



АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И ДАННЫМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (SPDM-СИСТЕМ) В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Экспертно-аналитический доклад

АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И ДАННЫМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (SPDM-СИСТЕМ) В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ДОКЛАД

Санкт-Петербург

2024

Авторы:

А.И. Боровков, О.И. Рождественский, Е.И. Павлова, И.И. Поняева, А.Х. Кайданова, Е.П. Чхеидзе, А.А. Старостенко, П.С. Распопина, А.С. Голякевич, С.А. Чварков, Н.М. Луковникова, И.Б. Андреев, А.О. Ольховик, П.А. Джелали, К. В. Кукушкин, П.В. Скопин

Анализ рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-систем) в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад.

В отчете представлены результаты аналитических исследований рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (Simulation Processes and Data Management, SPDM) в рамках направления «Технет» НТИ. Представлен анализ мирового и российского рынка, а именно емкость рынков и темпы роста, характеристики основных игроков и их доли на рынке. Для мирового рынка подробно рассмотрены географические сегменты и факторы развития. Исследованы технологические тенденции развития мирового и российского рынка: рассмотрены перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий в SPDM-системах, рыночные кейсы, а также представлен обзор ключевых научных разработок в РФ по результатам интеллектуальной деятельности. Проведен анализ обновлений функциональных возможностей зарубежных и российских SPDM-систем, релиз которых состоялся в 2024 году. Подробно рассмотрены слияния и поглощения разработчиков SPDM-систем в мире по состоянию на конец 2024 года, проекты кооперации российских разработчиков и планы по развитию систем в России. Рассмотрены новые крупные проекты в области SPDM-систем в России и мире. Проведен анализ нормативно-правового регулирования в России, в том числе анализ государственных программ поддержки по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Представлены ключевые барьеры и проблемы развития систем на российском рынке и необходимые действия для преодоления барьеров и решения проблем. Проведен анализ SPDM-систем в соответствии с направлениями развития технологий 2024 году: приведена характеристика расчетных цепочек (Workflow), проанализированы функциональные возможности SPDM-систем и особенности реализации инструментов создания расчетных цепочек в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах, разработаны предложения по созданию и развитию инструментов создания расчетных цепочек (Workflow) в составе отечественных SPDM-систем на основе аналитических исследований для достижения УГТ 6. Исследование дает целостное представление о развитии современного рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-систем).

Подготовлен Инфраструктурным центром «Технет» (передовые производственные технологии) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК РИСУНКОВ.....	6
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	7
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ	8
ВВЕДЕНИЕ	12
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА.....	15
1.1. Анализ мирового рынка	16
1.1.1. Емкость рынка, темпы роста рынка	16
1.1.2. Характеристики основных игроков и их доли на рынке.....	17
1.1.3. Географические сегменты рынка	19
1.1.4. Факторы развития мирового рынка.....	19
1.2. Анализ российского рынка	20
1.2.1. Емкость рынка, темпы роста рынка	21
1.2.2. Характеристики основных игроков	22
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА.....	24
2.1. Технологические тренды развития систем. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий в системах, составленные на основе тенденций технологического развития и рыночные кейсы (примеры).....	24
2.1.1. Технологии искусственного интеллекта	27
2.1.2. Квантовые технологии	28
2.1.3. Современные и перспективные сети мобильной связи.....	28
2.1.4. Технологии виртуальной и дополненной реальности	28
2.1.5. Технологии распределенного реестра	28
2.1.6. Технологии больших данных	28
2.1.7. Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы	29
2.1.8. Общие выводы	32
2.2. Обзор ключевых научных разработок в России по результатам интеллектуальной деятельности (РИД). Динамика РИД в России по направлению, ед. за период 2017-2024. Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД..	33
2.2.1. Динамика РИД в России по направлению, ед. за период 2017-2024	34
2.2.2. Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД	35

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ РЕЛИЗОВ ОБНОВЛЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ В 2024 Г. (ЗА ПЕРИОД ДО КОНЦА 2024 Г.)	42
3.1. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей зарубежных систем в 2024 г.....	42
3.2. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей российских систем в 2024 г.....	51
3.3. Заключение о тенденциях и приоритетах развития зарубежных и отечественных систем в 2024 г.....	60
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИЙ, СДЕЛОК M&A И ПРОЕКТОВ КООПЕРАЦИИ В РОССИИ, И В МИРЕ.....	63
4.1. Слияния и поглощения разработчиков SPDM-систем в мире по состоянию на конец 2024 г.....	63
4.2. Проекты кооперации российских разработчиков.....	65
4.3. Планы по развитию SPDM-систем в России.....	67
ГЛАВА 5. ОБЗОР НОВЫХ КРУПНЫХ ПРОЕКТОВ В РОССИИ И В МИРЕ	70
5.1. Проекты в России.....	70
5.2. Проекты за рубежом.....	76
ГЛАВА 6. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В РОССИИ, В Т.Ч. АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ПО НИРАМ И НИОКРАМ.....	78
6.1. Анализ нормативно-правовой базы регулирования в России.....	78
6.2. Анализ государственных мер поддержки, в т.ч. по НИРам и НИОКРам, сведения о значимых поддержанных проектах.....	87
ГЛАВА 7. БАРЬЕРЫ И РИСКИ, ПРИСУТСТВУЮЩИЕ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ	108
7.1. Ключевые барьеры и проблемы развития систем на российском рынке.....	108
7.2. Необходимые действия для преодоления барьеров и решения проблем.....	111
ГЛАВА 8. АНАЛИЗ В СООТВЕТСТВИИ С НАПРАВЛЕНИЯМИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 2024	115
8.1. Характеристика расчетных цепочек (WorkFlow).....	115
8.2. Анализ функциональных возможностей SPDM-систем и особенностей реализации инструментов создания расчетных цепочек в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах.....	125
8.2.1. Анализ функциональных возможностей инструментов создания расчетных цепочек в SPDM-системах.....	125
8.2.2. Анализ особенностей реализации инструментов создания расчетных цепочек в SPDM-	

системах	130
8.3. Разработка предложений по созданию и развитию инструментов создания расчетных цепочек (WorkFlow) в составе отечественных SPDM-систем на основе аналитических исследований для достижения УГТ 6.....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ РОССИЙСКИХ SPDM-СИСТЕМ	141
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ, РАЗРАБОТАННЫХ ТК 700 142	
ГЛОССАРИЙ.....	145
БИБЛИОГРАФИЯ	150
НАШИ ИЗДАНИЯ	162
ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ	167

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Объем мирового рынка и CAGR мирового рынка SPDM, млрд долл.....	16
Рисунок 2. Структура мирового рынка компьютерного моделирования и анализа, доли компаний-лидеров, %.....	19
Рисунок 3. Прогноз развития российского рынка SPDM, млрд руб.....	21
Рисунок 4. Доля организаций, использовавших российские SPDM-системы в РФ, 2023 г.	22
Рисунок 5. Пример облачного SPDM-решения от компании Rescale	30
Рисунок 6. Количество результатов интеллектуальной деятельности по направлению, ед.	34
Рисунок 7. Процесс создания цифрового двойника.....	73
Рисунок 8. Пример характеристик цифровых испытаний оценки прочности силовой конструкции тележки.....	75
Рисунок 9. Традиционный цикл работы с CAD/CAE.....	117
Рисунок 10. Цикл работы с CAD/CAE после автоматизации части процессов препроцессинга	118
Рисунок 11. Пример расчетной цепочки (workflow) при моделировании композитных структур в modeFRONTIER	120
Рисунок 12. Основные концепции и связи, описывающие типичную расчетную цепочку в PIDO-системе	121
Рисунок 13. Интеграция процессов как необходимый элемент автоматизации расчетных цепочек	122
Рисунок 14. Внедрение SPDM-систем и автоматизация работы с расчетными цепочками	125

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Характеристики основных игроков.....	17
Таблица 2. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий, составленные на основе тенденций технологического развития, и рыночные кейсы.	26
Таблица 3. Ключевые разработки в России в части РИД в области управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM).....	35
Таблица 4. Сведения об обновлениях функциональных возможностей зарубежных SPDM-систем, вошедших в релизы 2024 г.	42
Таблица 5. Сведения об обновлениях функциональных возможностей российских SPDM-систем, вошедших в релизы 2024 г.	51
Таблица 6. Сведения о слияниях и поглощениях разработчиков систем в мире по состоянию на конец 2024 г.	63
Таблица 7. Перечень проектов кооперации российских разработчиков	66
Таблица 8. Планирование развития систем отечественными разработчиками	68
Таблица 9. Обзор крупных проектов в России	70
Таблица 10. Обзор крупных проектов в мире	76
Таблица 11. Обзор основных мер государственной поддержки	88
Таблица 12. Сведения о поддержанных проектах	98
Таблица 13. Перечень барьеров и рисков развития систем на отечественном рынке	109
Таблица 14. Перечень барьеров развития систем на российском рынке и предлагаемые решения для их преодоления	112
Таблица 15. SPDM-системы и наличие инструментов создания расчетных цепочек	126
Таблица 16. Системы, в которых также присутствуют инструменты создания расчетных цепочек	128
Таблица 17. Особенности реализации инструмента создания расчетных цепочек в SPDM-системах	131
Таблица 18. Особенности реализации инструмента создания расчетных цепочек в ином инженерном ПО	133

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
АСУ ТП	Автоматизированные системы управления технологическими процессами	-
ГОСТ	Межгосударственный стандарт	-
ЕСКД	Единая система конструкторской документации	-
ЕСТД	Единая система технологической документации	-
ЖЦ	Жизненный цикл	-
ИИ	Искусственный интеллект	-
ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии	-
ИТ	Информационные технологии	-
МСП	Малые и средние предприятия	-
НИОКР	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	-
НИОКТР	Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и опытно-технологические работы	-
НИР	Научно-исследовательские работы	-
НПА	Нормативно-правовые акты	-
НСИ	Нормативно-справочная информация	-
НТИ	Национальная технологическая инициатива	-
ОПК	Оборонно-промышленный комплекс	-
ОС	Операционная система	-
ПО	Программное обеспечение	-
РИД	Результаты интеллектуальной деятельности	-
САПР	Система автоматизированного проектирования	-
СУБД	Система управления базами данных	-
ТМЦ	Товарно-материальные ценности	-
ТРР	Технологии распределенных реестров	-
УГТ	Уровень готовности технологии	-

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
ФИПС	Федеральный институт промышленной собственности	-
ЧПУ	Числовое программное управление	-
ЭВМ	Электронная вычислительная машина	-
ЭКД	Электронная конструкторская документация	-
ЭКИ	Электронный каталог изделий	-
ЭТД	Электронная технологическая документация	-
AI	Artificial Intelligence	Искусственный интеллект
AEC	Architecture Engineering Construction	Средства архитектурно-строительного проектирования
APS	Advanced Planning and Scheduling	Система производственного планирования
AR	Augmented Reality	Средства дополненной реальности
BIM	Building Information Modeling (Model)	Технология информационного моделирования (ТИМ) зданий и сооружений
BPM	Business Process Management	Системы управления бизнес-процессами
CAD	Computer-Aided Design	Средства автоматизированного проектирования (САПР)
CAE	Computer-Aided Engineering	Системы автоматизации инженерных расчетов (система инженерного анализа, компьютерного инжиниринга)
CAGR	Compound annual growth rate	Совокупный среднегодовой темп роста
CAM	Computer-Aided Manufacturing	Системы разработки управляющих программ ЧПУ, также: Средства управления оборудованием с числовым программным управлением
CAPP	Computer-Aided Process Planning	Системы автоматизации технологической подготовки производства
cPDM	Collaborative Product Definition Management	Средства коллаборативного управления определением изделия
CPM	Corporate Performance Management	Системы управления корпоративной эффективностью
CRM	Customer Relationship Management	Системы управления взаимодействием с заказчиками
DLT	Distributed Ledger Technology	Технологии распределенного реестра

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
DT	Digital Twin	Цифровой двойник
EAM	Enterprise Asset Management	Системы управления основными фондами предприятия
ECAD	Electronic Computer-Aided Design	Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), печатных плат и электронной компонентной базы (ЭКБ)
ECM	Enterprise Content Management	Управление корпоративным контентом
EDA	Electronic Design Automation	Системы автоматизации проектирования электрооборудования и электрических схем
EPM	Enterprise Performance Management	Системы управления эффективностью предприятия
ERP	Enterprise Resource Planning	Система управления ресурсами предприятия (финансового менеджмента, управления активами и трудовыми ресурсами)
FSM	Field Service Management	Управление выездным сервисным обслуживанием
IIoT	Industrial Internet of Things	Промышленный интернет вещей
IoT	Internet of Things	Интернет вещей
LIMS	Laboratory Information Management System	Системы управления лабораторной информацией
M&A	Mergers and Acquisitions	Слияния и поглощения
MDM	Master Data Management	Системы управления основными данными (НСИ) для производства
MES	Manufacturing Execution System	Системы управления производством
ML	Machine Learning	Технология машинного обучения
MOM	Manufacturing Operations Management	Система управление производственным процессом (операциями)
PDM	Product Data Management	Системы управления данными об изделии
PLM	Product Lifecycle Management	Системы управления жизненным циклом изделия
SaaS	Software as a Service	Программное обеспечение как услуга
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	Автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами и сбора данных (АСУ ТП)
SCM	Supply Chain Management	Системы управления цепочками поставок

Аббревиатура	Расшифровка	Перевод на русский язык
SPDM	Simulation Processes and Data Management	Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования
VR	Virtual Reality	Средства виртуальной реальности
WMS	Warehouse Management System	Система управления складской логистикой
QMS	Quality Management System	Система менеджмента качества

ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад, подготовленный Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ, и планируемые результаты его реализации признаны соответствующими целям решения задач обеспечения технологического суверенитета¹ Российской Федерации в соответствии с Протоколом заседания Экспертного совета при высшем органе управления – Наблюдательном совете автономной некоммерческой организации «Платформа Национальной технологической инициативы» от 30 сентября 2024 года № 16.

Так, проведенные исследования функциональных возможностей и особенностей реализации аналогичного инструмента в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах способствуют созданию конкурентноспособного инструмента автоматизированных расчетных цепочек (Workflow) в составе цифровой платформы CML-Bench®.

В аналитическом отчете рассмотрен рынок SPDM-систем (Simulation Process and Data Management, Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования), которые представляют собой среды (платформы), которые позволяют эффективно управлять конфигурацией данных моделирования, оптимизировать процессы, осуществлять совместную работу глобально распределенных команд, обеспечивать прозрачность и прослеживаемость и принимать решения по оптимизации продукта/изделия. Данные системы предназначены для связывания входных и выходных данных программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга), что повышает степень автоматизации и обеспечивает прослеживаемость цифровых испытаний, совершенствуя процесс математического и компьютерного моделирования [1].

История SPDM-систем связана с развитием компьютерного проектирования или CAD-систем (Computer-Aided Design, Системы компьютерного проектирования), которое началось в 1950 годы. На протяжении многих лет развитие в этой сфере было основано на эволюции CAD приложений, однако к началу XXI века развитие профильных технологий достигло плато, конкуренция стала смещаться в смежные области технологического развития.

Вендоры программного обеспечения сфокусировались на задаче сокращения времени вывода изделия на рынок: от концепции продукта до эксплуатации конечного изделия, в том числе стали заниматься разработкой программ для управления данными об изделии (PDM / Product Data Management).

Так, в 2020 году новая модель Ford Mondeo была разработана с использованием цифровой платформы Ford C3P (интеграция CAD/CAM/CAE/PDM). При этом срок разработки автомобиля был сокращен на 70% по сравнению с аналогами, разработанными с помощью традиционного инструментария. Таким образом, системы управления данными о продукте показали свою высокую конкурентоспособность и стали активно развиваться на рынке [2].

В начале 2000 годов компании BMW и SGI разработали систему управления данными компьютерного моделирования (Simulation Data Management) CAE Bench. Ключевой целью платформы стала

¹ Ключевые термины и определения, использованные в настоящем докладе, включая понятие технологического суверенитета, приведены в Глоссарии

поверка качества в условиях замещения виртуальными испытаниями части натурных испытаний. Благодаря новой платформе значительно выросло количество виртуальных испытаний, их сложность, а также объем данных на одно испытание. Внедрение новой технологии позволило увеличить количество виртуальных испытаний до 5000 в день в 2018 году (1 испытание за 2,5 дня в 2002 году), количество наборов данных превысило 3,4 млн единиц. Если в 2000 году на производственной линии BMW было 3 модели и три виртуальных прототипа для испытаний, то к 2020 году уже 78 моделей, а инструменты виртуальных испытаний были применены более чем к 50 моделям [3].

Компьютерное моделирование на цифровой платформе было признано одним из основных приоритетов цифровой трансформации промышленности и в рамках Стратегии цифрового инжиниринга (Digital Engineering Strategy), опубликованной Министерством обороны США в 2018 году. Согласно стратегии, управление моделями, приложениями и данными на цифровой платформе станут обязательными требованиями в рамках проектирования новой продукции [3].

Основное назначение SPDM-систем обеспечение прозрачности и контролируемости процесса разработки, упрощение принятия обоснованных решений, а также работы с результатами цифровых испытаний, включая цифровые испытания на цифровых испытательных стендах и полигонах, а также формирование отчетов.

К ключевым целям внедрения SPDM решений относятся:

- 1) Создание эргономичной рабочей среды для инженеров – специалистов в области компьютерного моделирования [3]:
 - Поиск необходимых данных для математического и компьютерного моделирования, проведения цифровых испытаний.
 - Запуск различных CAE-приложений (Computer-Aided Engineering, Системы автоматизации инженерных расчетов (системы инженерного анализа)) и сохранение результатов в структурированный репозиторий.
 - Сохранение метаданных и цифровых потоков данных для документирования деятельности на платформе.
 - Возможность поделиться и совместно работать над результатами моделирования с коллегами, клиентами и менеджментом.
- 2) Создание безопасной, производительной информационной системы для развития цифрового инжиниринга [3]:
 - Обеспечение прослеживаемости данных и процессов на платформе.
 - Поддержка цифровой сертификации продуктов.
 - Обеспечение производительности за счет автоматизации процессов.
- 3) Реализация на платформе дополнительных технологий, обеспечивающих рост эффективности, в том числе разработка цифровых двойников изделий, развитие технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, создание суррогатных моделей, майнинг данных и др. [3].

В рамках исследования проведен анализ мирового и российского рынка SPDM-систем, в том числе емкость, характеристики игроков, географические рамки. Также проанализированы тренды

развития рынка, ключевые научные разработки, проведен анализ релизов обновлений. В рамках дальнейшего анализа были рассмотрены примеры успешной кооперации на рынке, ключевых реализуемых проектов за рубежом и в Российской Федерации. В заключительной части отчета проведено исследование нормативной правовой базы развития SPDM-систем в России и описаны ключевые направления государственной поддержки, а также рассмотрены существующие барьеры и риски.

Примером российской SPDM-системы является цифровая платформа для разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®. Платформа используется как для разработки и применения цифровых двойников высокотехнологичных изделий, так и физико-механических и технологических / производственных процессов. Разработку CML-Bench® с 2006 года ведут специалисты ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) (с 2006 г.), Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ (с 2014 г.), Центра компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» (с 2018 г.), Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» (с 2022 года) [4].

На базе CML-Bench® интегрированы «лучшие в классе» технологии мирового уровня, а также наилучшие из доступных технологий. На базе платформы разрабатываются основные компоненты цифровых двойников изделий высокотехнологичной промышленности:

- Архитектура цифрового двойника на основе двух подходов: системного инжиниринга (SE) и модели-ориентированного системного инжиниринга (MBSE).
- Многоуровневной матрицы требований, целевых показателей, а также ресурсных ограничений
- Разработка математических, компьютерных и цифровых моделей высокого уровня адекватности, прошедших верификацию и валидацию;
- Разработка цифровых (виртуальных) испытательных стендах и полигонах, цифровые (виртуальные) испытания, включая испытания на специализированных цифровых испытательных стендах и полигонах [4].

