



ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА
ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ



«И в бизнесе, и в системе государственной власти надо активно развивать цифровые платформы, осваивать модели управления на основе данных, на основе больших данных».

Владимир Путин, Президент Российской Федерации
(Выступление на съезде РСПП, 16.03.2023)



«Чтобы идея воплотилась в готовый высококонкурентный продукт, нужны мощные платформенные решения – от систем автоматизированного проектирования до специального софта робототехнических комплексов. Без собственного программного обеспечения нет будущего. <...> По наиболее востребованным технологическим направлениям организована разработка универсального софта. Прежде всего она касается средств управления жизненным циклом изделия, инструментов инженерного анализа, систем управления производством, цифрового проектирования, виртуальных испытаний».

Михаил Мишустин, Председатель Правительства Российской Федерации
(Выступление на VIII конференции «Цифровая индустрия промышленной России», 01.06.2023)



ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА

ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ



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).



Цифровая платформа **CML-Bench®** – уникальная российская разработка, сфокусированная на обеспечении проектирования и производства в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной высокотехнологичной продукции в различных отраслях и на новых рынках.

Применение Цифровой платформы
CML-Bench® на предприятиях российской промышленности позволяет автоматизировать процесс работы с инженерными вычислениями, существенно сокращает трудозатраты на администрирование инженерной деятельности и значительно увеличивает производительность совместной работы инженеров, что, в свою очередь, позволяет значительно повысить эффективность расчетного сопровождения процесса разработки, проведения многовариантной оптимизации продукции и обеспечить ее конкурентоспособность.



60+
реализованных
проектов

для 10 высокотехнологичных
отраслей промышленности



305+
тыс. проектных
решений

представлено на платформе
за 8 лет эксплуатации



4+
млрд
руб.

выручка в 2018–2022 гг.

РАЗРАБОТКА И РАЗВИТИЕ ПЛАТФОРМЫ

СПбПУ

Разработка Цифровой платформы ведется с 2006 года под общим руководством **А.И. Боровкова**, проректора по цифровой трансформации Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ).



Санкт-Петербургский
политехнический
университет
Петра Великого



Передовая
инженерная
школа СПбПУ
«Цифровой
инжиниринг»



Научный центр
мирового уровня
СПбПУ
«Передовые
цифровые
технологии»



Центр
компетенций НТИ
СПбПУ «Новые
производственные
технологии»



Инженерный
центр «Центр
компьютерного
инжиниринга»
(CompMechLab®)
СПбПУ

КОМАНДА РАЗВИТИЯ CML-BENCH®



Алексей Боровков
руководитель стратегического
развития



Татьяна Калинина
заместитель руководителя
стратегического развития



Олег Михайлов
руководитель направления
разработки



Вадим Бураков
главный архитектор
цифровой платформы



Владислав Климкин
руководитель
инженерных работ



Антон Алексашкин
руководитель направления
дистрибуции



Егор Александров
менеджер по работе с ключевыми
клиентами и партнерами



Александр Михайлов
руководитель направления
тестирования, валидации
и верификации инженерного ПО



Михаил Корчков
руководитель направления
авиастроения



Александр Себелев
руководитель направления
двигателестроения



Петр Скопин
инженер-исследователь

КАСТОМИЗАЦИЯ

И КРОСС-ОТРАСЛЕВОЙ
ТРАНСФЕР РЕШЕНИЙ



«Мы далеко продвинулись в части применения технологии цифровых двойников изделий. За прошедшие 4 года сам термин «цифровой двойник» обрел значимое наполнение: теперь это не просто идея того, что будет в будущем, это конкретная работа, которая сегодня выполняется в АО «ОДК». <...> Конкретная задача в данный момент – это применение Цифровой платформы CML-Bench® при разработке современных газотурбинных двигателей с последующей постановкой платформы на производство, сопровождением в эксплуатации».

