные потоки данных об изделии, потоки данных в цифровом двойнике. Отдельно обсуждались вопросы формирования модели данных цифрового двойника в зависимости от этапов жизненного цикла изделия и требований к правам доступа.

Инженер отдела кросс-отраслевых технологий Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ **Дмитрий Лобачев** рассказал о развитии математического и компьютерного моделирования, особенности построения компьютерных моделей. Познакомил слушателей с понятиями адекватности, верификации и валидации моделей и подходами к их проведению, а также классификацией погрешностей при компьютерном моделировании.

Ведущий инженер отдела кросс-отраслевых технологий Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ **Дмитрий Евстратов** продолжил тему построения и управления архитектурой цифрового двойника, создания многоуровневой системы требований и ее преимуществ в процессе разработки изделий с применением технологии цифрового двойника.

Начиная с третьего модуля, слушатели детально перешли к изучению возможностей

Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®: основные функции и решаемые задачи, элементы пользовательского интерфейса, подсистема управления проектами, подсистема работы с документами, подсистема постановки заданий, диаграмма Ганта, функциональность согласования объектов и панель управления.

Инженер отдела кросс-отраслевых технологий Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ **Наталья Мельникова** представила модуль управления требованиями, рассказала о библиотеке требований, организации связи требований и расчетных вариантов, локальных и проектных матрицах требований и соответствия, статистике проектных требований в зависимости от узла и этапа жизненного цикла изделия, привязке и анализе требований для конкретного варианта сборки изделия.

**Александр Себелев** подробно рассказал о модуле управления расчетными данными, связи различных типов объектов в системе, подсистеме управления цифровыми макетами и деталями, подсистеме управления расчетными моделями, подсистеме управления расчетными вариантами, о расчетных цепочках, а также инструментах обработки и визуализации результатов расчета.

Программист отдела перспективных разработок в двигателестроении Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» **Вадим Алексенский** представил описание подсистемы управления расчетами и расчетными ресурсами, основы интеграции программного обеспечения в цифровой платформе CML-Bench®, рассказал о функциональности запуска и мониторинга расчетов в системе и использовании локальных и высокопроизводительных вычислительных ресурсов, особенностях работы со SLURM-кластерами.

Спикерами четвертого модуля выступили младший научный сотрудник отдела кросс-отраслевых технологий Инжинирингового центра «Центр компьютерного

инжиниринга» (CompMechLab®) ПИШ СПбПУ **Игорь Орлов** и научный сотрудник отдела **Павел Воробьев**. Модуль был посвящен применению технологии цифрового двойника при проектировании газотурбинных двигателей. Завершением серии лекций стала объемная практическая часть, решение задач прочности в цифровой платформе CML-Bench®, задач долговечности в Workbench.

По итогам обучения слушатели делились отзывами, отмечая высокую проработанность программы, уникальность представленной информации и ее тесную связь с реальным практическим применением.

*«Цифровая платформа CML-Bench сама по себе сложная, комплексная, она решает большое количество задач для нас, разработчиков газотурбинных двигателей. И эти задачи нетривиальные, поэтому освоить все возможности непросто. Программа мне понравилась своей системностью: авторы очень ответственно подошли к процессу обучения. Во-первых, подготовлен раздаточный материал, который мы заберем с собой. Во-вторых, включено большое количество практических занятий с участием консультантов, которые буквально стояли рядом, подсказывали, как выполнять те или иные операции. Это очень важно для правильного усвоения такого сложного материала».*

**Наталья Андреева**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»

*«Для меня обучение оказалось очень интересным, полезным и по большей части новым, поскольку профессиональная деятельность связана с конструкторской документацией. В программе же сделаны акценты на расчёты: газодинамические, термодинамические, прочностные. Но и конструкторской документации, созданию проекта тоже уделено внимание. Было много нового, эксперты отвечали на все вопросы, давали пояснения и рекомендации. После возвращения в Москву продолжу изучение программ и буду передавать знания коллегам в отделе».*

**Олег Моргачев**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»:

*«На мой взгляд, обучение очень хорошо организовано. Любые организационные вопросы решались за считанные минуты. В группе были слушатели, которые прежде работали с платформой CML-Bench, я не работал, поэтому для меня все было в новинку. Но коллеги и эксперты подсказывали, помогали. За время обучения выстроили горизонтальные связи, которые будем поддерживать и укреплять у себя на ПК».*

«Салют».

**Анатолий Фурса**, заместитель начальника отдела ПК «Салют» АО «ОДК»

*«В целом положительные впечатления, больше понравилась финальная часть, практическая, удалось разобрать задачи, которые в целом близки мне, с которыми я сталкивался в профессиональной деятельности. Получили и теоретический опыт, по большей части практический. Будем и дальше изучать и применять возможности цифровой платформы CML-Bench».*

**Александр Коваленко**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»

*«Прохожу обучение уже второй раз. Первый раз было очень трудно, мало что понятно. Но сейчас уже появилось понимание, поэтому я считаю такие обучения просто необходимыми. Прежде всего, это полезно для рядовых сотрудников — расчётчиков и конструкторов, но и руководителям также важно получать эти знания, чтобы выстраивать работу в своих отделах».*

**Ирина Марченко**, начальник конструкторского отдела САПР ПК «Салют» АО «ОДК»

*«Работаю на газодинамических расчетах компрессора. Для меня обучение по цифровой платформе CML-Bench было достаточно интересным, потому что я могу с помощью данной платформы структурировать большое количество расчетов и оптимизировать их. Интересно было послушать про создание цепочек и про прочность».*

**Елена Виноградова**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»

*«Хочу сказать спасибо всем организаторам и участникам этого мероприятия. Самое главное, видно, что лекторы, организаторы ответственно подходят к своей работе, любые замечания стараются исправлять. Дают много полезной информации и что очень важно – понятно объясняют. Очень хорошие презентации и видео. Объем знаний такой, что только успевай записывать».*

**Денис Данилишин**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»

*«Данный курс мне понравился. Конечно, не все понятно, но преподаватели записали нам ознакомительное видео, и я надеюсь, что все вопросы проработаю. Также надеюсь, что преподаватели дадут обратную связь, потому что тема достаточно интересная и действительно поможет в будущем сократить время и трудозатратность на решение некоторых задач».*

**Дарья Толстякова**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»



*«Для меня тема обучения и вся представленная информация в новинку, поскольку по работе я больше занимаюсь конструкторской деятельностью, а платформа CML-Bench больше направлена на расчеты. Но даже с моим уровнем знаний в целом все было понятно. В качестве рекомендации посоветовала бы расширить презентации для новичков, чтобы меньше ощущалась разница между теми, кто работает с платформой, и нами, конструкторами».*

**Анна Пачина**, инженер-конструктор ПК «Салют» АО «ОДК»

*«Что понравилось — это обратная связь, с которой коллеги работают в процессе обучения. Что понравилось меньше — это многогранность курса, не было акцентов на персональных ролях, должностях, функционале каждого сотрудника. В рамках обучения мы увидели, как платформу нужно видоизменять. Разработчикам необходимо делать акценты на инструментах и работе с самой платформой, а сотрудникам корпорации – на методологии управления требованиями и глубоких процессов выполнения тех или иных расчетных историй».*

**Олег Карев**, руководитель направления «Развитие малоразмерных ГТД мощностью 20 - 149 кгс» АО «ОДК»