Результаты аналитических исследований способствуют развитию программных модулей ЦП CML-Bench®. В рамках восьмого раздела аналитического доклада проведены исследования функциональных возможностей и особенностей реализации инструмента автоматизированных расчетных цепочек (WorkFlow) в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах. Результаты аналитических исследований будут содействовать развитию технологий и использованы при доработке и обновлении модуля автоматизированных расчетных цепочек (WorkFlow) в составе SPDM-системы – Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА

В данной главе представлен анализ мирового и российского рынков систем классов SPDM. Исследование включает оценку объема рынка, прогноз динамики роста объема рынка, а также характеристики и доли ключевых игроков. Для зарубежных рынков рассматриваются географические сегменты и факторы, влияющие на их развитие.

Рост изменений, обострение геополитической ситуации ведут к необходимости обеспечения технологического суверенитета и независимости от зарубежных продуктов при разработке высокотехнологичных промышленных изделий. Также растёт необходимость в оптимизации затрат при разработке и обеспечение требуемого уровня технических характеристик и качества. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2023 г. № 603 о приоритетных направлениях проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики РФ выделено более 460 приоритетных направлений по 13 отраслям промышленности (авиационная промышленность, автомобилестроение, железнодорожное, нефтегазовое, сельскохозяйственное, специализированное машиностроение, станкоинструментальная промышленность и тяжелое машиностроение, энергетическая промышленность и др.), в которых критически важно выполнить импортозамещение высокотехнологичных изделий и оборудования в ближайшее время [4].

Распространение разных мультидисциплинарных CAE-систем для решения сложных промышленных задач, способствовало разработке платформенных решений, которые обеспечивают прозрачность и контролируемость процесса разработки, обоснование принимаемых решений, автоматизацию работы с расчетными вариантами и конечно-элементным моделированием, интеграцию и взаимодействие инженерного программного обеспечения. Для реализации данных задач инженеры и разработчики программного обеспечения стали разрабатывать системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-системы, Simulation Process and Data Management) [4].

В 2020 году вышел приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации № 486 о классификации программ для ЭВМ и баз данных[5], по определению данного документа **средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)** — это программное обеспечение, предназначенное для эффективного управления конфигурацией данных моделирования, оптимизации процессов, осуществления совместной работы глобально распределенных команд, обеспечения прослеживаемости и принятия решения по оптимизации продукта, связывающее входные и выходные данные программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга).

В 2022 году была утверждена дорожная карта «Новое индустриальное программное обеспечение» (НИПО) на период до 2030 года [6]. Она предусматривает разработку и продвижение программных продуктов, в частности для инженерного анализа, обеспечивающих ключевые производственные процессы предприятий из всех секторов экономики и радикальные изменения в процессах промышленного производства. **К одному из трех технологических направлений дорожной карты Системы автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом изделий среднего и тяжелого класса на базе интегрированной инженерной платформы — относятся SPDM-системы.**

В зарубежных источниках SPDM (Simulation Processes and Data Management), или системы управления процессами и данными компьютерного моделирования, как правило определяют как среду (платформу), которая позволяет эффективно управлять конфигурацией данных моделирования, оптимизировать процессы, осуществлять совместную работу глобально распределенных команд, обеспечивать прозрачность и прослеживаемость и принимать решения по оптимизации продукта/изделия. Эксперты CIMdata отмечают рост и расширение роли математического и компьютерного моделирования на протяжении всего цикла разработки продукта. В то время как большая часть применений по-прежнему сосредоточена на методах верификации и валидации (V&V), все чаще применение находят в системном инжиниринге, концептуальном и детальном проектировании, производстве, эксплуатации, техническом обслуживании и поддержке на всех стадиях жизненного цикла продукта благодаря внедрению цифровых двойников на основе результатов решения multidisciplinary задач. SPDM-решения позволяют инженерам понимать возникающие проблемы и обоснованно предлагать изменения в конструкциях на протяжении всего жизненного цикла продукта. Разработка SPDM-инструментов требует глубоких multidisciplinary знаний в области архитектуры данных цифрового инжиниринга, а также тесной связи с тем, как multidisciplinary моделирование используется в отрасли [7].

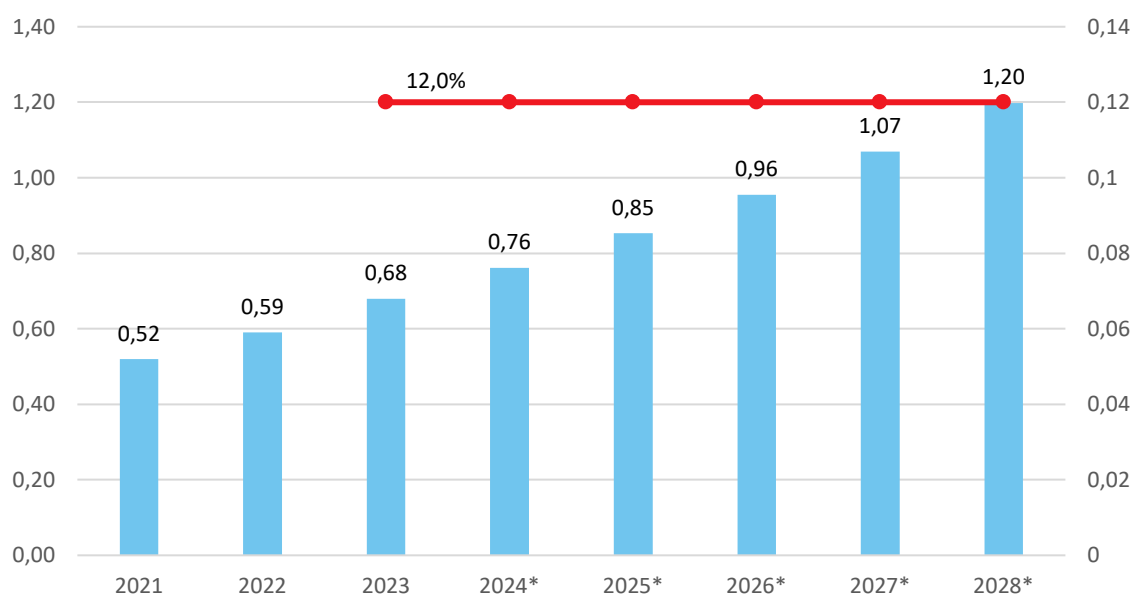
1.1. Анализ мирового рынка

1.1.1. Емкость рынка, темпы роста рынка

График с объемом мирового рынка и CAGR мирового рынка SPDM приведен на рисунке 1.

Рисунок 1. Объем мирового рынка и CAGR мирового рынка SPDM, млрд долл.

* прогноз на основе CAGR



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Future Market Insights[8] и CIMdata [9]

По данным Future Market Insight[8] в 2021 г., объем мирового рынка SPDM-систем составил

0,52 млрд долл., в 2022 г. – 0,59 млрд долл., в 2023 г. оценивается в 0,68 млрд долл., а ожидаемый темп роста (CAGR) составит 12% для периода 2023–2033 гг.

1.1.2. Характеристики основных игроков и их доли на рынке

По данным Future Market Insights[8], основными игроками рынка SPDM являются следующие компании:

- Siemens AG.
- ANSYS, Inc.
- Dassault Systèmes SE.
- HBK – Hottinger, Brüel & Kjaer.
- Hexagon AB.
- Instron.
- Zwick Roell Group.
- Dewesoft.
- ESI Group.
- DynamicSignals LLC.
- FEV Europe GmbH.

К числу ключевых разработчиков SPDM-систем также можно отнести ESTECO, BETA CAE Systems, Aras. В таблице 1 представлены сведения об объемах выручки основных игроков анализируемого рынка.

Таблица 1. Характеристики основных игроков

№	Игрок (название компании)	Выручка 2023, млн долл.	Ссылка на сайт компании
1	Hexagon	5440,00 [10]	https://hexagon.com/
		5500,00 [11]	
		5900,00 [12]	
2	Siemens Digital Industries Software	3700,00 [13]	https://www.sw.siemens.com/en-US/
3	Ansys	2260,00 [14]	https://www.ansys.com/
		2269,90 [15]	
4	BETA CAE Systems	90,00 [16]	https://www.beta-cae.com/
5	Dassault Systemes	н/д	https://www.3ds.com/
6	Aras	28,80 [17]	https://aras.com/en

№	Игрок (название компании)	Выручка 2023, млн долл.	Ссылка на сайт компании
7	ESTECO	11,20 [18]	https://www.esteco.com/

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Примечания к таблице 1:

- Выручка компании Ansys оценивается компанией Companies Marketcap [19] 2260 млн долл., а по данным компании Fusion Media Limited [20] выручка оценивается 2269,90 млн долл.
- У компании BETA CAE Systems, которая специализируется на SPDM-решениях, годовой доход по расчетам аналитиков HPCwire [16] составляет около 90 млн долл. Понимая важность и перспективы SPDM-систем один из мировых лидеров проектирования электронных устройств (EDA) Cadence приобрел 6 марта 2024 г. BETA CAE за 10 млрд долларов и расширяет свою деятельность в сфере структурного анализа.
- По данным разных источников, выручка Hexagon составляет: 5440 млн долл. по сведениям Fusion Media Limited [10], 5500 млн долл. по сведениям Macrotrends LLC [21], 5900 млн долл. по сведениям Companies Marketcap [12].

Ansys

Ansys – американская компания, занимающаяся разработкой и продажей программного обеспечения для CAE (мультифизического инженерного моделирования). Ansys предоставляет комплексные решения – от проектирования продуктов и систем до тестирования, проверки и внедрения. По оценкам APPS RUN THE WORLD Research Inc. [22], в 2021 г. на Ansys приходилось около 8% мирового рынка PLM/PDM-систем. В сегменте компьютерного моделирования и анализа (S&A), по данным, приведенным в отчете CIMdata 2021 Market Analysis Report Series [23], компания занимает первое место по доле рынка. Ключевой продукт в рассматриваемом сегменте – SPDM-система Ansys Minerva [24] (на базе технологий компании Aras).

Beta CAE Systems

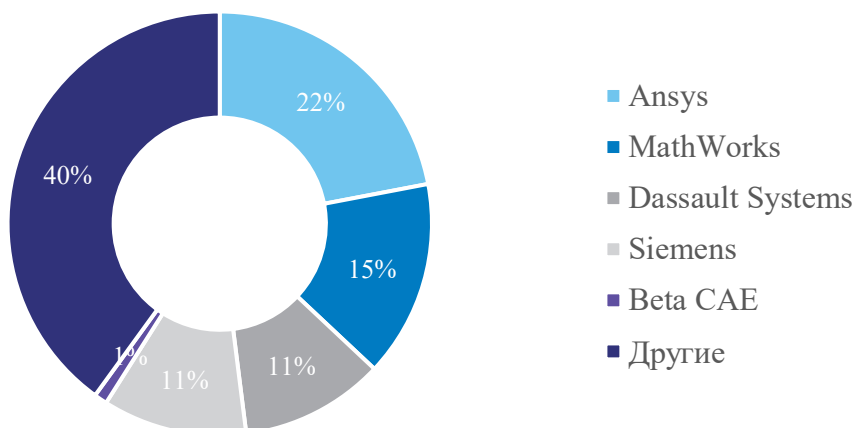
Beta CAE Systems – компания, предоставляющая инжиниринговые услуги и предлагающая программные решения в области передовых CAE-технологий для разработки современных изделий. Отраслевые эксперты [23] относят Beta CAE Systems к значимым игрокам на рынке SPDM-систем. Ключевой продукт компании в сегменте ПО для управления процессами и данным компьютерного моделирования является одним из мировых лидеров, в первую очередь, в автомобилестроении, – Beta CAE SPDRM® [25], функционально дополняет CAD-, CAE-, CAO- системы, значительно усиливая пользу от их взаимодействия. Кроме того, в продуктовый портфель Beta CAE входит платформа для управления инженерными данными об изделии KOMVOS [26], позволяющая работать с моделями CAE, в т.ч. получать информацию о метаданных, формировать отчеты и получать доступ к статистике моделей.

Esteco

ESTECO – высокотехнологичная компания, специализирующаяся в области компьютерной оптимизации и компьютерного моделирования процессов и управления данными, отмечаемая

отраслевыми экспертами в числе значимых игроков на рынке SPDM-систем [23]. Ключевой продукт компании в рассматриваемом сегменте – VOLTA [27] – платформа для управления процессами и данными компьютерного моделирования.

Рисунок 2. Структура мирового рынка компьютерного моделирования и анализа, доли компаний-лидеров, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных отчета CIMdata 2021 Market Analysis Report Series [23].

Оценка долей ключевых игроков на мировом рынке SPDM и S&A (Simulation and Analysis), которые тесно связан с рынком SPDM, приведена на рисунке 2.

1.1.3. Географические сегменты рынка

По данным компании Marketsandmarkets [28], ожидается, что в прогнозируемый период 2023–2028 гг. наибольшая доля рынка будет приходиться на Северную Америку.

Также, по данным компании Grand View Research [29], в 2023 г. Северная Америка доминировала на целевом рынке и обеспечила наибольшую долю выручки – 34,2%. Ожидается, что регион сохранит свое лидерство в прогнозируемый период 2024 – 2030 гг. благодаря присутствию крупных игроков в США и Канаде. За компаниями этих стран наблюдается тенденция к инвестициям в исследования и разработки для внедрения на рынок технологически передовых продуктов. Кроме того, регион известен как ранний пользователь передовых технологий. В Азиатско-Тихоокеанском регионе ожидается самый быстрый среднегодовой темп роста рынка (CAGR) в течение прогнозируемого периода 2024 – 2030 гг.

1.1.4. Факторы развития мирового рынка

Можно выделить 9 основных факторов, стимулирующих развитие мирового рынка SPDM-систем:

1. Увеличение сложности продуктов. Современные продукты становятся все сложнее, с большим количеством компонентов, версий и конфигураций. SPDM-системы помогают управлять этой сложностью, обеспечивая единое хранилище данных и улучшая совместную работу между различными отделами и участниками процесса разработки.
2. Расширение глобальных цепочек поставок. Глобализация производства требует эффективного обмена данными между различными географически распределенными участниками цепочки поставок. SPDM-системы обеспечивают централизованный доступ к информации, совместную работу распределенных групп инженеров, что улучшает координацию и снижает информационных разрывов.
3. Значительный рост объемов содержательных данных. Современные процессы разработки продуктов генерируют огромные объемы данных в процессе цифровых испытаний. SPDM-системы предоставляют инструменты для управления, хранения и анализа этих данных, что позволяет принимать обоснованные решения на основе результатов цифровых испытаний.
4. Повышение требований к качеству и безопасности. Регулирующие органы ужесточают требования к качеству и безопасности продукции. SPDM-системы помогают отслеживать жизненный цикл продукта, обеспечивая соответствие нормативным требованиям, а также обеспечивая прохождение натурных и сертификационных испытаний с первого раза.
5. Повышение конкуренции. Компании стремятся сократить время вывода продукции на рынок и снизить затраты на разработку. Кроме этого, SPDM-системы обеспечивают повышение эффективности процессов разработки, производства и обслуживания, что позволяет компаниям-пользователям получить конкурентное преимущество.
6. Цифровая трансформация. Переход к цифровым технологиям в промышленности, в первую очередь в высокотехнологичных отраслях, стимулирует спрос на SPDM-системы, которые в перспективе должны стать неотъемлемой частью цифровой экосистемы предприятия, обеспечивающей конкурентные преимущества.
7. Развитие облачных технологий. Облачные SPDM-системы становятся все более популярными, поскольку они предлагают гибкость, масштабируемость и снижение затрат на инфраструктуру.
8. Интеграция с другими системами. Современные SPDM-системы легко интегрируются с другими системами, обеспечивающими инженеринговую деятельность (PLM / PDM, CAE), что позволяет создать единую информационную среду.
9. Рост использования больших данных и аналитики. SPDM-системы могут быть интегрированы с системами обработки больших данных и аналитики, что позволяет получать ценную информацию о продуктах и процессах и способствует принятию более взвешенных решений.

В целом, сочетание этих факторов обеспечивает устойчивый рост рынка SPDM-систем. Однако, темпы роста могут варьироваться в зависимости от отрасли, региона и конкретных рыночных условий.

1.2. Анализ российского рынка

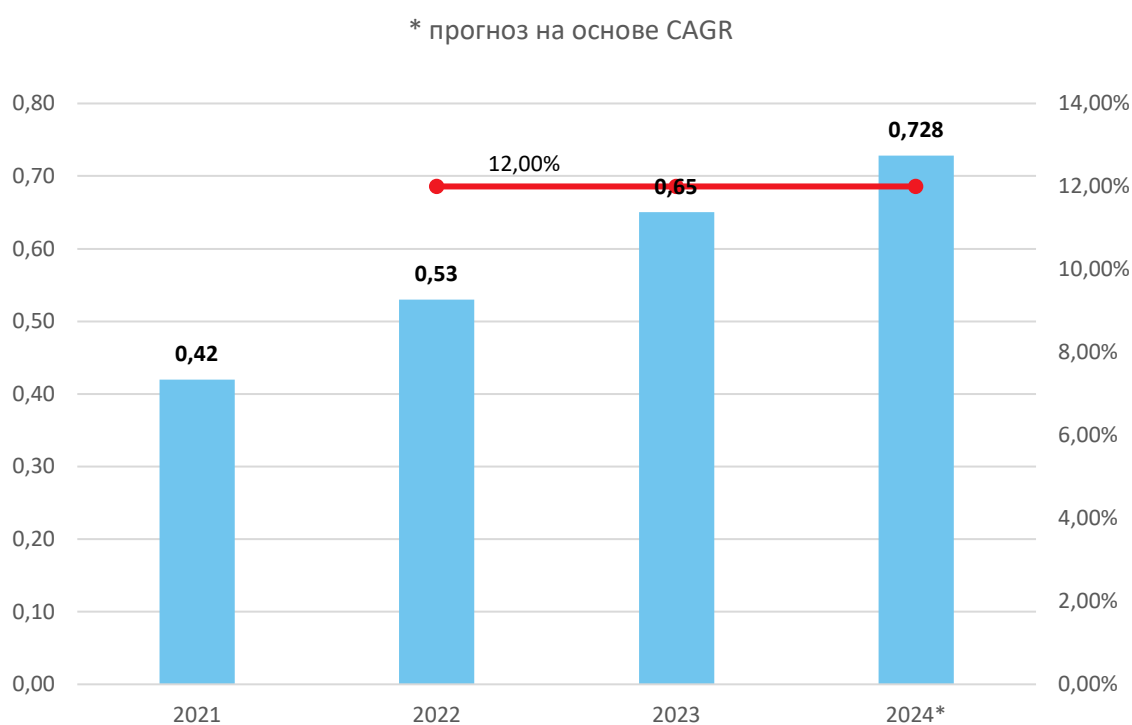
1.2.1. Емкость рынка, темпы роста рынка

На основе экспертной оценки, объем российского рынка для систем класса SPDM в 2023 г. составляет 0,008 млрд долл. США, а ожидаемый рост рынка (CAGR) составит 12% с 2022 г. по 2024 г. (см. рисунок 3).

В рублях объем российского рынка SPDM составил:

- в 2021 г. – 0,420 млрд руб.;
- в 2022 г. – 0,530 млрд руб.;
- в 2023 г. – 0,650 млрд руб.

Рисунок 3. Прогноз развития российского рынка SPDM, млрд руб.

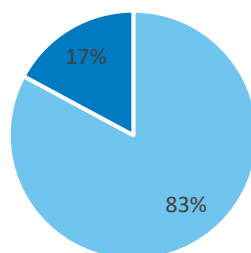


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам ПИШ СПбПУ, 2024

Для построения графика, приведенного на рисунке 3, был использован средневзвешенный курс доллара: 2021 г. – 73,65 руб., 2022 г. – 68,55 руб., 2023 г. – 85,25 руб. Далее, прогноз для 2024 года построен на основании данных за 2023 г. и с учетом прогнозируемого CAGR.