*Юрий Шмотин, заместитель генерального директора –
генеральный конструктор АО «ОДК» (ГК «Ростех»)*



«В топливной компании взялись разработать систему очистки бурового раствора. <...> Основной элемент этой конструкции – вибросито, но при его ускорении до 7 г (целевое значение в ТЗ) конструкция разрушалась. <...> В начале 2018-го было решено создать цифровой двойник системы. Проанализировав на нем более сотни вариантов конструкции, изготовили опытный образец, который превзошел зарубежные аналоги. <...> Причем на выполнение работ с использованием цифрового двойника ушло всего несколько месяцев. Мы решили тиражировать этот опыт, создав у себя инжиниринговый центр, в основе которого будет лежать новый, цифровой подход».

Наталья Никиpelова, президент АО «ТВЭЛ» (ГК «Росатом»)



«Ракетно-космическая техника отличается от других отраслей невозможностью либо крайней сложностью обслуживания изделий во время орбитальной эксплуатации. Экстремальные условия космического пространства требуют тщательной наземной экспериментальной отработки и построения точных, высокоадекватных математических моделей. Сократить объем наземных испытаний возможно с помощью цифровых двойников. Помимо экономической эффективности, новые подходы позволят уменьшить сроки производства столь сложных изделий».

*Даниил Субботин, заместитель генерального директора
по развитию РКЦ «Прогресс» (ГК «Роскосмос»)*



ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ



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 «Новые производственные технологии» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в соответствии с Программой национальной стандартизации на 2020 год и Программой национальной стандартизации на 2021 год. Утвержден приказом № 979-ст Росстандарта 16 сентября 2021 года. Введен в действие с 1 января 2022 года.

ГОСТ Р 57700.37-2021 распространяется на изделия машиностроения, однако на его основе могут разрабатываться стандарты, устанавливающие требования к цифровым двойникам изделий различных отраслей промышленности с учетом их специфики.

На **Цифровой платформе CML-Bench®** реализованы десятки прорывных проектов с разработкой цифровых двойников изделий для высокотехнологичных отраслей: двигателестроения, судостроения, автомобилестроения, атомной энергетики, медицины и других.



Из ГОСТ Р 57700.37-2021:

3.24 цифровой двойник изделия; ЦД: Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

Примечания

- 1 Цифровой двойник разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия.
- 2 При создании и применении цифрового двойника изделия участникам процессов жизненного цикла (по ГОСТ Р 56135) рекомендуется применять программно-технологическую платформу цифровых двойников.





МАТРИЦА

ТРЕБОВАНИЙ,
ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
И РЕСУРСНЫХ
ОГРАНИЧЕНИЙ



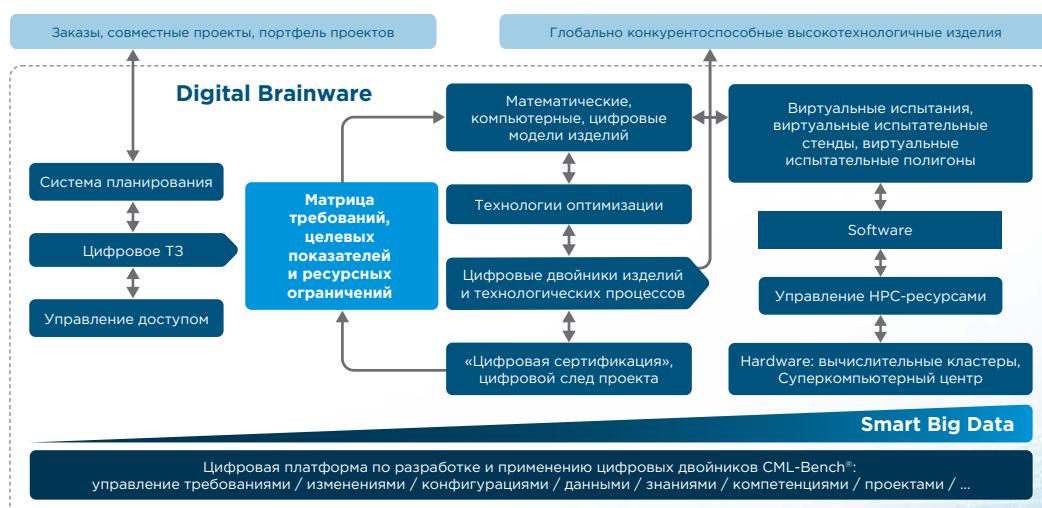
На базе **Цифровой платформы CML-Bench®** разрабатываются основные компоненты цифровых двойников изделий, в их числе:

- архитектура цифрового двойника на основе подходов системного инжиниринга и модельно-ориентированного системного инжиниринга с учетом реальных материалов, внешних воздействий, физико-механических и технологических процессов, эксплуатационных режимов и стадий жизненного цикла;
- многоуровневая матрица требований, целевых показателей и ресурсных

ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических, нормативных и др.);

- математические и компьютерные модели с высоким уровнем адекватности;
- верификация и валидация ПО и моделей;
- виртуальные испытания, специализированные виртуальные стенды и виртуальные полигоны;
- автоматизация инженерных, организационных и презентационных процессов и др.

Цифровая платформа CML-Bench®





ЦИФРОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

СТЕНДЫ И ПОЛИГОНЫ



Технология разработки цифровых двойников и **Цифровая платформа CML-Bench®** выступают драйверами и интеграторами применения системы сквозных цифровых технологий класса Digital Engineering – Smart Design & Engineering, в их числе:

- системный инжиниринг (System Engineering, SE) и модельно-ориентированный системный инжиниринг (Model Based System Engineering, MBSE);
- цифровое проектирование (Computer-Aided Design, CAD);
- математическое и компьютерное моделирование (Finite Element Analysis, Modelling, Simulation, Simulation & Analysis, S&A);
- верификация и валидация (Verification & Validation, V&V);
- цифровой инжиниринг (Digital Engineering, DE);

~305 тыс. виртуальных испытаний за 8 лет эксплуатации

~100 виртуальных испытаний в сутки

- компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE; High Performance Computing, HPC-CAE);
- виртуальные испытания, виртуальные стенды и виртуальные полигоны;
- большие данные, искусственный интеллект, блокчейн и др.





ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

И СЕРВИСЫ

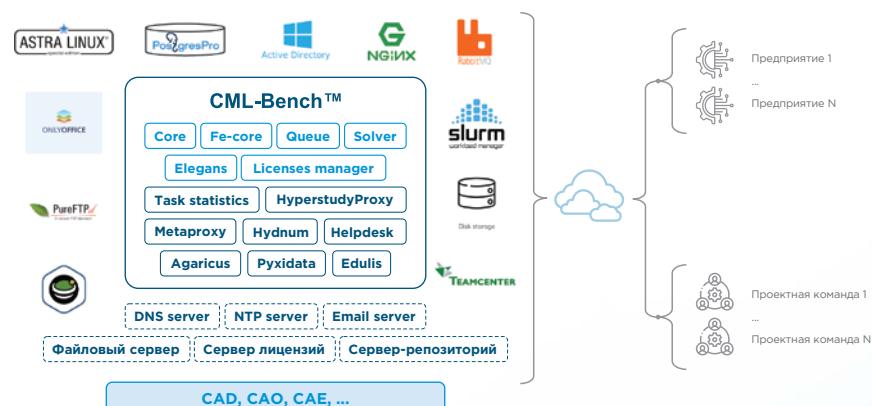
~850 тыс.
строк кода

~51 тыс.
ядро-часов в сутки



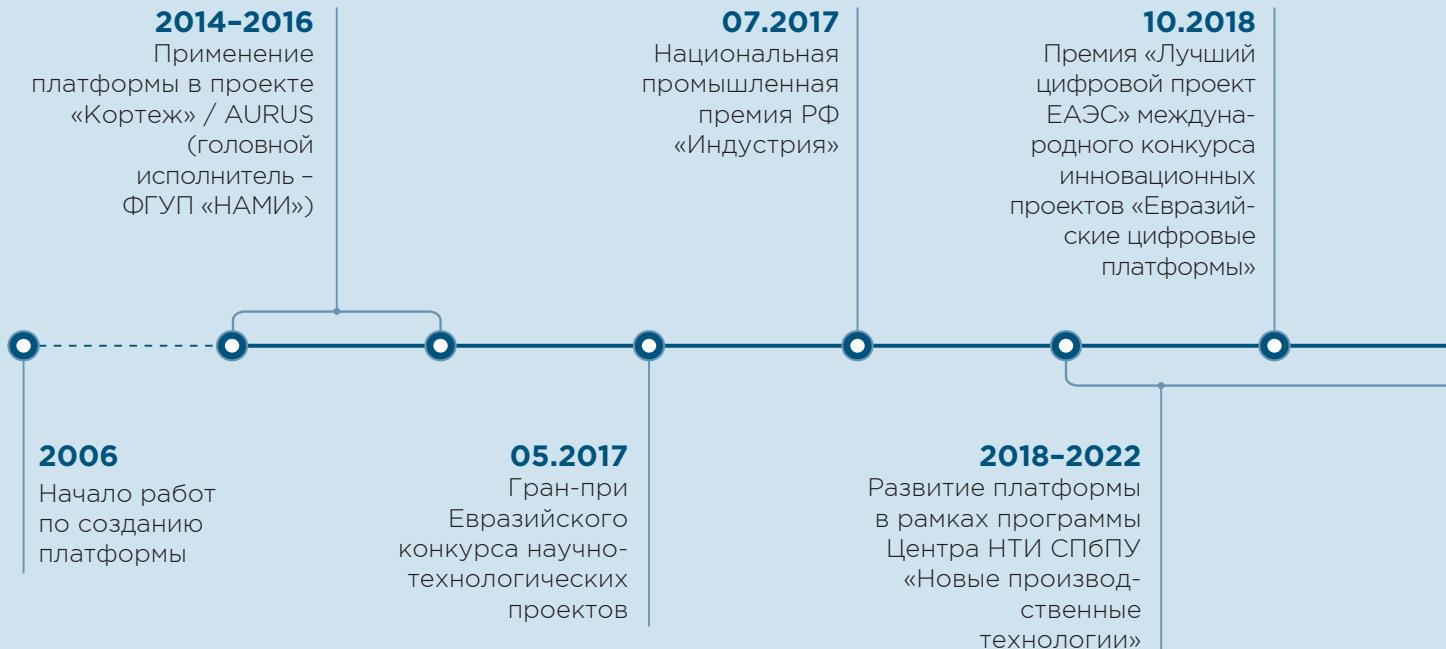
Цифровая платформа CML-Bench® состоит из набора сервисов, написанных на Java 11 и Kotlin. Адаптирована под актуальные версии ОС Astra Linux Special Edition. В качестве СУБД используется Postgres Pro Certified (сертифицированы ФСТЭК). В окружениях развертывания применяются лучшие технологии для автоматизации установки, сбора логов ошибок и показателей производительности, онлайн-мониторинга работы: ELK, Jenkins, Ansible, Prometheus и др.

Архитектура цифровой платформы CML-Bench®



ОСНОВНЫЕ СЕРВИСЫ		ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ	
Core	Управление проектами, пользователями и доступом, документами и задачами	Task statistics	Статистика по расчетным задачам
Fe-core	Пользовательский интерфейс	HyperstudyProxy	Оптимизация очередей задач
Elegans	Расчет задач на высокопроизводительных кластерах	Metaproxy	Работами с удаленными расчетными узлами
Queue	Управление очередями вычислений	Hydnum	Библиотека целевых значений
Solver	Запуск расчетов на отдельных узлах	Agaricus	Интеграция с Siemens TC
Licenses manager	Управление лицензиями САЕ	Pyxidata	Предиктивная аналитика
		Helpdesk	Обратная связь от пользователей
		Edulis	Полнотекстовый поиск по всем сущностям платформы

КЛЮЧЕВЫЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ



ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТОК НА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ CML-BENCH®



Создание «умного» цифрового двойника и экспериментального образца малогабаритного городского электромобиля с системой ADAS 3-4 уровня. Заказчик: Минобрнауки / ПАО «КАМАЗ»



Снижение массы двигателя ТВ7-117 СТ-01 на основе технологии «цифровой двойник». Заказчик: АО «ОДК-Климов» (АО «ОДК»)

ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ CML-BENCH® (2006-2021)

✓ ✓ ✓

02.2021

Включение платформы в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных. При регистрации оформлено 34 РИД

12.2021

Регистрация 31 нового РИД в составе платформы.

Премия «Технологический прорыв – 2021» за проект «Цифровая платформа концептуального проектирования и оптимизации изделий авиационной техники»

2022

07.2020

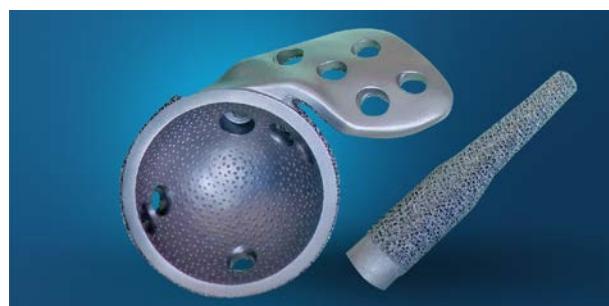
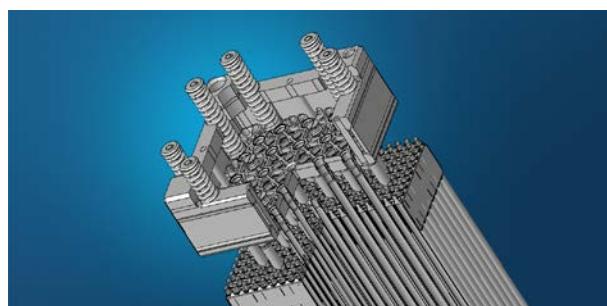
Система управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ» на основе CML-Bench® (импортозамещение Ansys EKM)

07.2021

Лицензионный договор на приобретение ПАО «ОДК-Сатурн» 200 лицензий платформы в рамках реализации дорожной карты сотрудничества ОДК и Центра НТИ СПбПУ

09.2021

Утверждение ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ИЗДЕЛИЙ. Общие положения»



Цифровой двойник начальной стадии ядерного цикла. Заказчик: АО «ТВЭЛ» (ГК «Росатом»)



Цифровое проектирование и аддитивное производство кастомизированных имплантов. Инициативный проект в интересах НИИ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена

КЛЮЧЕВЫЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ

2022

Начало работ по сертификации платформы по 6 уровню доверия ФСТЭК и соответствия требованиям к ГИС 3 класса (возможность обработки коммерческой тайны и сведений ДСП). Испытательная лаборатория – АО Центр «Атомзащитаинформ».

05.2022

Запуск формирования академических лицензий платформы в рамках Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг»

04.2022

Совместимость платформы с операционной системой Astra Linux Special Edition.

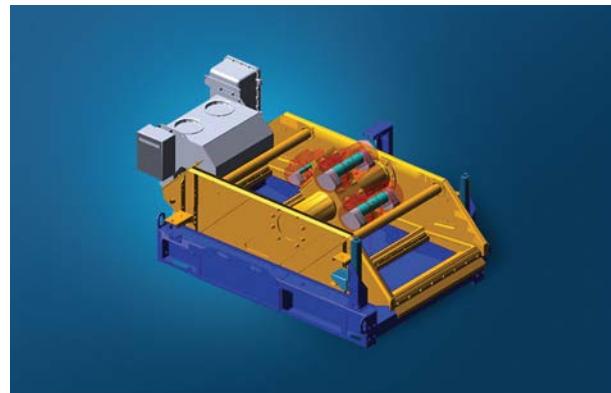
Первая Национальная премия «Импортонезависимость»

07.2022

Регистрация товарного знака (графического, словесного, комбинированного) Цифровой платформы CML-Bench® в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатенте)



Разработка элементов каркаса кузова и конструктивных элементов бронирования отечественных автомобилей «Лимузин», «Седан», «Внедорожник» и «Микроавтобус» на базе единой модульной платформы, предназначеннной для перевозки и сопровождения первых лиц государства, а также других лиц, подлежащих государственной охране.
Заказчик: ФГУП «НАМИ»