Рисунок 4. Доля организаций, использовавших российские SPDM-системы в РФ, 2023 г.

- Организации, использующие SPDM-решения зарубежного производства
- Организации, использующие SPDM-решения российского производства



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Росстат, 2024

В соответствии с рисунком 4, на российском рынке лидирующие позиции по состоянию на 2023 г. продолжали занимать зарубежные SPDM-системы.

1.2.2. Характеристики основных игроков

Полный перечень российских разработчиков SPDM-систем на основании выгрузки из Единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных (только по основному классу ПО), выполненной 11.10.2024 по классификатору, утвержденному приказом Минцифры России от 22.09.2020 № 486, представлен в Приложении 1.

Российские игроки и предлагаемые системы

СПбПУ и группа компаний ComrMechLab®

На российском рынке флагманом развития направления SPDM является Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®, разработанная ИЦ ЦИ «Центр компьютерного инжиниринга» (ComrMechLab®) СПбПУ [30]. Объем выручки от реализации лицензий, подписки на использование услуг по внедрению, сопровождению, технической поддержке, адаптации и доработке ПО класса SPDM за период 2021-2024 составил 1 014 197 449,83 руб. (10,14 млн долл. по курсу 11.12.24).

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 [31].

Новые проекты и игроки: АО «Аскон» и DATADVANCE

В сентябре 2023 г. российские разработчики инженерного программного обеспечения АО «Аскон» и компания DATADVANCE подписали соглашение о технологическом партнерстве в области разработки систем управления расчетными данными (SPDM) [32, 33].

DATADVANCE является отечественным разработчиком программного обеспечения в области анализа данных, оптимизации, предиктивного моделирования и сред для совместной инженерной работы. Ключевой продукт компании – программная платформа для анализа данных и оптимизации, дополняющая средства проектирования и инженерного анализа pSeven [34].

Совместное SPDM-решение будет реализовано путем интеграции системы управления инженерными данными и жизненным циклом изделия ЛОЦМАН: PLM, имеющей 20-летний опыт применения в промышленности и облачной low-code платформы pSeven Enterprise для автоматизации инженерных расчетов в масштабах всего предприятия. Оба продукта включены в Реестр российского программного обеспечения [32, 33].

В условиях технологической независимости и курса на локализацию российского производства, рынок SPDM имеет высокий потенциал для расширения. Ожидается, что в ближайшие годы спрос на такие системы вырастет, особенно в высокотехнологичных и ресурсозависимых секторах, где использование SPDM может обеспечить существенные конкурентные преимущества.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА

Настоящий раздел посвящен анализу технологических тенденции развития мирового и российского рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) по блокам (подразделам):

- Технологические тренды развития систем. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий в системах, составленные на основе тенденций технологического развития, и рыночные кейсы (примеры).
- Обзор ключевых научных разработок в России по результатам интеллектуальной деятельности (РИД). Динамика РИД в России по направлению, ед. за период 2017-2024. Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД.

2.1. Технологические тренды развития систем. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий в системах, составленные на основе тенденций технологического развития и рыночные кейсы (примеры)

В последние годы мировая промышленность сталкивается с нарастающим давлением вызовов – как «долговременных», влияние которых накапливалось на протяжении десятилетий (затяжная экономическая рецессия и поступательное падение доходности, растущие требования потребителей в части индивидуализации производимой продукции и др.), так и «актуальных» (последствия эпидемии коронавирусной инфекции COVID-19, растущая геополитическая неопределенность – экономический спад и разрывы цепочек поставок и т. д.). Ответом на эти вызовы становится разработка и внедрение новых технологических решений. Международные консалтинговые организации и объединения вендоров выделяют ряд ключевых направлений технологического развития, к которым относятся искусственный интеллект, в т.ч. генеративный искусственный интеллект, распространение No-Code/Low-Code подходов к проектированию, облачные технологии и сервисы, комплексные платформенные решения и гибкие модульные системы во всех областях, и т. д. (см., в частности McKinsey [35], Deloitte [36], Forbes [37] и др.).

Развитие и внедрение новых производственных технологий относится к приоритетам российской государственной политики. Развитие Индустрии 4.0 в мировом пространстве является для российских предприятий как вызовом, так и возможностью занять место среди лидеров высокотехнологичных рынков будущего – при условии осуществления эффективной цифровой трансформации. В то же время нарастающее санкционное давление и необходимость обеспечения технологического суверенитета обостряют потребность в разработке актуальных решений мирового уровня. В рамках Национальной технологической инициативы был выделен ряд «сквозных» технологий – ключевых научно-технологических направлений, которые оказывают существенное влияние на развитие нескольких рынков / отраслей. Первый перечень «сквозных» технологий был закреплён в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» [38] ещё в 2017 г. и включал:

- Большие данные.
- Нейротехнологии и искусственный интеллект.
- Системы распределенного реестра.

- Квантовые технологии.
- Новые производственные технологии.
- Промышленный интернет.
- Компоненты робототехники и сенсорику.
- Технологии беспроводной связи.
- Технологии виртуальной и дополненной реальностей.

Актуальный скорректированный перечень «сквозных» технологий, под которыми понимаются «перспективные технологии межотраслевого назначения, обеспечивающие создание инновационных продуктов и сервисов, и оказывающие существенное влияние на развитие экономики, радикально меняя существующие рынки, и (или) способствующие формированию новых рынков» [39], закрепленный в Концепции технологического развития до 2030 года:

- Технологии обработки и передачи данных:
 - Искусственный интеллект, включая технологии машинного обучения и когнитивные технологии.
 - Технологии хранения и анализа больших данных.
 - Технологии распределенных реестров.
 - Нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальностей.
 - Квантовые вычисления.
 - Квантовые коммуникации.
 - Новое промышленное и общесистемное программное обеспечение.
 - Геоданные и геоинформационные технологии.
 - Технологии доверенного взаимодействия.
 - Современные и перспективные сети мобильной связи.
- Технологии в сфере энергетики:
 - Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем.
 - Системы накопления энергии.
 - Развитие водородной энергетики.
- Новые производственные технологии:
 - Технологии компонентов робототехники и мехатроники.
 - Технологии сенсорики.
 - Микроэлектроника и фотоника.
 - Технологии новых материалов и веществ, их моделирования и разработки.
- Биотехнологии и технологии живых систем:
 - Технологии управления свойствами биологических объектов.
 - Молекулярная инженерия в науках о жизни.
 - Бионическая инженерия в медицине.
 - Ускоренное развитие генетических технологий.
- Технологии снижения антропогенного воздействия.

- Перспективные космические системы и сервисы [39].

В контексте инженерного программного обеспечения наиболее актуальными являются такие «сквозные» технологии как:

- Искусственный интеллект.
- Квантовые технологии.
- Современные и перспективные сети мобильной связи.
- Технологии виртуальной и дополненной реальности.
- Технологии больших данных.
- Технологии распределенного реестра.
- Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы.

Перспективы использования вышеуказанных групп технологий имеют определенную специфику в зависимости от класса ПО. В таблице ниже представлена ключевая информация о перспективных направлениях использования «сквозных» цифровых технологий, составленная на основе тенденций технологического развития, а также приведен ряд конкретных рыночных кейсов в разрезе класса «системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» (таблица 2).

Таблица 2. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий, составленные на основе тенденций технологического развития, и рыночные кейсы.

№	Сквозные / цифровые технологии	Основные перспективные направление использования в разрезе класса	Примеры кейсов использования
1	Искусственный интеллект	Внедрение ИИ для постобработки данных, полученных в ходе моделирования.	Использование ИИ для постобработки данных компьютерного моделирования в системе SimExplore.
2	Квантовые технологии	Квантовые технологии находятся на относительно ранней стадии своего развития. О непосредственном внедрении их в промышленность говорить пока рано.	-
3	Современные и перспективные сети мобильной связи	В контексте управления процессами и данными компьютерного моделирования современные и перспективные сети мобильной связи практически не рассматриваются; вышеуказанное направление более актуально в разрезе классов MES и SCADA.	-
4	Технологии виртуальной и дополненной реальности	Управления процессами и данными компьютерного моделирования практически не предполагает взаимодействия с инструментами виртуальной и дополненной	-

№	Сквозные / цифровые технологии	Основные перспективные направления использования в разрезе класса	Примеры кейсов использования
		реальности. рассматриваемое направление более актуально в разрезе других классов инженерного ПО.	
5	Технологии больших данных	Визуализация данных.	В последней версии SimManager от Hexagon добавлена диаграмма параллельных координат для визуализации больших наборов данных [40].
6	Технологии распределенного реестра	Технологии данного направления более актуальны в контексте обеспечения работы единой базы данных, позволяющей нескольким пользователям одновременно получать доступ к информации и изучать ее в рамках комплексной платформы PLM / PDM / SPDM.	-
7	Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы	- Ускорение процессов с помощью доступа к высокоскоростным вычислительным мощностям. - Оптимизация вычислительных ресурсов за счет облачной инфраструктуры.	HPC and Cloud от ESTECO позволяет распределить вычислительную нагрузку между различными платформами с целью ускорения процесса проектирования в сбалансированном режиме, и с использованием аппаратных и программных ресурсов [41].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

2.1.1. Технологии искусственного интеллекта

Технологии искусственного интеллекта достаточно широко применяются при работе с данными компьютерного моделирования и CAE-системами. При анализе SPDM-систем следует рассматривать применение искусственного интеллекта в постобработке данных, полученных в ходе работы CAE-систем. Необходимо отметить, что вопрос определения какой-либо системы как «искусственного интеллекта», применительно к технологическим системам, работающим со сверхсложным моделированием, является дискуссионным. Как и в случае с моделями сокращенного порядка (ROM-модели), создаваемыми в CAE-системах, под использованием искусственного интеллекта зачастую понимается использование ROM-моделирования, дополняющее сверхсложное и ресурсоемкое суперкомпьютерное конечно-элементное моделирование.

Кейс SimExplore

Система SimExplore, созданная компанией Scapos, использует ИИ для постобработки данных компьютерного моделирования [42]. В SimExplore методы машинного обучения применяются к большим объемам данных моделирования для выявления общих черт и различий между различными моделями-результатами, что делает постобработку быстрее и нагляднее. Процесс работы в системе состоит из двух этапов: после пакетной обработки, в ходе которой выполняются необходимые вычисления, включая уменьшение размерности, становится доступной интерактивная визуализация различных моделей. В частности, SimExplore автоматически обнаруживает схожие результаты моделирования или серьезные отклонения. Система SimExplore может использоваться как отдельный инструмент или интегрироваться в существующие программные решения класса SPDM.

2.1.2. Квантовые технологии

На данный момент непосредственно квантовые технологии находятся на ранней стадии развития, и решения на их основе еще не внедряются в SPDM-системы.

2.1.3. Современные и перспективные сети мобильной связи

Современные и перспективные сети мобильной связи оказывают существенное влияние на развитие систем, непосредственно относящихся к управлению производством – MES и SCADA. В контексте управления процессами и данными компьютерного моделирования, сверхвысокие скорости в компьютерных сетях менее актуальны.

2.1.4. Технологии виртуальной и дополненной реальности

Технологии виртуальной и дополненной реальности (AR/VR) позволяют географически разделенным командам работать вместе в общем удобном виртуальном пространстве, в то же время, непосредственно управление процессами и данными компьютерного моделирования практически не предполагает взаимодействия с инструментами AR/VR. Рассматриваемое направление более актуально в разрезе других классов инженерного ПО. В частности, AR-инструменты способны помочь рабочим сборочных линий за счет накладывания цифровых рабочих инструкций на физические компоненты, улучшения условий сборки, обеспечения большей безопасности и сокращения количества ошибок. Одним из значимых направлений использования AR/VR-технологий также является интеграция программ обучения на основе данных технологий с системами управления производственными процессами для отслеживания производительности труда и т. д.

2.1.5. Технологии распределенного реестра

Возможности технологий распределенного реестра в первую очередь связаны с задачами верификации и обеспечения безопасности данных. Таким образом, технологии данного направления более актуальны в контексте обеспечения работы единой базы данных, позволяющей нескольким пользователям одновременно получать доступ к информации и изучать ее в рамках комплексной платформы PLM/PDM/SPDM.

2.1.6. Технологии больших данных

Необходимо отметить, что с самого момента появления (начало 2000-х годов) SPDM-системы работают с огромными массивами данных, причем, принципиально важно, что это содержательные большие данные, получаемые в результате решения задач в CAE-CAO-системах в полном соответствии с законами физики. О применении технологий больших данных применительно к SPDM-системам можно говорить в случае с адаптацией для задач SPDM-систем новых методик анализа, созданных для работы с большими данными. При этом, к методам работы с большими данными зачастую относят технологии машинного обучения, рассматриваемые в рамках нашего отчета как технологии искусственного интеллекта.

Кейс Hexagon

Компания Hexagon добавила возможность создания диаграммы параллельных координат для визуализации больших наборов данных в SimManager версии 2024.1 [40].

2.1.7. Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы

Хранение и обработка данных компьютерного моделирования сталкиваются со значительными структурными проблемами: фрагментированным программным и аппаратным обеспечением, большим набором данных и высокими требованиями к компетенциям исполнителей. Зачастую, данные моделирования изолированы, управление данными организовано с помощью устаревших технологий, в лучшем случае, через общее сетевое хранилище, в значительной степени опирающееся на соглашения об именовании файлов [43].

Такие практики снижают производительность специалистов по моделированию и инженерному анализу, а также снижают прослеживаемость данных. Однако, начиная с начала 2000х годов, появление SPDM-систем предоставляет возможности по модернизации управления данными моделирования. SPDM-системы являются относительно молодым направлением инженерного ПО. Распространение облачных систем, в первую очередь заметное в сфере PLM-систем, становится важным фактором и в развитии SPDM-систем. В последние годы ряд вендоров предоставляет возможности хранения данных в облачных хранилищах.

Кейс ESTECO

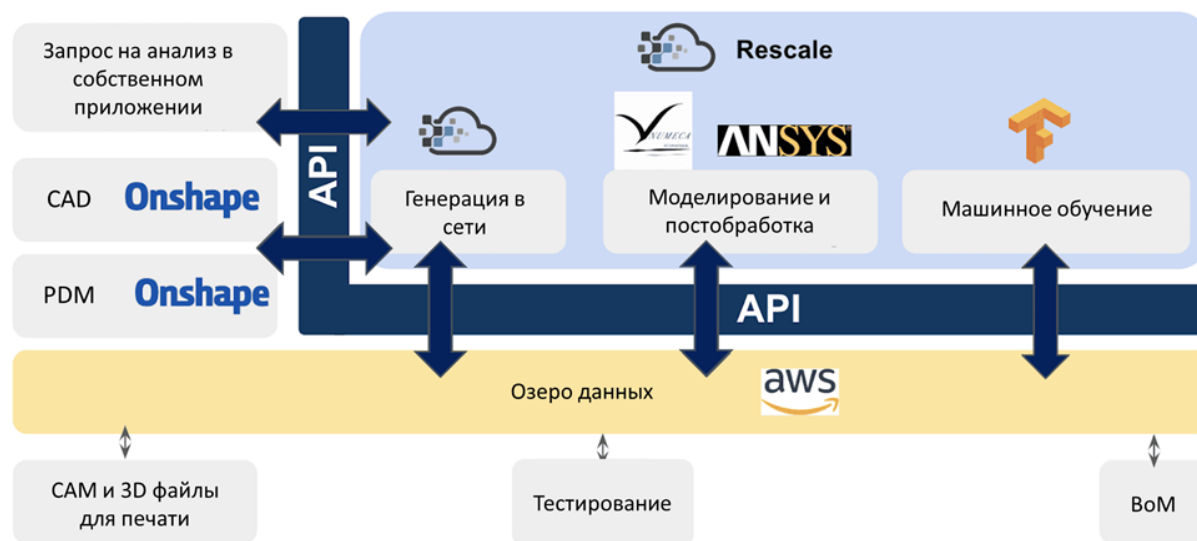
Система Volta компании ESTECO позволяет автоматически распределять вычислительную нагрузку через сетевые вычисления, системы HPC, внутренние и внешние облачные сервисы. Благодаря сбалансированному использованию всех доступных вычислительных ресурсов, система Volta позволяет разделить комплексные рабочие задачи на более мелкие и значительно сократить общее время выполнения. Также, Volta предоставляет возможность получать полное представление о состоянии выполнения и использовании вычислительных ресурсов. Обращение к распределенным ресурсам в системе реализуется через стандартные и безопасные протоколы связи [41].

Кейс Rescale

Компания Rescale позиционирует себя как лучшую в своем классе облачную архитектуру SPDM, исключая необходимость в ручной интеграции источников данных, способную работать с данными из облачных хранилищ данных и data-lake. Rescale использует современные

инструменты управления рабочими процессами, а также полностью управляемый стек для автоматизации интеграции этих инструментов (рисунок 5).

Рисунок 5. Пример облачного SPDM-решения от компании Rescale



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным [43].

Как утверждают разработчики, Rescale делает сложный, запутанный и неудобный опыт работы с высокопроизводительными системами простым и интуитивно понятным. Rescale обеспечивает уровень абстракции, автоматизирующий перемещение данных, оркестровку процессов и создание информационных панелей в приложениях и средах выполнения. Это снижает барьеры для инженеров при использовании ресурсов высокопроизводительных вычислений и собирает всю ценную информацию о моделировании без усилий со стороны пользователей [43].

Кейс CML-Bench®

Как уже было сказано выше, флагманом развития направления SPDM и цифровых двойников на российском рынке является Цифровая платформа CML-Bench®. Технология разработки цифровых двойников и Цифровая платформа CML-Bench® выступают драйверами и интеграторами применения системы сквозных цифровых технологий класса Digital Engineering – Smart Design & Engineering [30].

Разработка Цифровой платформы CML-Bench® началась в 2006 году с учетом мирового опыта изучения и применения SPDM-систем мирового уровня в ведущих высокотехнологичных компаниях. Главным принципом архитектуры стала модульность платформы и возможность «бесшовного» подключения внешних программных систем инженерного анализа (CAE-систем) [44].

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

- архитектура цифрового двойника на основе подходов системного инжиниринга и модели-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 математических и компьютерных моделей, ПО компьютерного моделирования, CAE-систем;
- виртуальные испытания, специализированные виртуальные стенды и виртуальные полигоны;
- автоматизация инженерных, организационных и презентационных процессов и др. [45].

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» [46].

Одним из важных событий 2023 года, можно выделить официальное включение ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения», разработчиками которого выступили специалисты СПбПУ и РФЯЦ-ВНИИЭФ, в перечень **взаимно признаваемых стандартов в сфере авиастроения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией** [47].

Цифровая платформа CML-Bench® представляет собой клиент-серверное веб-приложение, состоящее из пользовательского интерфейса, серверной части, системы управления базами данных и сервиса-решателя. Серверная часть осуществляет взаимодействие с системой управления базами данных, обработку пользовательских запросов, запуск и остановку вычислительных задач, оповещение пользователей. Клиентская часть представляет собой интерфейс пользователя, который доступен через веб-браузер и позволяет выполнять все операции согласно функциональным требованиям. Сервис-решатель представляет собой отдельное приложение, которое размещено на расчетных высокопроизводительных кластерах и осуществляет запуск вычислительных задач [48].

Базовые сервисы Цифровой платформы CML-Bench® реализуют следующие основные функции[49]:

- обеспечение информационной безопасности (идентификация, аутентификация, авторизация, разграничение прав доступа);
- журналирование (управление логированием работы базовых и прикладных сервисов, типизация событий);
- маршрутизация пользовательских запросов в прикладные сервисы;
- оповещение пользователя о событиях;
- работа с базой знаний (управление Wiki-страницами на html и markdown);
- пользовательский интерфейс (пользовательское рабочее пространство с деревом навигации, системой меню и рабочими областями);
- сбор обратной связи от пользователей, взаимодействие со службой технической поддержки;
- контроль лицензий на использование платформы;
- интеграция с внешними информационными системами.

Прикладные сервисы Цифровой платформы CML-Bench® реализуют следующие ключевые функции:

- управление проектами и заданиями;
- иерархическое представление данных проекта;
- представление графика работ по проекту в виде диаграммы Ганта;
- работа с документами/файлами разных форматов;
- управление условиями нагружения (повторение одного и того же физического эксперимента, с разной логикой работы с целевыми показателями);
- управление библиотекой требований к разрабатываемому продукту;
- отображение матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений;
- отображение дерева эволюции расчетных вариантов;
- управление цифровыми макетами;
- управление расчетными моделями;
- управление расчетными узлами;
- интеграция с высокопроизводительными кластерами (HPC – High Performance Computing);
- управление приоритизированной очередью задач;
- сбор и анализ статистики по выполненным расчетным задачам;
- формирование визуальной отчетности [30].

Цифровая платформа CML-Bench® через единый пользовательский интерфейс позволяет осуществлять управление множеством программных систем, в их числе:

- программы препроцессинга (ANSA, HyperMesh, ICEM CFD, Oasys и др.) – файлы субмоделей обрабатываются системой CML-Bench®, автоматически генерируется сборочный файл для запуска расчета в определенной программной системе конечно-элементного (КЭ) анализа;
- программные системы КЭ-анализа (ANSYS, LS-DYNA, SIMULIA/Abaqus, HyperWoks, MSC.Software и др.) – для запуска расчета задачи на вход программной системы КЭ-анализа согласно синтаксису выбранной расчетной программной системы подается созданный системой CML-Bench® сборочный файл. Система CML-Bench® автоматически выбирает подходящий вычислительный ресурс (с учетом очередности других расчетных вариантов) и позволяет контролировать процесс расчета, предоставляя доступ к файлам, генерируемым в процессе вычисления;
- программы обработки результатов вычислений (HyperView, GNS Animator4, LS-PrePost, MetaPost и др.) – после завершения расчета в программной системе КЭ-анализа система CML-Bench® автоматически запускает программы обработки результатов вычислений в принятой структуре проектных целей и формирует отчетные документы в требуемом формате с возможностью сравнительного анализа с другими расчетными вариантами [48].

2.1.8. Общие выводы

К наиболее важным технологическим трендами по отношению к SPDM-системам можно отнести развитие облачных и платформенных технологий, а также развитие технологий искусственного интеллекта. Также платформизация и организация работы с облачными ресурсами может

выступить важным преимуществом для внедрения SPDM-систем, особенно в организациях работающих с большим парком legacy-систем.

Развитие платформ позволяет решать сложные и важные задачи, обеспечивающие технологический суверенитет и технологическое лидерство. Стоит отметить важный для России проект в нефтегазовой промышленности (завершён в конце 2023 года) по разработке цифрового двойника оборудования для импортоопережения в сфере нефтегазодобычи, выполненный Инжиниринговым центром Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» СПбПУ совместно с компанией «Центротех-Инжиниринг» (входит в топливный дивизион «ТВЭЛ» Госкорпорации «Росатом»). Была разработана модель доставки комплекса разобщения селективной перфорации (РСП) к месту проведения работ в скважине, а также модель работы таких узлов конструкции комплекса РСП, как перфоратор и пакер-пробка. Натурные испытания, проведенные в условиях реального производства, подтвердили высокую степень адекватности разработанных цифровых моделей реальному объекту[50].

Комплекс РСП используется при выполнении гидравлических разрывов пласта, позволяя осуществлять направленные прострелочно-взрывные работы в скважинах. Данный тип оборудования используется на большинстве нефтегазовых скважин России. В исследовательских целях он может быть дополнительно оснащен специальным оборудованием для регистрации избыточного давления и температуры в процессе работ, контроля проведения спускоподъемных операций. Проект по созданию цифрового двойника нефтегазового оборудования выполнен на базе цифровой платформы CML-Bench®[50].

Успешное выполнение такого типа проектов по разработке и оптимизации сложных высокотехнологичных изделий и конструкций подтверждает высокую эффективность и целесообразность применения технологий цифрового проектирования и моделирования, проведения сотен и тысяч цифровых (виртуальных) испытаний, внедрения SPDM-систем[50], в числе которых — цифровые платформы по разработке и применению цифровых двойников.

2.2. Обзор ключевых научных разработок в России по результатам интеллектуальной деятельности (РИД). Динамика РИД в России по направлению, ед. за период 2017-2024. Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД

В рамках настоящего раздела проводится количественный и качественный анализ ключевых научных разработок в России по результатам интеллектуальной деятельности (РИД) в области систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) по блокам (подразделам):

- Динамика РИД в России по направлению, ед., за период 2017-2024.
- Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД.

В ходе анализа рассматриваются программы для ЭВМ, зарегистрированные в системе Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС) [51] по следующим ключевым словам: «spdm software», «Simulation Process and Data Management», «simulation process and data management», «Simulation Process and Data Management», «Simulation Process & Data Management», «Средства управления процессами проектирования, моделирования и данными», «SPDM», «управление данными моделирования»,

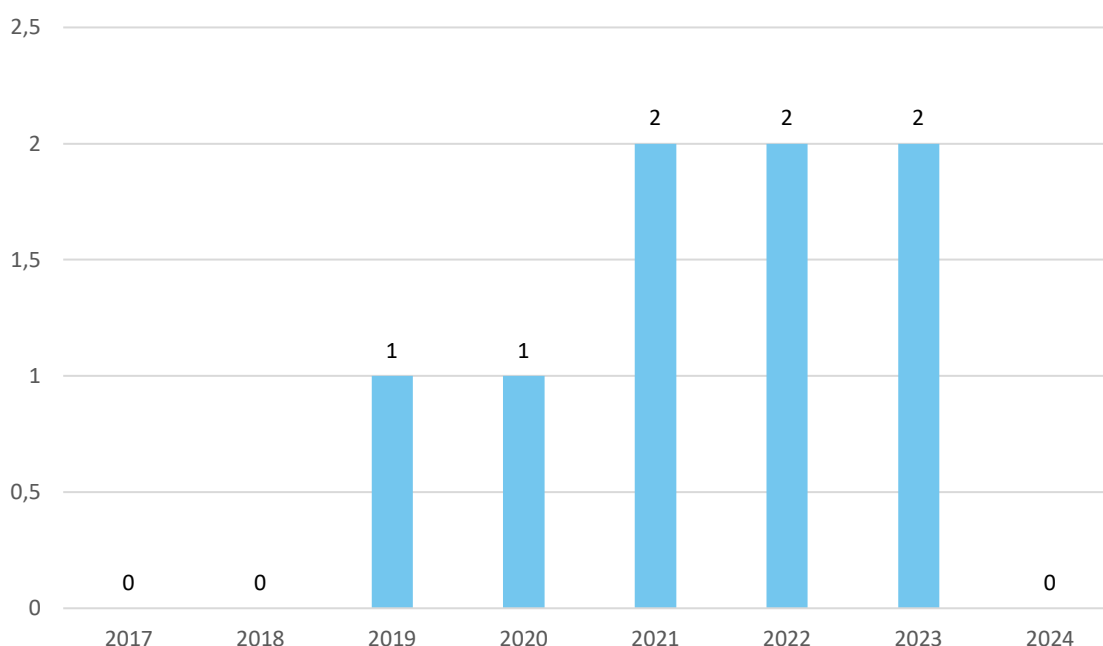
«система управления процессами проектирования, моделирования и данными», «управление расчетными данными и процессами расчетных обоснований». Кроме того, в рамках работы учитываются актуальные программные продукты, включенные в реестр российского программного обеспечения [52].

2.2.1. Динамика РИД в России по направлению, ед. за период 2017-2024

Ключевым источником информации для анализа динамики РИД в России по направлению «системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» является система Федерального института промышленной собственности [51]. В рамках настоящего подраздела была проанализирована динамика регистрации SPDM-систем в ФИПС с 2017 по 2024 гг. (см. рисунок 6).

Рисунок 6. Количество результатов интеллектуальной деятельности по направлению, ед.

* данные по состоянию на 24.08.2024



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным ФИПС [51].

Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) – относительно молодой (если сравнивать, например, с PDM или PLM-системами, берущими начало в 1980-х гг., ведь первые коммерческие системы класса SPDM появились на рынке в 2000 г. [53]) и

достаточно специализированный сегмент программного обеспечения. Так в системе ФИПС по направлению SPDM за рассматриваемый период зарегистрированы, казалось бы, единичные разработки: по 1 программе ЭВМ в 2019 г. и в 2020 г., по 2 программы ЭВМ в 2021-2023 гг. с указанными терминами для поиска. Однако, лишь цифровая платформа CML-Bench® насчитывает около 100 РИД (Свидетельств на регистрацию программ для ЭВМ). Так, на момент регистрации ЦП CML-Bench® в Едином реестре программ для ЭВМ и баз данных, было зарегистрировано 34 РИД.

2.2.2. Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД

В качестве ключевых научных разработок в области средств управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) в рамках настоящего подраздела рассматриваются последние актуальные программные продукты, включенные в реестр российского программного обеспечения [52], относящиеся к классу программного обеспечения по классификатору, утвержденному приказом от 22.09.2020 № 486 [54] «08.14 Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)», а также разработки в области SPDM, зарегистрированные в системе Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» [51] (таблица 3).

Таблица 3. Ключевые разработки в России в части РИД в области управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)

№	Дата регистрации в базе ФИПС	Дата регистрации в реестре российского ПО	Название	Правообладатели	Краткое описание
1	08.04.2024	15.07.2024	Симулятор ОПЗ.	ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ»	ПО для проектирования оптимальных дизайнов кислотной обработки призабойной зоны (ОПЗ) пласта в сложно-построенных коллекторах.
2	04.04.2024	12.08.2024	Платформа моделирования сетей 3GPP/IEEE системного уровня с интегрированными библиотеками для построения систем искусственного интеллекта.	ООО «ЮБИТЕЛ»	ПО для реализации функциональных макетов телекоммуникационных протоколов, устройств и систем связи; интегрированные Библиотеки содержат модели машинного обучения, в частности нейронные сети, применяемые для разработки и тестирования технологий телекоммуникаций. Основной класс ПО по классификатору, утвержденному приказом от 22.09.2020 № 486 – «04.06 Средства разработки программного обеспечения на основе нейротехнологий и искусственного интеллекта»; «08.14 Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» – дополнительный класс.

№	Дата регистрации в базе ФИПС	Дата регистрации в реестре российского ПО	Название	Правообладатели	Краткое описание
3	23.05.2023	-	Программная платформа моделирования сетей 3GPP / IEEE системного уровня.	ООО «ЮБИТЕЛ»	ПО для эмуляции и моделирования протоколов систем связи сетей стандартов 3GPP/IEEE с целью верификации технологических параметров оборудования, алгоритмов, протоколов.
4	25.03.2024	30.07.2024	Система ArhiForecast прогнозирования спроса.	ООО «Лаборатория Корпоративного Сопровождения»	ПО для прогнозирования объемов продаж, может быть использована при планировании поставок нефтепродуктов на сети АЗС в качестве способа прогнозирования объемов продаж топлива. Основной класс ПО по классификатору, утвержденному приказом от 22.09.2020 № 486 – «10.03 Средства математического и имитационного моделирования»; «08.14 Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» – дополнительный класс.
5	16.11.2023	24.05.2024	Модуль прогнозистики.	ООО «ИТ Плюс»	ПО для заблаговременного обнаружения возникновения и развития скрытых дефектов оборудования на объектах генерации, включая организацию получения исходных данных и передачи результатов обработки пользователю, создание моделей, практическую отработку математических методов предиктивного анализа. Основной класс ПО по классификатору, утвержденному приказом от 22.09.2020 № 486 – «12.06 Программное обеспечение для решения

№	Дата регистрации в базе ФИПС	Дата регистрации в реестре российского ПО	Название	Правообладатели	Краткое описание
					отраслевых задач в области энергетики и нефтегазовой отрасли»; «08.14 Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» – дополнительный класс.
6	24.05.2022	17.10.2023	Программный комплекс для 3D-моделирования и организационно-технологического инжиниринга и реинжиниринга производственных процессов.	ООО «РПДС»	ПО предоставляет предприятиям-пользователям платформу для разработки «цифрового двойника» реального производственного процесса, детальной организационно-технологической 3D-модели производства в целях инжиниринга и реинжиниринга существующих производств и цеховых процессов.
7	02.08.2023	-	Программа интеграции стороннего программного обеспечения (BenchProху) Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников.	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	ПО для интеграции стороннего ПО в Платформе виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, в частности программ, предназначенных для многокритериальной оптимизации.
8	12.01.2022	-	Программа выполнения пересчета статистических моделей формирования актуальных рекомендаций, в составе Подсистемы «Подсистема «Интеллектуальный	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	ПО для выполнения регулярного пересчета статистических моделей для формирования актуальных рекомендаций; может использоваться в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников.

№	Дата регистрации в базе ФИПС	Дата регистрации в реестре российского ПО	Название	Правообладатели	Краткое описание
			помощник»«в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников		
9	12.01.2022	-	Программа формирования рекомендаций для пользователя на базе выполненных предсказаний, в составе Подсистемы «Подсистема «Интеллектуальный помощник»«в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников.	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	ПО для формирования и отображения рекомендаций по расчетным вариантам на базе выполненных предсказаний; может использоваться в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников.
10	15.03.2021	-	Система управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ». Релиз 1.0.	ГК «Росатом»	ПО для автоматизации проведения расчетных и экспериментальных исследований и обеспечивает непрерывный контроль соблюдения требований, многовариантные расчеты и коллективную работу; позволяет определить, какие расчеты и эксперименты запланированы и/или выполнены для подтверждения выполнения тех или иных целевых значений к изделиям/объектам, на какой стадии находится процесс проведения расчетного или экспериментального исследования.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Минцифры России [52], ФИПС [51]

Необходимо также отметить, что на момент регистрации ЦП CML-Bench® в Едином реестре программ для ЭВМ и баз данных, было зарегистрировано 34 РИД, формирующих ядро решения и определяющих его ключевые функциональные возможности:

- 1) Программа управления проектами Подсистемы «Структура проектов» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020619793 от 25.08.2020
- 2) Программа управления директориями Подсистемы «Структура проектов» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020619057, от 10.08.2020
- 3) Программа управления условиями нагружения Подсистемы «Структура проектов» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020663679, от 30.10.2020
- 4) Программа управления целевыми значениями Подсистемы «Управление целями и цифровое ТЗ» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664260, от 11.11.2020
- 5) Программа отображения матрицы целевых значений Подсистемы «Управление целями и цифровое ТЗ» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664405, от 12.11.2020
- 6) Программа отображения дерева лучших расчетных вариантов для конструкции Подсистемы «Управление целями и цифровое ТЗ» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664572, от 16.11.2020
- 7) Программа отображения графиков целевых значений по расчетным вариантам Подсистемы «Управление целями и цифровое ТЗ» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664259, от 11.11.2020
- 8) Программа управления цифровыми макетами (DMU) Подсистемы «Управление целями и цифровое ТЗ» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664673, от 16.11.2020
- 9) Программа управления расчетными моделями Подсистемы «Управление расчетными данными» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664261, от 11.11.2020
- 10) Программа управления расчетными вариантами Подсистемы «Управление расчетными данными» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664991, от 20.11.2020
- 11) Программа управления многовариантными расчетами Подсистемы «Управление расчетными данными» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664791, от 18.11.2020
- 12) Программа управления буфером обмена объектами (Clipboard) Подсистемы «Управление расчетными данными» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665035, от 20.11.2020

13) Программа поддержки оптимизационных расчетов Подсистемы «Управление расчетными данными» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665059, от 20.11.2020

14) Программа управления вычислительным узлом Подсистемы «Управление расчетами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665060, от 20.11.2020

15) Программа интеграции с SLURM кластером Подсистемы «Управление расчетами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664718, от 18.11.2020

16) Программа интеграции с TORQUE кластером Подсистемы «Управление расчетами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664927, от 19.11.2020

17) Программа управления приоритизированной разнородной очередью задач Подсистемы «Умная очередь» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664650, от 16.11.2020 18) Программа дополнительной фильтрации задач при отборе из очереди (Tuning) Подсистемы «Умная очередь» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664885, от 19.11.2020

19) Программа оптимизации последовательности задач в очереди Подсистемы «Умная очередь» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665011, от 20.11.2020

20) Программа сбора и анализа статистики по выполненным расчетным задачам Подсистемы «Умная очередь» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665062, от 20.11.2020

21) Программа управления заданиями Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664725, от 18.11.2020

22) Программа управления настройками заданий Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664935, от 19.11.2020

23) Программа представления заданий в виде диаграммы Ганта Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664674, от 16.11.2020

24) Программа управления документами Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665372, от 26.11.2020

25) Программа интеграции с OnlyOffice Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665258, от 24.11.2020

26) Программа управления подтверждениями Подсистемы «Совместная работа. Управление проектами и задачами» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664796, от 18.11.2020

27) Программа представления объектов в виде графа эволюции Подсистемы «Визуализация» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664792, от 18.11.2020

28) Программа построения графиков (Chart) Подсистемы «Визуализация» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665217, от 24.11.2020

29) Программа управления пользователями Подсистемы «Безопасность и управление доступом» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664651, от 16.11.2020

30) Программа управления группами пользователей Подсистемы «Безопасность и управление доступом» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020666014, от 03.12.2020 31) Программа управления разрешениями Подсистемы «Безопасность и управление доступом» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664936, от 19.11.2020

32) Программа управления ролями Подсистемы «Безопасность и управление доступом» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664857, от 18.11.2020

33) Программа интеграции с LDAP Подсистемы «Безопасность и управление доступом» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020665531, от 27.11.2020

34) Программа управления оповещениями пользователей Подсистемы «Безопасность и управление доступом» в составе Платформы виртуальной разработки, испытаний, поддержки цифровых двойников, № 2020664727, от 18.11.2020

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ РЕЛИЗОВ ОБНОВЛЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ В 2024 Г. (ЗА ПЕРИОД ДО КОНЦА 2024 Г.)

В данной главе представлен анализ обновлений, реализованных в SPDM-системах (системах управления процессами и данными компьютерного моделирования) в течение 2024 года, а также основные тенденции их развития. Исследование сосредоточено на следующих аспектах:

- обновления функциональных возможностей зарубежных SPDM-систем, включая расширение инструментов управления моделями, интеграцию с современными CAx- и PLM-системами, внедрение новых алгоритмов автоматизации рабочих процессов и др.;
- изменения в российских SPDM-системах, направленные на развитие собственных технологий, повышение уровня импортонезависимости и удовлетворение потребностей отечественного рынка;
- итоговый анализ выявленных тенденций и приоритетов, определяющий основные направления развития SPDM-систем в 2024 году.

3.1. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей зарубежных систем в 2024 г.

В разделе представлен краткий обзор ключевых функциональных возможностей зарубежных систем, доработка которых состоялась в 2024 году. Для анализа были отобраны ведущие игроки рынка, в числе которых Ansys Inc., Cadence Inc. (BETA CAE Systems Inc.), Siemens AG, Hexagon AB, Esteco S.p.A. и др.

Результаты представлены в таблице 4, которая содержит информацию о наименовании разработчика, дате выпуска и описание обновлений. Эти данные предназначены для предоставления актуальной информации о новых релизах и ознакомления с новыми возможностями, предлагаемыми зарубежными системами для решения соответствующих задач.

Таблица 4. Сведения об обновлениях функциональных возможностей зарубежных SPDM-систем, вошедших в релизы 2024 г.