Определение оптимальной конструкции изделия «Вибросито», предназначенного для очистки бурового раствора.
Заказчик: ООО «НПО «Центротех» (АО «ТВЭЛ» / ГК «Росатом»)

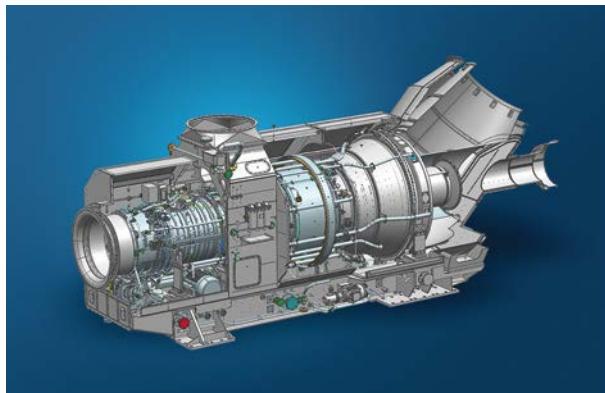
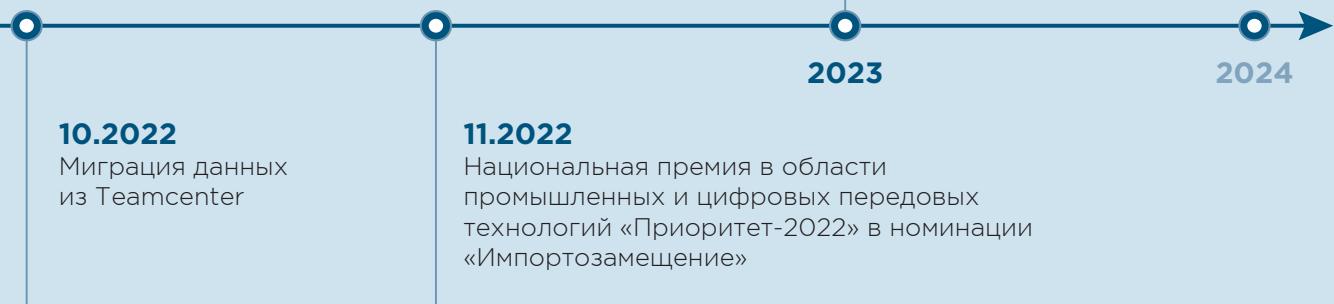
ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ CML-BENCH® (2022-2023)



Разработка
кастомизированных модулей
для двигателестроения

Поставка лицензий платформы:
АО «ОДК», ПАО «ОДК-Сатурн»,
ФГАОУ ВО ТюмГУ,
ФГАОУ ВО СамГУ,
ООО «Центротех-Инжиниринг»,
ИБРАЭ РАН...

Интеграция программного
обеспечения российских
вендоров: АО «Аскон»,
ООО «КвантоФорм»,
ООО «Вычислительная
механика», НТЦ «АПМ»,
ООО «Фидесис»,
ООО «Тесис»...



Разработка цифрового двойника
морского газотурбинного двигателя
и редуктора в составе агрегата.
Заказчик: АО «ОДК-Сатурн»



Разработка спортивных саней
с улучшенными аэродинамическими
характеристиками и показателями
управляемости. Заказчик: трехкратный
чемпион мира по санному
спорту Роман Репилов

АЛГОРИТМ СОТРУДНИЧЕСТВА



Стандартизованный пилотный проект на базе Цифровой платформы CML-Bench® (ЦП)