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
1. Ansys Inc., февраль – Август 2024 г.	Программный продукт: Ansys Minerva – SPDM-решение корпоративного уровня, обеспечивающее защиту критически важных данных моделирования. Minerva обеспечивает поддержку процессов моделирования и принятия решений как в локальной, так и в облачной экосистемах развертывания [55]. Версия: 2024 R1 [56] – Февраль 2024 г. Добавлены возможности: • Новый пользовательский интерфейс (UI) для работы с расчетными цепочками, включающий возможность определения маршрутов доработки, в т.ч. по определенным шаблонам (циклы/задачи/зависимости); проверка выходных данных с помощью задач-вех. • Интерфейс командной строки для работы с файлами. • Оптимизация поиска по ключевым словам, (без ручного ввода

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	знаков). Версия: 2024 R2 [57] – Февраль 2024 г. Добавлены возможности: • Управление параметрами моделирования, планами верификации и отчетностью: ○ Добавлена возможность создания отдельных документов, содержащих параметры моделирования, и управления параметрами моделирования вне файлов моделей. ○ Созданные документы могут использоваться в качестве входных файлов для анализа параметров в приложениях инженерного моделирования (Ansys optiSLang, ModelCenter, Ansys Workbench). ○ Обеспечена бесшовная интеграция планов проверки в рабочий процесс для подтверждения результатов моделирования. ○ Обеспечена проверка соответствия результатов моделирования заданным стандартам и критериям на более ранних этапах рабочего процесса. • Повышение производительности при загрузке и выгрузке данных моделирования с помощью инструмента Minerva Generic Connector Tool (доступны дополнительные команды; папки с контролем версий, использующие новую классификацию моделей, помогают управлять структурой и историей критических ревизий в проектах ПО ModelCenter или сценариях ПО STK). • Интеграция с ModelCenter и STK: ○ Minerva работает с ModelCenter и STK, оптимизируя рабочие процессы инженерного моделирования за счет интеграции управления данными, инструментов моделирования и возможностей оптимизации. ○ Вместе Minerva и ModelCenter предоставляют возможность доступа и использования данных и моделей в среде ModelCenter, улучшая автоматизацию рабочих процессов, обмен данными, оптимизацию и принятие решений. ○ Инженеры могут запускать STK непосредственно из Minerva и выполнять анализ, указывая входные и получая выходные данные и соединяя цифровые потоки с помощью множества задач системного уровня, содержащихся в едином рабочем процессе.
2. Cadence Inc. (BETA CAE Systems Inc.), январь – Октябрь 2024 г.	Программный продукт: KOMVOS – платформа управления данными компьютерного моделирования (Simulation Data Management, SDM) [58]. Версия: v23.1.4 [59] – Январь 2024 г. Устранение проблем в управлении данными в таблицах Lifecycle Graph некорректно отображались значения атрибутов (в части устройств на ОС Windows и при работе с японскими кодировками), а также конфигурации и др.

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	Версия: v24.0.2 [60] – Февраль 2024 г. Устранение проблем в конфигурации (в части бэкенда SPDRM), сценариях работы (запуск скрипта с входными аргументами) и др. Версия: v24.1.1 [61] – Март 2024 г. Устранение проблем в конфигурации (в части технологий машинного обучения), сценариях работы (действия скрипта, связанные с приложениями ANSA или META) и др. Версия: v24.1.2 [62] – Июнь 2024 г. Устранение проблем в работе графического интерфейса (GUI) (со списками объектов), управлении данными (с импортируемыми объектами), конфигурации (в части технологий машинного обучения). Версия: v24.1.3 [63] – Октябрь 2024 г. Устранение проблем в управлении данными (с фильтрами), управлении процессами (отображение переменных узлов), конфигурации (в части технологий машинного обучения). Версия: v25.0.1 [64] – Октябрь 2024 г. Устранение проблем в управлении данными (с фильтрами), конфигурации (настройки профиля). Программный продукт: SPDRM – система управления процессами, данными и ресурсами компьютерного моделирования [65]. Версия: v1.11.1 [66] – Апрель 2024 г. • Введение высокопроизводительных вычислений (HPC): задание появляется в списке «Отправленные задания» сразу после присвоения идентификатора встроенной переменной <code>_correlationId</code>. До первого обновления статуса задания, которое произойдет через <code>process.updateObservableJobs</code>, это задание будет отображаться со статусом «Dispatched». Таким образом, типичная актуальная последовательность значений статуса задания выглядит следующим образом: Dispatched -> Pending -> Running -> Finished • Введение API сценариев: появилась возможность указать значение времени выполнения для переменных рабочей цепочки и узла при инстанцировании рабочей цепочки с помощью функции сценария <code>process.instantiateWorkflow</code>. • Веб-сервисы – API: REST API SPDRM теперь поддерживает импорт и экспорт фильтров поиска в массовом порядке, через «Endpoint» <code>api/dm/dmfilters/import</code> и <code>api/dm/dmfilters/export</code> соответственно. • Конфигурация системы: в конфигурации сервера SPDRM (<code>taxis.conf</code>) появился ключ <code>purgeNodeExecSchedule</code>, позволяющий настраивать дату/время выполнения механизма очистки неиспользуемых рабочих каталогов из NodeExec, который по умолчанию запускается на сервере SPDRM каждую субботу в 3:00 утра (часовой пояс сервера). • Устранение проблем в управлении моделями данных (правила генерации отдельных свойств объектов), включая их удаление и восстановление (в системах на базе Oracle), управлении пользователями /

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	безопасности (назначение прав) и др. Версия: v1.11.2 [67] – Июль 2024 г. • Управление данными: для атрибутов с закрытым списком принимаемых значений можно связать каждое из их значений с отдельным набором ACL. Таким образом, объекты могут стать «частными» или «публичными» в зависимости от значения атрибута. • Введение API сценариев: реализована скриптовая функция <code>process.getObservableJobs</code>, которая позволяет получить все существующие наблюдаемые задания и их атрибуты. Кроме того, реализована скриптовая функция <code>process.getObserversConfiguration</code>, которая возвращает атрибуты файла <code>observers.conf</code>. • Веб-сервисы – API: REST <code>api/dm/v2/dmobjects</code> может использоваться для сортировки запрашиваемых объектов. • Конфигурация системы: добавлена возможность экспортировать и импортировать «definitions» запланированных заданий в SPDRM, что облегчает перенос конфигурации между средами SPDRM (например, <code>dev/test</code> и <code>production</code>). • Управление пользователями – безопасность: при входе в SPDRM можно выбирать имя пользователя без учета регистра. • Устранены проблемы в поиске данных (запросы альтернативных элементов на вкладке «система управления документами» в ANSA Model Browser), управлении данными (разрешение конфликтов), управления пользователями (поиск) и др. Версия: v25.0.0 [68] – Июль 2024 г. • Введено асинхронное сохранение данных из ANSA в SPDRM. Когда эта функция активна в ANSA, запись метаданных в базу данных SPDRM происходит синхронно, но фактические файлы загружаются в хранилище SPDRM асинхронно. Во время этого процесса состояние асинхронной загрузки доступно через DM Browser. • Руководители групп и проектов могут изменять модель данных SPDRM через пользовательский интерфейс, без участия системного администратора и без перезапуска сервера SPDRM. Версия поддерживает добавление, переименование и удаление свойств (первичных атрибутов) объектов данных, а также принимаемых значений свойств. В обоих случаях существующие объекты данных, затронутые изменениями, переносятся асинхронно. • Любой пользователь с ролью администратора может архивировать объекты данных вместе со связанными с ними файлами через KOMVOS. Кроме того, в пользовательском интерфейсе появилась возможность поиска архивных объектов с помощью соответствующего фильтра. Извлечение выбранных данных также возможно через рабочую область «Поиск».

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	- Предложен способ создания и загрузки предварительно сконфигурированных пакетов для микросервисов BAL (BETA Apps Launcher) и RIOС (Remote Input-Output Commands). Оба пакета можно создать и загрузить через веб-страницу администрирования SPDRM. - Новый режим установки / обновления SPDRM в докеризованных средах. Опция упрощает установку и обслуживание сервера приложений SPDRM. Версия: v1.11.3 [69] / v25.0.1 [70] – Октябрь 2024 г. - Управление данными: добавлена возможность связать определенные значения атрибута с определенными списками контроля доступа, чтобы при изменении значения атрибута видимость элемента для различных ролей пользователей адаптировалась соответствующим образом. - Возможность назначения привилегии для каждой роли для всех типов данных. - Введен новый ключ конфигурации сервера для управления максимальным числом перезаписей файлов, хранящихся в базе данных. - Устранены проблемы в поиске данных (элементы библиотеки), управлении данными (переключение статуса неиспользуемого элемента), управлении процессами (одновременное выполнение нескольких процессов) и др.
3. Siemens AG, февраль – Июль 2024 г.	Программный продукт: Teamcenter Simulation – модуль SPDM в рамках программного обеспечения Teamcenter PLM [71] (адаптируемая система управления жизненным циклом изделия, созданная на основе открытой платформы [72]). Программный продукт: Simcenter STAR-CCM+ – пакет прикладных программ для решения задач гидрогазодинамики, теплообмена и прочности, имеющий в составе средства для анализа и редактирования геометрии, средства построения сеток, большое количество физических моделей и соответствующих решателей, средства обработки и анализа результатов [73, 74]. Версия: 2402 [75, 76] – Февраль 2024 г. Представлена интеграция Design Manager в Teamcenter Simulation, которая управляет всеми входными зависимостями, а также параметрами конструкции и обеспечивает взаимосвязь с исходной геометрией, которая используется в CFD-проекте (вычислительной гидродинамики, computational fluid dynamics). Teamcenter Simulation позволяет в режиме реального времени получать актуальные данные и уведомления об изменениях геометрии, требований, параметров и т. д. от других инженерных групп, которые могут повлиять на проект. Teamcenter Simulation обеспечивает прослеживаемость между требованиями, данными проектирования и результатами моделирования. Программный продукт: Teamcenter Версия: 2406 [77] – Май 2024 г. Добавлены возможности:

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	• Применение модели-ориентированного системного инжиниринга (Model Based System Engineering, MBSE) в рабочих процессах моделирования: реализация непрерывных расчетных цепочек, в которых требования проверяются с помощью моделирования путем использования соответствующих параметров раннего проектирования и возврата смоделированных характеристик для сравнения с заданными целевыми показателями продукта. • Сравнение и автоматическое обновление CAE-моделей: сравнение структуры модели в CAE- и CAD-системах и автоматический перенос любых изменений с помощью механизма сопоставления. • Оптимизация пользовательского опыта: использование новых и расширенных функций для отслеживания и изменения данных и др. Программный продукт: Teamcenter Simulation Версия: 2406 [77] – Июль 2024 г. • Новое приложение, которое обеспечивает инженерам быструю загрузку моделей и данных о результатах в базу данных Teamcenter без необходимости знания полноценной работы в корпоративной SPDM-или PLM-системе. Специализированное приложение обеспечивает быстрый доступ к почтовому ящику пользователя с входящими запросами на анализ и прямой доступ к соответствующим объектам для получения входных файлов и выполнения работы. • Система рекомендаций по моделированию на базе искусственного интеллекта и машинного обучения (AI/ML), которая легко интегрируется с рабочими процессами проверки и запроса на моделирование. Она автоматически находит соответствующие модели (архивные), которые соответствуют тому же описанию, что и запрашиваемая модель, и ранжирует их в порядке релевантности. • Интеграция Simcenter Amesim в Teamcenter Simulation: использование управления параметрами Teamcenter в Teamcenter Simulation позволяет связать параметры запроса на моделирование с параметрами Simcenter Amesim при запуске моделирования. • Интеграция Matlab и Simulink в Teamcenter Simulation: обновленная интеграция с Matlab и Simulink, которая не только поддерживает хранение моделей Simulink и сценариев Matlab внутри объектов Teamcenter, но и обеспечивает непрерывность цифровых потоков за счет захвата входных и выходных параметров Simulink. Это позволяет запускать инструменты Simulink как часть процесса верификации. • Обновление статуса CAE-модели в Teamcenter Simulation: статус объекта в Teamcenter Simulation показывает синхронизацию (или ее отсутствие) путем проверки статуса связанных объектов в базе данных. В Teamcenter Simulation 2406 статус CAE-модели теперь предупреждает об изменениях свойств материалов и значений параметров в дополнение к другим изменениям, которые влияют на анализ CAE [78].
4. Esteco S.p.A., март – Октябрь 2024 г.	Программный продукт: Volta – цифровая платформа для управления процессами и данными моделирования (SPDM) и оптимизации [79]. Версия: 2024R1 [80] – Март 2024 г.

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	- Делегирование задач системного администратора пользователям: системные администраторы теперь могут разделить контроль над определенными задачами, чтобы обеспечить автономность пользователей или гарантировать работу в напряженные периоды или во время отсутствия (одновременно с контролем над всей системой). - Функция тестового запуска «nodes» решателя CAD/CAE в рабочем процессе modeFRONTIER теперь доступна для ABAQUS, Adams/Car, Adams/View, Ansys Workbench, AVL AST, ANSA, Simcenter Amesim, CATIA, GT-Suite, CST Studio Suite и mETA. Версия: 2024R2 [81] – Июль 2024 г. - С новой функцией «Plan services» возможно упорядочивать конфигурации нескольких запусков, определяя переменные и свойства алгоритма, которые планируется использовать для проведения экспериментов (Design of Experiments, DOE), оптимизации, обстоятельного анализа и других задач. - Добавлен новый модуль Plan в pyFRONTIER, который включает в себя полный набор API Python для управления всем жизненным циклом сеанса modeFRONTIER. - Новая бета-функция по обеспечению взаимодействия данных в VOLTA с данными из различных внешних источников, таких как PLM-системы, Google Drive и Microsoft OneDrive. Версия: 2024R3 [82] – Октябрь 2024 г. - Расширены возможности поиска на платформе: базовый поиск / поиск по содержимому элемента и отбор результатов с использованием фильтров по тегам, метаданным, типу элемента. - Новая функция создания «Команды» (Teams) для системных администраторов в VOLTA для возможности хранения, поиска, получения доступа и использования данных в соответствии с предоставленными разрешениями. - Подключение к modeFRONTIER с удаленного компьютера возможно с помощью приложения pyFRONTIER.
5. Hexagon AB, май – Ноябрь 2024 г.	Программный продукт: SimManager – система управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) [83]. Версия: 2024.1 [40] – Май 2024 г. - Новый API для управления тегами с возможностью их удаления и редактирования. - Поддержка нового типа диаграммы – диаграмма с параллельными координатами для визуализации больших наборов данных. - Введена панель «Image Compare» для сравнения изображений, связанных с исходными объектами и др. - Упрощенные выражения: реализован механизм возврата имени объекта в случае ошибки. Новый тег «sortExpr» может быть использован для задания сортировки в сложных сценариях. - Внешние службы хранилищ (External Vault Services, EVS) могут быть использованы без включения функции Multisite.

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	- Автоматизация импорта данных (задание идентификатора источника и выражение для соединения файлов, хранящихся в хранилище, с соответствующим объектом). - Поддержка Microsoft HPC Pack 2019 и Azure SQL: SimManager может быть интегрирован с системами очередей Microsoft HPC Pack 2019 и поддерживает Azure SQL Server. - Интеграция с JIRA: SimManager совместим с системой JIRA, что позволяет пользователям создавать, отслеживать и управлять запросами поддержки из интерфейса SimManager. - Действия, перенесенные в новый пользовательский интерфейс: добавление в папки, назначение классификаций, профилей и пользователей в проекты, изменение статуса проекта, копирование рабочих запросов, создание папок и комментариев, редактирование доменов и рабочих запросов, импорт и экспорт PLMXML, перемещение проектов, отправка электронной почты и др. - Система сертифицирована для работы с: - Операционными системами: RHEL 8.8, SLES 15 SP4. - Базами данных: Oracle 19.21 (Enterprise Edition), Postgres 16.1. - Сторонними приложениями: VCollab 23.3 (стандартная версия). Версия: 2024.2 [84] – Ноябрь 2024 г. - Новая функция «Ad Hoc Reporting» для оперативного создания пользовательских отчетов и доступа к данным в режиме реального времени. - Интеграция с сервисом Draw.io: - обеспечение графической аннотации изображений; - полный набор возможностей редактирования draw.io прямо с панелей управления объектами; - постоянное хранение и последующее редактирование, обеспечивающие бесперебойную совместную работу. - Новые макеты для сравнения кривых: комбинированный, сеточный и столбчатый. - Экспорт в Excel из таблиц поиска - Сочетания клавиш для быстрого доступа к домашней странице, панели инструментов, буферу обмена, всплывающим подсказкам и т. д. - Новый виджет 2D-статистики на панелях мониторинга - Предварительный просмотр прикрепленных PDF-файлов из панелей управления объектами - Назначение цвета перечислениям - Действия, перенесенные в новый пользовательский интерфейс APIP: «Создать структуру элементов» (Create Item Structure), «Назначить группы пользователей проекту» (Assign User Groups To Project), «Управление сценарием» (Scenario Management), «Добавить файл» (Add File), «Удалить объекты из папки» (Remove Objects from Folder), «Вставить из буфера обмена» (Paste from Clipboard),

Игрок (правообладатель), дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
	«Объединить с общедоступным» (Merge to Public), «Объединить из общедоступного» (Merge from Public), «Активировать процедуру» (Activate Procedure), «Зарегистрировать/записать» (Check In), «Извлечь» (Check Out), «Деактивировать процедуру» (Deactivate Procedure), «Отменить очередь размещения» (Unpublish Queue), «Отменить извлечение» (Undo Checkout). • Выборочное слияние (портал AdamsCar): возможность выбора определенных файлов / узлов дерева во время операции слияния. • Сведения о ModelComponents (связующих объектах) теперь включаются в файл structure.out во время экспорта. • Система сертифицирована для работы с: ○ Операционными системами: RHEL 9.4 ○ Сторонними приложениями: VCollab 24.2 (стандартная версия) ○ Интеграцией с Explorer: поддержка ANSA 22.1.2

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Результаты анализа зарубежных SPDM-систем позволяют выделить следующие приоритетные направления развития:

1. Интеграция с другими программными системами и платформами: обеспечение бесшовной работы с различными системами (CAx-, PLM-системы и др.) для повышения эффективности и связности рабочих процессов.
2. Управление параметрами, верификация и валидация: внедрение средств для стандартизации и контроля параметров компьютерного моделирования на основе верифицированных и валидированных моделей с целью повышения точности и надежности результатов.
3. Повышение производительности: оптимизация процессов загрузки и обработки данных для работы с увеличивающимися объемами информации.
4. Упрощение взаимодействия с системой для пользователей:
 - Улучшение графического интерфейса и создание более интуитивных рабочих инструментов и пространств.
 - Внедрение функций интеллектуального поиска для упрощения навигации по данным и проектам.
 - Автоматизация повторяющихся операций и создание мастер-процессов для снижения времени на выполнение типовых задач.
5. Улучшение пользовательского опыта (UX): акцент на адаптивные интерфейсы, которые учитывают уровень подготовки пользователей, и внедрение обучения на основе контекста для быстрого освоения функциональных возможностей.

Эти направления отражают стремление разработчиков SPDM-систем к созданию более интегрированных, надежных и производительных решений для поддержки сложных инженерных задач.

3.2. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей российских систем в 2024 г.

Раздел посвящен анализу обновлений функциональных возможностей российских SPDM-систем, в частности, определенных на основе записей в Едином реестре российских программ для ЭВМ и БД [52], релиз которых состоялся в 2024 году. Исследование проводится в целях выявления основных тенденций развития отечественного программного обеспечения и определения приоритетных направлений его совершенствования.

Для анализа обновленных функциональных возможностей были выбраны основные игроки рынка, в числе которых ФГАОУ ВО «СПбПУ» и группа компаний ComrMechLab®, Консорциум разработчиков инженерного программного обеспечения «РазвИТие» (НТЦ «АПМ», ГК АСКОН, ЭРЕМЕКС, АДЕМ, ТЕСИС, IOSO) и др. Результаты поиска и обработки данных представлены ниже в таблице 5.

Таблица 5. Сведения об обновлениях функциональных возможностей российских SPDM-систем, вошедших в релизы 2024 г.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
1	ФГАОУ ВО «СПбПУ» и группа компаний ComrMechLab®	Декабрь 2024 г.	Программный продукт: 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) [85]. Новые возможности - Платформа получила сертификат ФСТЭК на работу с документами уровня «Коммерческая тайна». - Глобальный редизайн пользовательского интерфейса в связи со сменой технологического стека. - Добавлено развертывание системы мониторинга Prometheus в поставку. - Добавлена поддержка ОС AlmaLinux 9 для серверной части платформы. - Добавлена поддержка PostgreSQL 14 и PostgreSQL 16. - Добавлена функциональная возможность ETL, корпоративного хранилища данных, интеграции с источниками данных, поддержка Apache NiFi и ClickHouse. - Интеграция запуска имитационных моделей, поддерживающая доступ к структуре хранилища через уровень представления данных платформы CML-Bench®.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			- Добавлена поддержка аналитических отчетов и витрин данных на основе Apache Superset. - Переход на Rutoken Lite, повышение стабильности работы сервера лицензий. - Реализована интеграция с сервисом проверки уникальности 3D моделей и формирование заявок на регистрацию моделей в ФИПС: отправка моделей в сервис. - Реализована страница «Внешние сервисы»: Администратор системы может самостоятельно добавлять вкладки «кастомных» внешних ссылок, необходимых пользователям конкретного окружения системы. Управление требованиями - Добавлена обработка поля «Источник» при экспорте / импорте требований в Библиотеку требований. - Регистрация требований в классификаторе при импорте требований в Библиотеку требований. - Доработана логика проверки и расширение списка «стоп-слов» для Целевых значений. - В экспорт отчета по Группе требований добавлен сбор всех вложенных объектов. - Добавлена проверка уникальности имени параметра в группе требований. - Добавлены обязательные атрибуты требования: Этап ЖЦИ, МОС, Условия. - Добавлена возможность создания нескольких значений в рамках одного требования. - История версий и статусов перенесена в атрибуты требования. - Справочник единиц измерений расширен до соответствия ОКЕИ. Управление расчетами и расчетными данными - Изменение типа ячейки Description в таблице симуляций. - Добавлена массовая ручная загрузка ключевых результатов в симуляцию. - Добавлена возможность массово перемещать симуляции. - Страница очереди. Добавлена возможность сортировки таблицы по столбцу. - Добавлена обработка ошибок, связанных с сетевой недоступностью хранилища, запрет запуска расчетов при недоступности хранилища. - Добавлена функциональная возможность работы с несколькими хранилищами.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			• Расширено логирование процесса запуска задач. • Добавлена возможность выгрузки одной субмодели из таблицы. • Добавлен экспорт истории подзадач в Очереди. • Локализация статусов целевого значения в версиях. • Локализация статусов флага объекта на странице Мультиварианты. • Локализованы статусы целевого значения. • Исключена возможность изменения типа для кластера по умолчанию с Bench на Slurm. • Добавлено копирование значений дополнительных полей при клонировании Субмоделей и Экспериментов. Документы • Документы в статусе «Согласовано» открываются в режиме просмотра через OnlyOffice. Согласования • Добавлено поле «Группа ответственных» в конфигурацию заданий – указанные группы пользователей получают оповещения по всем заданиям, созданным по данной конфигурации. • Реализация последовательного согласования, выбора типа согласования и поля ссылки на документ для всех типов объектов. Управление заданиями • Автоматическое присвоение имени при создании согласования. Безопасность • Реализованы сервисы информационной безопасности (ИБ) – сервис аутентификации; сервис управления правами пользователей, сервис взаимодействия с LDAP. • Разделены статусы блокировки и устаревания аккаунтов. • Выполнена интеграция Keycloak с CML-Bench®. • В сервис AccessRights добавлена валидация параметров конфигурации. • Вывод идентификаторов и типов объектов в лог по типам событий безопасности. • Реализована возможность настройки объема информации, фиксируемой сервисом Security-events.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			• Реализована возможность управления временем хранения логов и ротацию в сервисе Security-events. • Реализовано логирование событий для всех типов учетных записей в лог сервиса Security-events. • Реализован шаблон Circuit Breaker. • Реализована поддержка CSRF токена. • Реализованы дополнительные конечные точки в API-Gateway. • Реализована работа сервисов ИБ с ServiceDiscovery. • Добавлен swagger во все проекты сервисов ИБ. • Добавлены механизмы Import/Export для Accounts. • В новые сервисы (ИБ) добавлена возможность проверки healthcheck. • Добавлена возможность проксирования запросов из Api-Gateway в сервисы. • Добавлена поддержка https протокола. Производительность • Исправлена долгая загрузка страниц блока Flow на страницах Цифрового макета, Мультиварианта, Сториборда, Очереди и др. Разное • Динамическое изменение ширины столбцов в таблицах с запоминанием установленной ширины. • Виртуальные датчики – добавлено отображение имени и списка слоев датчика. • В окно выбора пути добавлен поиск по дереву. • Глобальный переход на Ansible 2.14. • Обновлена версия NodeJS. • Добавлено отображение количества прикрепленных файлов на «скрепке». • Реализован механизм feature флагов для организации единой ветки разработки. • Реализована страница ссылок на внешние ресурсы и функциональная возможность самостоятельного добавления Администратором кастомизированных ссылок. • Актуализированы версии библиотек для elegans. • Core / добавить использование библиотеки lombok. • Изменен тип ячейки Состояние в таблице согласований. • Добавлено отображение количества комментариев на флаге состояния. • Унификация пользователей по имени.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			• Изменена форма авторизации и восстановления пароля. • Автоматическая прокрутка до выделенного узла в дереве. • Изменен дизайн иконок и бокового меню. • Добавлен новый столбец для предпросмотра прикрепленных файлов. • Добавлена форма для загрузки файлов с помощью DragAndDrop. • Локализация пользовательского интерфейса доведена до 100%. • Встроено отображение статуса 404 для периода технических работ в системе. • Завершена поддержка технологии MultiSide. А также более 75 устраненных неполадок в работе системы (зависание некоторых расчетов, дефект с предоставлением доступа к результатам эксперимента в AD-шаре, дефекты прав на сервис виртуальных датчиков и др.).
2	Консорциум разработчиков инженерного программного обеспечения «РазВИ-Тие»	Октябрь 2024 г.	Новые SPDM-решения для управления расчетными данными и результатами испытаний: IOSO – инструментарий управления расчетами – SPDM. Функциональные возможности [86]: • Единый интерфейс, объединяющий возможности программ IOSO NM, IOSO PM и IOSO Approximation по управлению расчетами, процедурам последовательной и распараллеленной оптимизации и аппроксимации. • Двухуровневое моделирование – подключение аппроксимационной модели к физической модели проекта, ее дообучение на новых данных, сравнения результатов расчета физической и аппроксимационной моделей, переключение расчетов между моделями. • Интеграция IOSO 4 с системой управления инженерными данными и жизненным циклом изделия ЛОЦ-МАН:PLM. • Доступ к расчетным данным и инструментам (пре/постпроцессорам, решателям) в единой среде. • Управление расчетными данными. • Автоматизированное сохранение результатов расчета. • Интеграция в состав расчетных проектов дополнительных расчетных кодов, в том числе корпоративных, без элементов программирования и участия разработчиков (элементы low-code / no-code).

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			• Управление удаленными вычислениями на многопроцессорных вычислительных кластерах под управлением ОС Linux через SSH-соединение. • Многозадачный режим работы программы и многопользовательское использование IOSO Agent на удаленных компьютерах, включая суперкомпьютеры с целью создания единого информационного пространства выполнения расчетов. • Многоэкранный режим построения графиков, гистограмм. • Возможность осуществления общего доступа к результатам рассчитываемой задачи. • Поддержка параллельных вычислений для Linux кластеров. • Прямая интеграция с Kompas-3D, Python 3.8, Concepts NREC Turboopt II, ANSYS WB2, FLOW-3D, FlowVision, SolidWorks, Mathcad, MatLab, Excel. • Возможность задания дискретных параметров для задач оптимизации. • Работа с файлами XML-формата.
3	ООО «ИТ Плюс»	Апрель 2024 г.	Программный продукт: Модуль прогностики – комплекс программных средств для инженерного моделирования и диагностики развития неисправности, режимов работы и прогнозирования изменения технического состояния, автоматизации процессов аналитики и отчетности на тепловых электрических станциях. Функциональные возможности (система зарегистрирована в реестре российского программного обеспечения в 2024 г.) [87]: • Регистрация технологических параметров, отражающих действительное состояние установки с возможно развивающимися дефектами, в режиме реального времени по данным телеметрии. • Расчет модельных значений диагностических параметров. • Выявление дефектов на ранней стадии при помощи классификатора дефектов и базы экспертных правил; при выявлении дефекта выводится предупредительное сообщение (аларм) и/или информация об аларме отправляется в АСУТП. • Интегральная оценка состояния установки при помощи показателя «Индекс технического состояния».
4	ООО «Лаборатория Корпоративного Сопровождения»	Июль 2024 г.	Программный продукт: Система ArhiForecast прогнозирования спроса – инструмент для прогнозирования, разработанный на базе продвинутых методов анализа временных рядов и машинного обучения.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			Функциональные возможности (система зарегистрирована в реестре российского программного обеспечения в 2024 г.) [88]: • Анализ временных рядов. Продвинутое алгоритмы анализа временных рядов позволяют выявить закономерности, тренды, циклы и спрогнозировать будущие значения на основе исторических данных с применением моделей машинного обучения. • Модели машинного обучения. Модели машинного обучения автоматически адаптируются к изменяющимся условиям и трендам в исходных данных без необходимости ручной настройки, а также позволяют учесть более сложные взаимосвязи в данных между различными факторами. • Использование сторонних моделей. Функционал инструмента может быть значительно расширен пользовательскими моделями или моделями, полученными из сторонних источников. • Управление обученными моделями. Удобные интерфейсы для хранения, управления и оркестрации моделями позволяют пользователю значительно упростить и ускорить настройку архитектуры моделей.
5	ООО «ЮБИТЕЛ»	Июнь 2024 г.	Программный продукт: Программная платформа моделирования сетей 3GPP / IEEE системного уровня – многоцелевая платформа моделирования телекоммуникационных систем с интегрированными библиотеками искусственного интеллекта [89]. Функциональные возможности (система зарегистрирована в реестре российского программного обеспечения в 2024 г.) [90]: • Моделирование физического уровня при передаче сигналов OFDM/SCFDMA и интерференции между такими сигналами. • Поддержка стохастических моделей в соответствии со спецификациями 3GPP, многолучевых и пространственно-временных моделей каналов. • Принятие решения о декодировании или сбросе пакета для различных MAC протоколов с возможностью различения шума и интерференции, учет разметки подканалов OFDM. • Поддержка и учет 3D-диаграмм направленности для моделирования формирования луча антенных решеток. • Поддержка формирования луча (beamforming), в том числе для работы в режиме MIMO, поддержка handover в рамках одной радиотехнологии.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			• Формирование скорректированных версий канала, исходя из взаимного расположения антенн для моделирования MIMO систем. • Работа планировщика по алгоритму proportional fair и другим алгоритмам; • Управление ресурсами и контроль событий во время процесса моделирования. • Ведение статистики, работу счетчика событий, работу подсистемы ведения логов (регистрации событий). • Управление всеми сетевыми узлами системы во время моделирования; поддержка функций управления мобильностью согласно стандартным алгоритмам 3GPP. • Поддержка концепции сети доступа на множественных радио технологиях. • Поддержка базового набора процедур работы БС и абонента на MAC уровне; • Поддержка инструментов статистического анализа: репликационное моделирование (Replication modeling), анализ Monte-Carlo, постройка гистограмм и оценка дисперсии для аккумулирующих счетчиков. • Работа инструментов отладки сигнальных процессов, сбор временных диаграмм в VCD файл. Функциональные модули: • Модуль планирования событий и системы очередей – отвечает за планирование событий в системе. • Модуль создания и конфигурации узлов – отвечает за создание узлов и настройку маршрутизации пакетов. • Модуль параметризации интерфейсов – отвечает за создание связей между • различными интерфейсами, контроль за отправкой и получением пакетов. • Модуль абстракции физического уровня – предоставляет классы для описания моделируемых физических процессов. • Модуль параметризации генератора трафика – отвечает за генерацию пакетов и сбор статистики об отправке пакетов. • Модуль конфигурации моделей мобильности – отвечает за настройку моделей перемещения узлов. • Модуль конфигурации диаграммы направленности антенн – предоставляет классы для задания параметров антенн разных типов, в том числе и пользовательских. • Модуль сбора статистики – отвечает за сбор статистики по работе системы моделирования, по передаче пакетов и работе узлов.

№	Игрок	Дата релиза	Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)
			- Модуль визуализации данных из статистики – отвечает за получение выходных данных в виде, удобном для визуализации. - Модуль интеграции с БД – отвечает за связь с БД и сохранение данных об экспериментах.
6	ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ» (Симулятор ОПЗ)	Июль 2024 г.	Программный продукт: Симулятор ОПЗ – программа для проектирования оптимальных дизайнов кислотной обработки призабойной зоны пласта (ПЗП) в сложнопостроенных коллекторах [91]. Функциональные возможности (система зарегистрирована в реестре российского программного обеспечения в 2024 г.) [92]: - Моделирование растворения минералов породы кислотой с учетом гидродинамических процессов, происходящих в поровом и трещинно-поровом пространстве породы коллектора, интерактивные инструменты построения модели призабойной зоны пласта (ПЗП). - Оптимизация дизайна закачки путем варьирования дизайна ОПЗ и оценки технологического и экономического эффекта на основе моделирования. - Произвольное количество слоев, минералов, реагентов; экспресс (2D) и полное 3D-моделирование (с учетом естественной трещиноватости). - Учет отклонителей, стабилизаторов, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и пр.; - Учет особенностей терригенных и карбонатных коллекторов. - Учет различных конструкций скважины и вариантов заканчивания (в том числе с гидравлическим разрывом пласта (ГРП)). - Встроенная база данных минералов, жидкостей (кислоты, отклонители), реакций, содержащая в себе результаты лабораторных исследований, моделирование лабораторных экспериментов, формирование отчетов в общепринятых форматах.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

В рамках настоящего подраздела необходимо отметить, что флагманом развития направления SPDM на российском рынке является Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® [85], разработанная ИЦ ЦИ «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ. В то же время, в 2024 г. в состав Единого реестра российских программ для ЭВМ и БД вошел ряд продуктов, обозначенных как «системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)» по дополнительному классу ПО, но фактически в большей степени относящихся к специализированному отраслевому программному обеспечению и более широкой области средств математического моделирования.

За 2023-2024 годы существенно расширены возможности совместимости цифровой платформы **CML-Bench®** с отечественным инженерным программным обеспечением [93]. Так, по состоянию на февраль 2022 года платформа включала 110 программных систем и модулей, в то время как по состоянию на август 2024-го платформа насчитывает более **170 интегрированных программных систем и модулей**. В их числе — отечественные разработки ООО «Тесис» (FlowVision), ООО «Фидесис» (CAE Fidesys), ООО «Вычислительная механика» (Универсальный механизм), ООО «Тор» (ELCUT), ООО «Кванторформ» (QForm) и др. Например, на цифровую платформу **CML-Bench®** интегрирована одна из самых популярных отечественных программных систем для моделирования электромагнитных полей и решения задач электродинамики — ELCUT версии 6.6. Кроме того, запланирована интеграция **CML-Bench®** с SimInTech (разработка ООО «ЗВ Сервис») и с CAE-системами платформы мультидисциплинарного анализа «ЛОГОС» (разработка ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Госкорпорация «Росатом»), такими как ЛОГОС Тепло, ЛОГОС Прочность, ЛОГОС Аэро-гидро [93].

По состоянию на конец 2024 г. российские системы управления процессами и данными компьютерного моделирования адаптируются для решения конкретных отраслевых задач, в т.ч. разрабатываются дополнительные функциональные модули. В частности, Цифровая платформа CML-Bench® неоднократно проходила отраслевую кастомизацию в процессе выполнения наукоемких проектов в интересах промышленных партнеров и разработок государственного значения. За 2024 г. на базе цифровой платформы CML-Bench® были разработаны цифровые (виртуальные) испытательные стенды (ВИС) и цифровые (виртуальные) испытательные полигоны для множества отраслей, в числе которых авиа- и двигателестроение, отрасль беспилотных авиационных систем (БАС), атомное машиностроение, железнодорожного машиностроения и др. В ближайшие годы на базе цифровой платформы CML-Bench® также планируется совершенствование новых методик и подходов к проектированию сложной наукоемкой техники, комплексная интеграция виртуальных испытательных стендов с целью развития технологии цифровых двойников изделий. Дальнейшая оптимизация функциональных возможностей системы будет включать:

- Развитие системы хранения и обмена данными результатов мультидисциплинарных расчетов.
- Совершенствование методов анализа результатов моделирования с использованием технологий машинного обучения.
- Интеграцию инструментов анализа видов и последствий потенциальных отказов конструкции, а также анализа стоимости жизненного цикла конструкции.
- Уточнение матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений.

Консорциум разработчиков инженерного программного обеспечения «РазВИТие» сформирован для создания сквозного полнофункционального PLM-комплекса, таким образом разработка и оптимизация инструментария управления расчетами также входит в планы развития функциональности входящих в контур консорциума систем.

3.3. Заключение о тенденциях и приоритетах развития зарубежных и отечественных систем в 2024 г.

По состоянию на 2024 г. приоритетами развития как зарубежных, так и отечественных SPDM-систем являются следующие направления:

- Интеграция данных систем со смежным программным обеспечением, обеспечение совместимости форматов, бесшовной передачи данных.
- Оптимизация пользовательского опыта (упрощение поиска, графические интерфейсы, low-code / no-code).

При этом необходимо отметить, что разработчики систем, лидирующих на мировом рынке SPDM, преимущественно фокусируются на доработке / оптимизации существующих функциональных возможностей, а также на устранении обнаруженных в процессе применения проблем и неполадок.

1. Компания Ansys упрощает и повышает надежность работы с расчетными цепочками, а также фокусируется на обеспечении совместимости SPDM-системы Ansys Minerva с другими продуктами.
2. Разработчики Beta CAE SPDRM / Beta CAE KOMVOS (в 2024 г. компания поглощена одним из мировых лидеров в области для автоматизации проектирования электронных устройств и предоставления инженерных услуг – Cadence; продукты продолжают поддерживаться и развиваться) проводят точечную оптимизацию в части управления данными и управления пользователями, а также фокусируются на устранении неполадок.
3. Siemens акцентирует внимание на оптимизации работы SPDM-модулей Teamcenter Simulation, преимущественно через интеграцию с другими приложениями, развитие приложения для загрузки моделей и развитие рекомендательной системы на основе машинного обучения.
4. Компания Esteco переходит к делегированию пользователям части задач системных администраторов и обеспечивает бесшовную интеграцию SPDM-системы Volta с внешними источниками данных.
5. Hexagon фокусируется на оптимизации пользовательского интерфейса SimManager и генератора моделирования, а также на обеспечении совместимости SimManager с другими платформами и системами.

На основе сравнения релизов российских и зарубежных вендоров, можно утверждать, что зарубежные решения, как более полноценные по отношению к целевой SPDM-системе, подвергаются менее значительным изменениям, в основном направленным на оптимизацию существующих возможностей. В свою очередь российские системы находятся в иной рыночной ситуации и наращивают функциональные возможности, активно добавляя специализированные программные модули.

Российские SPDM-системы по состоянию на конец 2024 г. начинают использоваться во все большем числе отраслей благодаря государственной поддержке и внедрению новых возможностей. Так, например, на базе цифровой платформы CML-Bench® предусмотрено развитие системы построения цифровых (виртуальных) испытательных стендов и полигонов (ВИС и ВИП), проведение цифровых испытаний элементов беспилотных летательных аппаратов на базе единой цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников БАС, включая работы по созданию модульной архитектуры и адаптации функциональных модулей платформы и др. [94]. Выполнение работ осуществляется в соответствии с контрактом с АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» и напрямую связано п. 2.4. плана мероприятий Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 г. (создание и развитие отечественной цифровой платформы в целях оптимизации методик проектирования беспилотных авиационных систем и их компонентов).