Этап 0 (1-3 мес.)	Этап 1 (3 мес.)	Этап 2 (3-6 мес.)	Этап 3 (12-18 мес.)	Этап 4
Планирование интеграции ЦП	Пилотный проект на ЦП (опционально)	Развертывание ЦП на инфраструктуре заказчика	Сопровождение окружения заказчика	Техническая поддержка окружения заказчика
<ul style="list-style-type: none">• Аудит бизнес-процессов заказчика• Аудит инфраструктуры заказчика• Согласование пилотного НИОКР на базе ЦП (опционально)• Определение необходимого объема рабочих мест	<ul style="list-style-type: none">• Реализация пилотного проекта на окружении лицензиара• Непрерывный мониторинг заказчиком хода работ через гостевой доступ• Знакомство заказчика с результатами выполнения проекта	<ul style="list-style-type: none">• Закупка оборудования и ПО (при необходимости)• Пусконаладка на окружении заказчика• Миграция данных пилотного проекта на окружение заказчика (опционально)	<ul style="list-style-type: none">• Определение задач для самостоятельного решения заказчиком, обучение сотрудников• Сопровождение выполнения проекта, консультации	<ul style="list-style-type: none">• Оказание услуг в соответствии с договором технической поддержки

Варианты приобретения Цифровой платформы CML-Bench®

1. ЛИЦЕНЗИИ

Коммерческие, Академические (в разработке)

- Годовые / бессрочные лицензии.
- Техническая поддержка (входит в годовую подписку или осуществляется отдельно к бессрочной лицензии).

2. Программно-аппаратный комплекс

- Лицензии на инженерное ПО и CML-Bench®.
- Оборудование с возможностью масштабирования.
- Внедрение и кастомизация «под ключ».

Сопутствующие услуги

- Внедрение платформы.
- Кастомизация под процессы и интеграция платформы с внешними системами.

3. Облачная платформа (SaaS/PaaS)

- Подписка на доступ к CML-Bench®, инженерному ПО и вычислительным ресурсам с оплатой по потреблению (в разработке).

Направления развития Цифровой платформы CML-Bench®

1

Развитие базового функционала платформы, повышение пользовательской привлекательности

2

Возможность обработки коммерческой и (в перспективе) государственной тайны

3

Бесшовная интеграция с PLM-решениями заказчиков

4

Интеграция с отечественным САx ПО

5

Гибкая адаптация функционала под требования заказчиков

6

Взаимодействие с вузами (академические лицензии)



«Главная идея взаимодействия заключается в том, чтобы все разработки и последующие испытания, выполняемые в рамках федеральных проектов, велись на платформе разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®. Я уверен, что это позволит достичь отличных показателей и вывести российское промышленное производство на новый уровень развития».

Дмитрий Песков, специальный представитель
Президента РФ по вопросам цифрового
и технологического развития

(Визит в СПбПУ, 31.01.2023)



«У нас очень сильная математическая школа, прикладная наука, компетентные перспективные команды на ключевых промышленных предприятиях. Все это в комплексе должно работать над достижением стратегической цели – перехода к технологии виртуальных испытаний».

Владимир Дордев, директор департамента
цифровых технологий Министерства
промышленности и торговли РФ

(Выступление на сессии «Комплексный подход
в разработке систем анализа и инженерных расчетов
(CAE)» на форуме ЦИПР-2023, 02.06.2023)



«Цифровая платформа CML-Bench® из рабочего инструмента Политеха трансформировалась в рыночный продукт. Теперь нужно «накрывать» передовыми технологиями целые отрасли и делать методологию разработки цифровых двойников более доступной для инженеров. Все отрасли российской экономики имеют право претендовать на использование ваших передовых технологий».

Андрей Агеев, руководитель Центра цифровизации
предприятий ОПК ФГУП «ВНИИ «Центр»

(Выступление IV Международном форуме «Передовые
цифровые и производственные технологии», 14.12.2022)



Федеральный проект
«Передовые инженерные
школы»



Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



Передовая инженерная
школа СПбПУ
«Цифровой инжиниринг»



Научный центр мирового
уровня «Передовые цифровые
технологии»



Центр НТИ СПбПУ
«Новые производственные
технологии»



Центр трансфера и импортозамещения
передовых цифровых
и производственных технологий



Институт передовых
производственных
технологий СПбПУ



Инжиниринговый центр
«Центр компьютерного инжиниринга»
(CompMechLab®) СПбПУ

195251, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, АФ
(Научно-исследовательский корпус
«Технополис Политех»).
Дирекция Центра НТИ СПбПУ: оф. А.3.08.

Контактное лицо: Егор Александров
alexandrov.e@compmechlab.ru