Необходимо отметить, что в реестр российского программного обеспечения в рассматриваемом году вошел ряд систем, обозначенных как SPDM, но при этом, скорее, фокусирующихся на решении узкоспециализированных отраслевых задач из сферы логистики, энергетики, нефтегазодобычи и моделирования сетей: ООО «ИТ Плюс» (Модуль прогностики), ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ» (Симулятор ОПЗ), ООО «ЮБИТЕЛ» (Программная платформа моделирования сетей 3GPP / IEEE системного уровня) и ООО «Лаборатория Корпоративного Сопровождения» (Система ArhiForecast прогнозирования спроса).

Согласно дорожной карте развития высокотехнологичной области «Новое индустриальное программное обеспечение» до 2030 г., развитие отечественных SPDM-систем будет продолжать оставаться в числе приоритетов национального уровня, что связано с растущими требованиями к интеграции данных и автоматизации процессов в условиях увеличения сложности проектируемых изделий.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИЙ, СДЕЛОК M&A И ПРОЕКТОВ КООПЕРАЦИИ В РОССИИ, И В МИРЕ

В рамках настоящего раздела рассматриваются инвестиции, сделки M&A и проекты кооперации в области систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) в России и в мире, а также планы по развитию SPDM-систем в России.

4.1. Слияния и поглощения разработчиков SPDM-систем в мире по состоянию на конец 2024 г.

Настоящий подраздел посвящен анализу слияний и поглощений разработчиков SPDM-систем в мире по состоянию на конец 2024 г. При этом в рамках данного подраздела прежде всего рассматриваются последние актуальные действия компаний-лидеров мирового рынка, отражающие их текущую стратегию. В частности, актуализируется, уточняется и дополняется описанием функциональных изменений в SPDM-продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитических докладах «Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем) [95]» и продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитическом докладе «Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем) [96]», подготовленных специалистами Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по состоянию на март 2024 г. Необходимо отметить также, что SPDM-системы являются достаточно узким сегментом более широкого рынка программного обеспечения для компьютерного моделирования и анализа, и компании-вендоры, лидирующие в данном сегменте, преимущественно предоставляют комплексные платформенные решения и программные продукты.

Сведения о слияниях и поглощениях разработчиков систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) в мире по состоянию на конец 2024 г. представлены в Таблице 6.

Таблица 6. Сведения о слияниях и поглощениях разработчиков систем в мире по состоянию на конец 2024 г.

№	Наименование компании разработчика	Год	Наименование приобретенной компании	Сумма сделки	Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки
1	Cadence [97]	2024	BETA CAE [98]	~1,24 млрд долл. [99]	Дополнение портфеля продуктов Intelligent System Design [100], расширение набора инструментов для анализа мультифизических систем, в т.ч. за счет ПО для управления процессами и данными компьютерного моделирования – Beta CAE SPDRM® [101]
2	Ansys	2022	OnScale	Н/Д	После интеграции в существующий облачный портфель Ansys. Onscale

№	Наименование компании разработчика	Год	Наименование приобретенной компании	Сумма сделки	Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки
					поможет обеспечить облачный веб-интерфейс (UI) для независимого от устройств доступа к широкому спектру технологий моделирования Ansys. Технология OnScale также будет поддерживать платформу-ориентированный подход Ansys к созданию нового класса приложений [102]
3	Ansys	2021	Phoenix Integration, Inc.	Н/Д	Приобретение компании Phoenix Integration, Inc., ведущего поставщика программного обеспечения для разработки моделей и модели-ориентированного системного инжиниринга (MBSE) расширит спектр предлагаемых Ansys решений, позволяя пользователям объединять различные инженерные инструменты в многофункциональные рабочие процессы для широкого и надежного проектирования на основе моделей ModelCenter от Phoenix Integration – это вендор-независимая платформа, которая позволяет инженерам создавать и автоматизировать многоинструментальные рабочие процессы, обеспечивая повышенную гибкость при решении сложных инженерных задач и, в конечном счете, реализуя потенциал модельно-ориентированного системного инжиниринга [103]
4	Altair	2023	OmniV (XLDyn)	Н/Д	Приобретение технологии OmniV, разработанной компанией XLDyn, расширяет возможности открытой практики модели-ориентированного системного инжиниринга (MBSE) в области систем, моделирования, испытаний, разработки изделий и управления процессом разработки, формализуя разработку, интеграцию и использование моделей для принятия обоснованных решений OmniV устраняет разделение между высокоуровневым системным моделированием и моделированием на уровне продукта. OmniV не зависит от производителя и может подключаться к различным хранилищам данных предприятия и методам проверки и подтверждения, в том числе

№	Наименование компании разработчика	Год	Наименование приобретенной компании	Сумма сделки	Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки
					от сторонних поставщиков, для поддержки программных целей. OmniV объединяет междоменную деятельность по разработке продуктов с использованием методологии MBSE в полностью интегрированный и простой в использовании инструмент [104]
5	Dassault Systèmes	2020	NuoDB	Н/Д	Поглощение Dassault Systèmes американской компании NuoDB позволяет расширить возможности облачной платформы компании. Главным продуктом приобретенной компании NuoDB является распределенная база данных SQL, использующая конкурентные преимущества облачных сред, обеспечивающая масштабируемость по требованию, постоянную доступность, согласованность транзакций и высокую надежность, которая требуется от критически важных приложений [105]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Слияния и поглощения, наблюдаемые в области систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM), свидетельствуют о существенном внимании лидеров рынка к модельно-ориентированному системному инжинирингу, а также о распространении облачных платформ для работы с данными инженерного анализа.

4.2. Проекты кооперации российских разработчиков

Настоящий подраздел посвящен анализу кооперации российских разработчиков SPDM-систем по состоянию на конец 2024 г. В рамках данного подраздела прежде всего рассматриваются последние актуальные действия компаний – лидеров российского рынка. В частности, актуализируется, уточняется и дополняется описанием функциональных изменений в SPDM-продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитических докладах «Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем)» и продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитическом докладе «Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем)», подготовленных специалистами Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по состоянию на март 2024 г. Ключевые данные о проектах кооперации российских разработчиков систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) и заключенных между ними соглашениях по состоянию на конец 2024 г. сведены в Таблицу 7.

Таблица 7. Перечень проектов кооперации российских разработчиков

№	Наименование консорциума	Год создания	Участники	Цель	Результаты (при наличии)
1	Консорциум разработчиков инженерного программного обеспечения «РазВИТие»	2015	Команда: ГК АСКОН, ООО «ТЕСИС», ООО «ЭРЕМЕКС», ГК АДЕМ, ООО НТЦ «АПМ», ЗАО «СИГМА Технологии». Партнеры: ООО «Ладуга», ЗАО «Си Проект», АО «Цифровая мануфактура»	Цель: на основе собственного геометрического ядра собрать сквозной полнофункциональный PLM-комплекс, который сможет конкурировать с западными разработками	Созданы SPDM-решения для управления расчетными данными и результатами испытаний
2	Группа компаний «ПЛМ Урал», ведущий российский интегратор передовых CAD/CAM/CAE/CAI/PDM/PLM-систем, и ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®) подписали соглашение о дистрибуции программного продукта – Цифровой платформы (ЦП) по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench [106]	2024	Группа компаний «ПЛМ Урал», ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®)	Сотрудничество позволит предложить заказчикам из различных отраслей промышленности отечественное решение – SPDM-систему управления деятельностью в области системного цифрового инжиниринга, цифровую платформу, позволяющую в кратчайшие сроки разрабатывать и выводить на рынок конкурентоспособные высокотехнологичные изделия.	Н/Д
3	Соглашение о Сотрудничестве «Аскон» и Datadvance	2023	ГК АСКОН, Datadvance	Создание SPDM-решения для управления данными цифровых испытаний. Проект включает	Совместное SPDM-решение реализовано путем интеграции системы управления

№	Наименование консорциума	Год создания	Участники	Цель	Результаты (при наличии)
				интеграцию системы управления инженерными данными с облачной платформой pSeven Enterprise, что позволит автоматизировать инженерные расчеты на уровне всего предприятия.	инженерными данными и жизненным циклом изделия ЛОЦ-МАН:PLM, имеющей 20-летний опыт применения в промышленности, и облачной low-code платформы pSeven Enterprise для автоматизации инженерных расчетов в масштабах всего предприятия. Оба продукта включены в Реестр российского программного обеспечения [107]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) являются достаточно узким сегментом инженерного программного обеспечения и, как правило, интегрируются как модуль в платформу более широкого типа. При этом необходимо отметить, что в последние годы возникают новые кооперационные проекты, направленные как на интеграцию и доработку существующих решений под конкретные отраслевые задачи, так и на создание новых продуктов в сфере SPDM.

4.3. Планы по развитию SPDM-систем в России

Настоящий подраздел посвящен анализу планов по развитию SPDM-систем в России по состоянию на конец 2024 г. В рамках данного подраздела прежде всего рассматриваются последние актуальные действия компаний – лидеров российского рынка. В частности, актуализируется, уточняется и дополняется описанием функциональных изменений в SPDM-продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитических докладах «Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем) [95]» и продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитическом докладе «Функциональные характеристики

отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем) [96]», подготовленных специалистами Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по состоянию на март 2024 г.

Сведения о планировании развития систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) отечественными разработчиками по состоянию на конец 2024 г. представлены в Таблице 8.

Таблица 8. Планирование развития систем отечественными разработчиками

№	Наименование разработчика	Описание
1	ООО Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab®)	В рамках развития цифровой платформы CML-Bench® расширяются ее функциональные возможности. Применение цифровой платформы CML-Bench® в процессе подготовки высококвалифицированных инженерных кадров в Передовой инженерной школе СПбПУ «Цифровой инжиниринг» способствует повышению эффективности процесса подготовки востребованных инженеров, обладающих компетенциями мирового уровня («инженерного спецназа») в ходе выполнения НИОКР и решения фронтальных инженерных задач, а также обеспечивает тиражирование лучших подходов к проектированию сложных технических систем. Расширение спектра применяемых CAx- и PLM-решений отечественных разработчиков путем интеграции на цифровой платформе, безусловно, ускорит процесс внедрения цифровой платформы CML-Bench на отечественные предприятия, а возможность обработки защищенной информации снимет ограничения при работе с оборонно-промышленным комплексом. Приведенные задачи успешно реализуются в рамках шести направлений стратегического развития цифровой платформы CML-Bench®: 1. Развитие базового функционала цифровой платформы CML-Bench®. 2. Сертификация средств защиты во ФСТЭК. 3. Миграция данных – в первую очередь с платформы Siemens Teamcenter. 4. Интеграция с отечественным инженерным ПО (CAx-системы) – в настоящее время к цифровой платформе подключено более 150 лицензий и версий CAx-систем, а также In-House ПО различных компаний. 5. Отраслевая кастомизация и расширение сфер применения цифровой платформы. 6. Формирование академических лицензий, создание учебно-методических комплексов [108]. Развитие цифровой платформы CML-Bench® соответствует национальным целям достижения технологического суверенитета и технологического лидерства и предусматривает интеграцию с программным обеспечением российских разработчиков, таких как «Аскон», «Тесис» (FlowVision), «Фидесис» (CAE Fidesys), «Вычислительная механика» (Универсальный механизм), «Тор» (ELCUT), «Кванторформ» (QForm). В ближайшее время планируется интеграция с программными продуктами АРМ WinMachine (ООО «НТЦ «АПМ»), CAE-платформой «ЛОГОС» разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и рядом других отечественных программных систем компьютерного инжиниринга [109].

№	Наименование разработчика	Описание
2	«Росатом»	«Росатом» разрабатывает PLM-систему САРУС, которая интегрирует различные инструменты для управления проектами и данными. В дальнейшие планы входит интеграция с платформой САРУС промышленных решений, создаваемых в дивизионах ГК «Росатом» – sPDM [110].

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Нормативно-правовые документы, используемые в процессе разработки и(или) улучшения программного обеспечения:

- ГОСТ 2.XXX Единая система конструкторской документации (ЕСКД).
- ГОСТ 3.XXX Единая система технологической документации (ЕСТД).
- ГОСТ 21.XXX-XX Система проектной документации для строительства (СПДС).
- ГОСТ 19.XXX Единая система программной документации (ЕСПД).
- ГОСТ 34.XXX Разработка автоматизированной системы управления (АСУ).
- ISO 10303 (ГОСТ Р ИСО 10303-2022 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными).
- ISO 12207 (ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств).
- СП 328.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели.
- СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.
- СП 404.1325800.2018 Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования.
- ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.
- ГОСТ Р 51904–2002 Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию.
- ГОСТ Р 56939-2016 Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования. [95]

ГЛАВА 5. ОБЗОР НОВЫХ КРУПНЫХ ПРОЕКТОВ В РОССИИ И В МИРЕ

Современные компании внедряют системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) для обеспечения прослеживаемости данных и уменьшения времени, необходимого для проектирования в целом. В рамках текущего раздела рассматриваются новые крупные проекты в области SPDM в России и мире.

5.1. Проекты в России

В рамках работы над данным разделом необходимо учитывать, что SPDM-системы являются относительно молодым типом программного обеспечения (на мировом рынке первые коммерческие системы управления процессами и данными компьютерного моделирования появились в 2000 г. [53]) При этом в России до 2022 г. преимущественно использовались комплексные решения, предоставляемые зарубежными вендорами. Флагманом развития направления SPDM на российском рынке является Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® [85], разработанная ИЦ ЦИ «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ. Соответственно, ключевые отечественные проекты в рассматриваемой области так или иначе связаны с вышеуказанной платформой. В частности, функциональные возможности CML-Bench используются в ядре системы «УРАНИЯ», внедряемой на предприятиях ГК «Росатом» (Таблица 9).

Таблица 9. Обзор крупных проектов в России

№	Наименование проекта	Участники проекта	Годы реализации	Цель и планы
1	Импортозамещение SPDM-системы [111, 112]	Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ и АО «ОКБМ Африкантов» (входит в госкорпорацию «Росатом»)	2024	Цель: переход с Ansys EKM на Уранию Планы: - Сравнение функционала Ansys EKM на Урании. - Внедрение SPDM-системы Урания. - Интеграция с платформой анализа данных и оптимизации pSeven.
2	Ввод в эксплуатацию системы управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «Урания» [113, 114]	Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ и АО «Прорыв» (входит в госкорпорацию «Росатом»)	2024	Цель: повышение прозрачности и управляемости расчетных и экспериментальных исследований. Планы: - Максимальный перевод натурных испытаний, применяемых в атомной промышленности, в цифровую среду и повышение эффективности расчетных и экспериментальных обоснований. - Увеличение оперативности анализа результатов расчетов на интегральных математических моделях

№	Наименование проекта	Участники проекта	Годы реализации	Цель и планы
				энергоблоков благодаря «Урании» на 20–30%.
3	Внедрения платформы CML-Bench [115, 116]	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ и ПАО «ОДК-Сатурн»	2021-2023	Цель: выполнения НИР «Исследовательские работы по разработке экспериментальной технологии создания цифрового двойника морского газотурбинного двигателя и редуктора в составе агрегата» Планы: Создана под нужды ПАО «ОДК-Сатурн» и внедрена в производственные процессы предприятия единая цифровая среда, обеспечивающая прозрачность процессов проектирования, а также автоматизацию расчетных процессов на базе Цифровой платформы разработки и применения цифровых двойников CML-Bench®.
4	Создание Автоматизированной системы цифрового инжиниринга на базе платформы CML-Bench [117]	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг» СПбПУ и ООО «Центротех-Инжиниринг» (входит в контур управления топливной компании «ТВЭЛ» госкорпорации «Росатом»)	2022	Цель: экономия трудозатрат и сокращение сроков подготовки и проведения мультидисциплинарных компьютерных исследований; сокращение времени процессов за счет автоматизации бизнес-процессов; повышение производительности труда и обеспечение всех уровней управления актуальными отчетами о состоянии проектов по моделированию физико-механических процессов и разработке высокотехнологичных изделий. Планы: - Интеграция CML-Bench с ПО компьютерного моделирования. - Проведение предварительных испытаний.
5	Внедрения SPDM системы [118]	ANSYS и АО «ОКБМ Африкантов»	2019	Цель: совершенствования процесса сквозного проектирования в интересах ядерного энергетического комплекса. Планы: Стандартизация типовых расчетных процессов с последующей автоматизацией их проведения. Решение данной задачи позволит существенно упростить и ускорить

№	Наименование проекта	Участники проекта	Годы реализации	Цель и планы
				проведение стандартных расчетов, повысить устойчивость к ошибкам их выполнения за счет уменьшения влияния человеческого фактора. • Централизованное размещение и унификация доступа пользователей к расчетным процессам. Данное решение позволит управлять версионной актуализацией, контролем доступа и своевременным информированием сотрудников о новых программных решениях. • Унификация протоколов представления и хранения расчетных данных позволит выстраивать потоки данных, осуществлять управление механизмами интеграции различных решателей при создании междисциплинарных расчетов и обеспечить централизованное хранение расчетных данных проектов. • Создание и управление сложными сопряженными расчетами на базе коммерческих решателей и кодов собственной разработки. • Автоматизация процесса решения задач на высокопроизводительных вычислительных серверах позволит оптимизировать процедуру постановки задачи в очередь вычислительного сервера с последующим отслеживанием и управлением процессом решения задачи. • Систематизация и своевременная актуализация кодов собственной разработки для различных вычислительных платформ предприятия. Решение данной задачи состоит в стандартизации пре-постпроцессорной обработки данных, в управлении процедурами модификации и развития программных средств собственной разработки, а также в централизованном хранении исходных кодов, технической документации и верификационных тестов.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Как уже было сказано выше, лидером российского рынка и флагманом развития систем управления процессами и данными компьютерного моделирования является Цифровая платформа по

разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. Ключевые проекты при этом связаны с актуализацией, доработкой и адаптацией вышеуказанной платформы под требования конкретных предприятий и отраслей.

Кейс: разработка динамического компрессора низкого давления разделительно-сублиматного комплекса в интересах предприятий атомного машиностроения с применением Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®[119]

Проект реализован в 2023 году, задача состояла в разработке динамического компрессора низкого давления разделительно-сублиматного комплекса в интересах предприятий атомного машиностроения. Особенность проекта заключалась в замещении изделия советской разработки с учетом многолетнего опыта эксплуатации изделия на реальном производстве. Результатом работы стал разработанный и изготовленный опытный образец компрессора новой конструкции.

Для этого работа была разбита на следующие этапы: создание цифрового двойника исходного изделия, разработка цифрового двойника новой конструкции изделия, создание необходимой документации на основе эскизных моделей, разработанных с помощью цифрового двойника изделия, изготовление опытного образца и, в конечном счете, проведение натурных испытаний. Разработка цифрового двойника нового компрессора заняла шесть месяцев. Работа полностью проводилась на цифровой платформе по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® в соответствии с процессом, приведенным на рис. 7.

Рисунок 7. Процесс создания цифрового двойника



Источник: ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»

В ходе проекта на основе технического задания была подготовлена матрица требований, целевых показателей и ресурсных ограничений, затем с учетом матрицы была создана одномерная компьютерная модель изделия.

Особенность формирования матрицы заключалась в том, что разрабатываемое изделие должно

работать в существующем контуре оборудования. Это, в свою очередь, налагает требования к используемым в компрессоре материалам, а также к присоединительным размерам компрессора. Суммарно было выделено около 150 требований, целевых показателей и ресурсных ограничений.

После этого был проведен ряд цифровых (виртуальных) испытаний для формирования новой трехмерной геометрии проточной части компрессора. Следующим шагом на основе выбранной геометрии проточной части была проверка всех рабочих режимов компрессора путем цифровых испытаний. Контроль проверки режимов работы компрессора включал применение средств мониторинга, доступных на цифровой платформе CML-Bench®. После этого были проведены цифровые испытания компрессора для оценки прочности. В результате была сформирована трехмерная цифровая модель проточной части компрессора, которая была использована для формирования конструкторской документации.

Необходимо отметить, что процесс проходил не последовательно-линейно, а имел итерационно-кольцевой характер, что подразумевало возврат на один или два шага назад для получения новой, улучшенной конструкции компрессора. Например, изменялось количество лопаток, их геометрия, размеры щелевого диффузора и др.

Разработка цифрового двойника потребовала создания двух цифровых (виртуальных) испытательных стендов: ВИС «Газодинамика» и ВИС «Прочность». Первый стенд включает набор взаимосвязанных математических и компьютерных моделей для разработки проточной части изделия, второй содержит модели, описывающие рабочий цикл изделия и оценку его ресурсной надежности. Например, с применением цифрового стенда «Прочность» был проведен расчет перегрузок, жесткостных и частотных характеристик, прочности и долговечности конструкции изделия.

В ходе работ было проведено порядка тысячи цифровых (виртуальных) испытаний, при этом каждая компьютерная (конечно-элементная) модель в среднем насчитывала 30 млн элементов. Суммарно для проведения полномасштабных цифровых испытаний было затрачено около 1 млн ядро-часов вычислительных ресурсов Суперкомпьютерного центра СПбПУ «Политехнический».

В результате выполнения проекта была разработана эскизная документация, которая использовалась для создания конструкторской документации и последующего изготовления изделия. Фактически, было проведено около десятка итераций с получением различных конструкций компрессора, а также получен оригинальный конструктивный вариант компрессора с применением нового электродвигателя другого типа. В результате проекта создан цифровой двойник компрессора низкого давления.

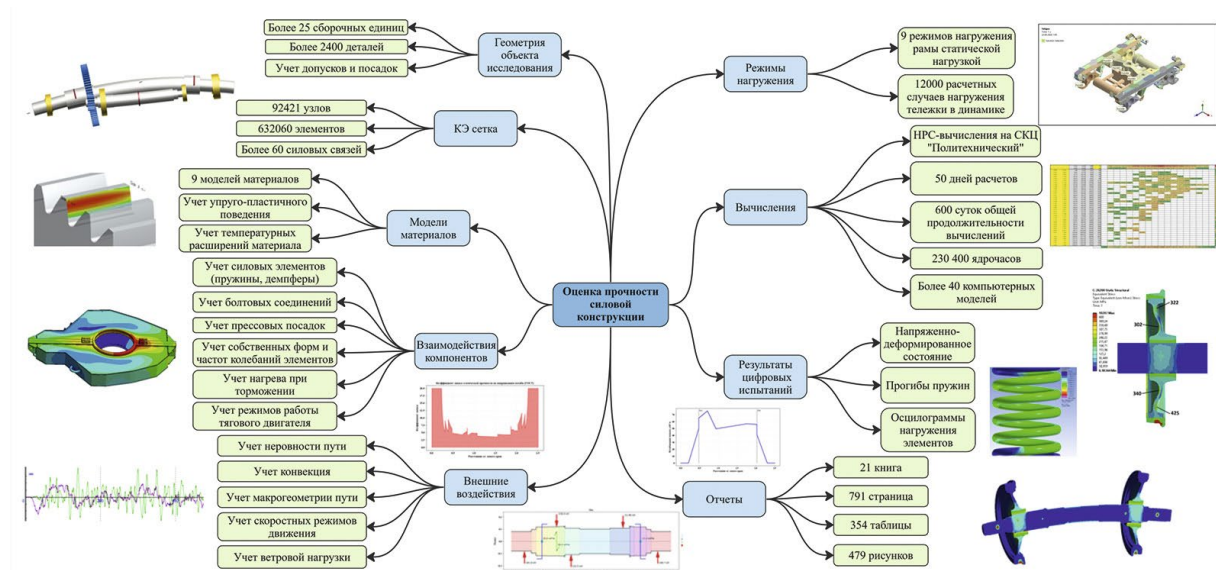
Кейс: Проект по разработке цифрового двойника экипажной части локомотива, реализованный на цифровой платформе CML-Bench® [120]

В ходе проекта на цифровой платформе CML-Bench® разработана динамическая компьютерная модель локомотива, которая учитывает режимы работы тягового двигателя, макрогеометрию и неровности путей, движение по прямым и кривым участкам пути разного радиуса вперед и назад (всего более 12 тыс. расчетных случаев), а также конечно-элементные модели составных частей тележки, учитывающие различные материалы, их термо-упруго-пластичное поведение.

В результате были разработаны один ВИП и более 40 ВИС. Цифровой (виртуальный) испытательный полигон, включающий компьютерные модели и программное обеспечение для передачи,

обработки и хранения информации, позволил провести цифровые испытания динамических качеств цифровой модели экипажной части локомотива с формированием истории нагружений ее компонентов. Преобразование истории нагружений использовалось в качестве исходных данных для аналитических и конечно-элементных моделей при проведении цифровых испытаний на цифровых (виртуальных) испытательных стендах (ВИС).

Рисунок 8. Пример характеристик цифровых испытаний оценки прочности силовой конструкции тележки



Источник: ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг»

С помощью встроенного в CML-Bench® инструментария проводилась постобработка полученных промежуточных и конечных результатов расчетов, анализ данных, анализ полученных значений различных показателей на соответствие требованиям, представленным в матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений. Благодаря цифровой платформе CML-Bench® удалось эффективно применить многоитерационный подход к исследованию различных вариантов конструкторских решений, отвечающих всем установленным требованиям.

Для обеспечения выполнения задач проекта были усовершенствованы модули передачи данных между компьютерными моделями, разработан модуль преобразования истории нагружений, полученных в результате проведенных цифровых испытаний. Также в цифровую платформу CML-Bench® было интегрировано современное российское инженерное ПО, в частности программный комплекс «Универсальный механизм».

В результате проекта по созданию цифрового двойника экипажной части локомотива была разработана и сбалансирована матрица требований, целевых показателей и ресурсных ограничений, разработаны и взаимосвязаны математические и компьютерные модели экипажной части локомотива, подсистем и их компонентов, составляющие цифровой двойник экипажной части локомотива, а также программные модули обмена данными между компьютерными моделями. Кроме того, были проведены инженерные расчеты и цифровые испытания, позволяющие исследовать и анализировать различные варианты конструкции тележки.

Использование цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® позволило существенно сократить финансовые затраты и сроки проведения многовариантного моделирования для выбора конструкторских решений тележки локомотива.

5.2. Проекты за рубежом

Ключевые зарубежные проекты, прежде всего, связаны с внедрением SPDM-систем, лидирующих на мировом рынке (Таблица 10).

Таблица 10. Обзор крупных проектов в мире

№	Наименование проекта	Участники проекта	Годы реализации	Цель и планы
1	Использование ESTECO VOLTA для проведения исследований по оптимизации конструкции для программы боевой машины XM30 Армии США [121]	ESTECO и American Rheinmetall Vehicles	2024	Цель: выполнение фазы 3 детального проектирования и фазы 4 создания и испытания прототипов в рамках пятиэтапной программы проектирования XM30. Планы: ● XM30 – первая наземная боевая машина армии США, разработанная с использованием современных цифровых инженерных инструментов и технологий. ● Предоставление Армии США модели с контролем версий на каждом этапе цикла разработки.
2	Использование продуктов Siemens для создания цифрового двойника беспилотного электромобиля [122–124]	Siemens и NEVS	2021-2024	Цель: создание цифровой нити и комплексного цифрового двойника для новых и текущих проектов транспортных средств. Планы: ● Использование следующих решений Siemens Xcelerator: программное обеспечение Simcenter™, портфолио Teamcenter®, портфолио Polarion™, программное обеспечение NX™ и программное обеспечение HEEDS™. ● Использование Teamcenter Simulation для управления данными CAD и CAE, обеспечение работы с самой актуальной информацией. ● Использование HEEDS на ранних этапах проектирования и разработки концепции для выбора вариантов конструкции, соответствующих установленным требованиям в наибольшей степени. ● Использование Polarion для поддержки бесперебойной совместной работы в различных программных средах.
3	Использование VOLTA	ESTECO и	2022	Цель: система TSM создается для поддержки

№	Наименование проекта	Участники проекта	Годы реализации	Цель и планы
	SPDM в качестве интегрированного инструмента анализа для системы Total System Model (TSM) в рамках общей цифровой трансформации инженерных решений [125]	Lockheed Martin Space		усилий компании по разработке продуктов и повышения эффективности использования инженерных данных. TSM станет единым источником для проектной информации, в котором данные моделирования будут доступны для совместной работы и интегрированы между дисциплинами. Планы: ● Обеспечение непрерывной эволюции и синхронизации проектирования.
4	Использование VOLTA для технологий строительства в единый поток работ от концепции до завершения [126]	ESTECO и Takenaka Corporation	2020	Цель: упрощение процесса проектирования, управление данными и сокращение времени, затрачиваемого на проектирование Планы: ● Объединение ПО для проектирования с помощью расчетных цепочек modeFRONTIER. ● Организация совместной работы с помощью веб-платформы ESTECO VOLTA.
5	Использование VOLTA для автоматизации проектирования строительных объектов [127]	ESTECO и Bouygues Construction	2020	Цель: автоматизация процессов, оптимизация процесса проектирования и управление данными моделирования Планы: ● Бесшовная интеграция инструментов моделирования. ● Упрощение управления проектом за счет возможностей совместной работы и прослеживаемости эволюции модели.

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Необходимо отметить, что в международном контексте внедрение систем управления процессами и данными компьютерного моделирования, как правило, является частью комплексного решения по внедрению группы программных продуктов для решения задач по рациональной оптимизации передовых процессов проектирования на основе цифровых испытаний, управления данными / обменом данными между командами специалистов, а также сокращению времени разработки конечной продукции.

ГЛАВА 6. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В РОССИИ, В Т.Ч. АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ПО НИРАМ И НИОКРАМ

В рамках настоящего раздела рассматриваются основные аспекты нормативно-правового регулирования сферы промышленного программного обеспечения в России, в т.ч. проводится анализ государственных программ поддержки по НИРАм и НИОКРАм, посвященным разработке систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM).

6.1. Анализ нормативно-правовой базы регулирования в России

Создание и развитие отечественных решений в сфере инженерного программного обеспечения мирового уровня является одним из ключевых приоритетов государственной политики Российской Федерации. При анализе нормативно-правовой базы регулирования сферы промышленного программного обеспечения в России в контексте систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) важно учитывать, что промышленное программное обеспечение регулируется теми же нормативно-правовыми актами (НПА), что и программное обеспечение общесистемного назначения.

В частности, среди верхнеуровневых НПА, регулирующих сферу промышленного программного обеспечения (в том числе – сферу SPDM-систем) необходимо отметить следующие:

- Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. N 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями), Федеральный закон от 26.10.2024 N 357-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации».
- Федеральный закон от 27.07.2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
- Федеральный закон от 31.12.2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации».
- Постановление Правительства РФ от 22.08.2022 г. № 1478 «Об утверждении требований к программному обеспечению, в том числе в составе программно-аппаратных комплексов, используемому органами государственной власти, заказчиками, осуществляющими закупки в соответствии с Федеральным законом «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (за исключением организаций с муниципальным участием), на принадлежащих им значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, Правил согласования закупок иностранного программного обеспечения, в том числе в составе программно-аппаратных комплексов, в целях его использования заказчиками, осуществляющими закупки в соответствии с Федеральным законом «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (за исключением организаций с муниципальным участием), на принадлежащих им значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также закупок услуг, необходимых для использования этого программного обеспечения на таких объектах, и Правил перехода на преимущественное использование российского программного обеспечения, в том числе в составе программно-аппаратных комплексов, заказчиками, осуществляющими закупки в соответствии с Федеральным законом «О

закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (за исключением организаций с муниципальным участием), на принадлежащих им значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

- Постановление Правительства РФ от 30.09.2022 г. № 1729 «Об утверждении Положения о государственной аккредитации российских организаций, осуществляющих деятельность в области информационных технологий».
- Приказ Минцифры России от 18.01.2023 г. № 21 «Об утверждении Методических рекомендаций по переходу на использование российского программного обеспечения, в том числе на значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, и о реализации мер, направленных на ускоренный переход органов государственной власти и организаций на использование российского программного обеспечения в Российской Федерации».

Кроме того, среди значимых в рассматриваемом контексте НПА можно отметить также:

- О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г. (Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309).
- Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий».
- О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145).
- Концепция технологического развития на период до 2030 г. (Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 г. № 1315-р).
- Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (Постановление Правительства РФ от 29.03.2019 г. № 377 (ред. от 17.01.2024 г.)).
- Об утверждении приоритетных направлений проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики Российской Федерации и Положения об условиях отнесения проектов к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации, о представлении сведений о проектах технологического суверенитета и проектах структурной адаптации экономики Российской Федерации и ведении реестра указанных проектов, а также о требованиях к организациям, уполномоченным представлять заключения о соответствии проектов требованиям к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 15.04.2023 г. № 603).
- О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации (Указ Президента РФ от 01.05.2022 г. № 250).
- О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 г. № 167 (ред. от 22.11.2023 г.)).
- Об утверждении методик расчета целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации «Цифровая трансформация» (вместе с «Методикой расчета целевого показателя «Достижение» цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы, в том числе здравоохранения и образования, а также государственного управления», «Методикой расчета целевого показателя «Достижение «цифровой зрелости»

ключевых отраслей экономики и социальной сферы, в том числе здравоохранения и образования, а также государственного управления» для субъекта Российской Федерации», «Методикой расчета целевого показателя «Увеличение доли массовых социально значимых услуг, доступных в электронном виде, до 95 процентов», «Методикой расчета показателя «Доля домохозяйств, которым обеспечена возможность широкополосного доступа к сети Интернет», «Методикой расчета целевого показателя» «Увеличение вложений в отечественные решения в сфере информационных технологий», «Методикой расчета целевого показателя «Увеличение вложений в отечественные решения в сфере информационных технологий» для субъекта Российской Федерации» (Приказ Минцифры России от 18.11.2020 г. № 600 (ред. от 29.12.2023 г.)).

- Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (Протокол заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 04.06.2019 г. № 7).
- Соглашение о намерениях между правительством российской федерации, государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» и государственной корпорацией по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех» в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичной области «Новые производственные технологии» (Распоряжения Правительства Российской Федерации от 16.07.2020 г. № 1861-р).
- Индустриальные центры компетенций по замещению зарубежных отраслевых цифровых продуктов и решений в ключевых отраслях экономики (Поручение Председателя Правительства РФ от 23.09.2022 г.).
- Паспорт федерального проекта «Нормативное регулирование цифровой среды» (Утвержден президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (протокол от 28.05.2019 г. № 9)).
- Паспорт федерального проекта «Цифровые Технологии» (Утвержден Президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (протокол от 28.05.2019 г. № 9)).
- Об утверждении Правил разработки, утверждения, реализации, корректировки и завершения комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и комплексных научно-технических проектов полного инновационного цикла в целях обеспечения реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 19.02.2019 г. № 162 (ред. от 02.08.2023 г.)).
- Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика» (Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 316 (ред. от 18.07.2024 г.)).
- Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2021 гг.» (Постановление Правительства РФ от 21.05.2013 г. № 426 (ред. от 31.03.2021 г.)).
- Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации (Указ Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899 (ред. от 16.12.2015 г.)).
- Об утверждении Положения о создании и функционировании советов по приоритетным

направлениям научно-технологического развития Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 17.01.2018 г. № 16 (ред. от 02.08.2023 г.)).

- О стратегии экономической безопасности РФ на период до 2030 г. (Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208).

Существенное влияние на развитие систем SPDM-класса могут оказать отраслевые НПА, определяющие приоритеты промышленного развития в соответствующих сферах:

- Распоряжение Правительства РФ от 7 ноября 2023 г. N 3113-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, относящейся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли РФ и внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 6 июня 2020 г.»
- Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса до 2030 г. (Распоряжение Правительства РФ от 12.03.2024 г. № 581-р).
- Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 г. и на период до 2035 г. (Распоряжение Правительства РФ от 09.09.2023 г. № 2436-р).
- Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. и плана мероприятий по ее реализации (Распоряжение Правительства РФ от 21.06.2023 г. № 1630-р).
- О продлении срока действия комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 г.» (Указ Президента РФ от 14.04.2022 г. № 202).
- Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 г. (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 г. № 1913-р).
- Стратегия развития станкоинструментальной промышленности на период до 2035 г. (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 05.11.2020 г. № 2869-р).
- Об утверждении государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 гг.» (Распоряжение Правительства РФ от 15.12.2012 г. № 2396-р).
- «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с «Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.»)) (Указ Президента РФ от 10.10.2019 г. № 490 (ред. от 15.02.2024 г.)).
- Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 328 (ред. от 13.08.2024 г.)).
- О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства (Указ Президента РФ от 21.07.2016 г. № 350 (ред. от 28.09.2023 г.)).
- Перспективный план стандартизации в области передовых производственных технологий на 2018–2025 гг. (Утвержден Министерством промышленности и торговли РФ и Росстандартом 28.01.2019 г. (с изменением № 1 от 28.09.2020 г., № 2 от 21.03.2022 г.)).
- Федеральный закон от 23.10.2007 г. № 270-ФЗ «О Государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех».

- Федеральный закон от 01.12.2007 г. № 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Рынки НТИ являются одними из важнейших потребителей систем рассматриваемого класса, в связи с чем можно выделить НПА в данной сфере:

- Об утверждении Правил управления реализацией мероприятий программ и проектов Национальной технологической инициативы, результаты которых направлены на решение задач обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации, о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации и о признании утратившими силу отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 28.12.2022 г. № 2478 (ред. от 31.08.2023 г.)).
- План мероприятий («дорожная карта») «Маринет» (Одобрена протоколом № 1 от 28.02.2022 г. заочного голосования членов Президиума Правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию России).
- План мероприятий («дорожная карта») «Нейронет» (Одобрена протоколом № 1 от 28.02.2022 г. заочного голосования членов Президиума Правительственной комиссии по модернизации экономики и инновационному развитию России).
- План мероприятий («дорожная карта») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации плана мероприятий («дорожной карты») Национальной технологической инициативы по направлению «Маринет» (Распоряжение Правительства РФ от 21.01.2020 г. № 40-р (ред. от 01.06.2024 г.)).
- План мероприятий («дорожная карта») «Автонет» (Утверждена приложением № 2 к Протоколу № 1 заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 24.04.2018 г.).
- Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации плана мероприятий («дорожной карты») Национальной технологической инициативы по направлению «Аэронет» (Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2018 г. № 576-р (ред. от 16.09.2021 г.)).
- Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Нейронет» (Распоряжение Правительства РФ от 30.03.2018 г. № 552-р (ред. от 24.12.2021 г.)).
- Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Автонет» (Распоряжение Правительства РФ от 29.03.2018 г. № 535-р (ред. от 21.09.2023 г.)).
- Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» (Передовые производственные технологии) (Распоряжение Правительства РФ от 23.03.2018 г. № 482-р (ред. от 01.06.2024 г.)).
- План мероприятий («дорожная карта») «Энерджинет» (Одобрена Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному

развитию России 28.09.2016 г., Протокол № 4).

- План мероприятий («дорожная карта») «Аэронет» (Одобрена приложением № 2 к Протоколу № 3 заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 24.06.2016 г.).
- «О реализации Национальной технологической инициативы» (вместе с «Правилами разработки и реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы», «Правилами отбора проектов в целях реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы», «Правилами мониторинга реализации проектов в целях реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы», «Правилами предоставления субсидий из федерального бюджета Фонду поддержки проектов Национальной технологической инициативы на финансовое обеспечение затрат на реализацию проектов в целях реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы и на обеспечение информационной, организационно-технической и экспертно-аналитической поддержки реализации Национальной технологической инициативы») (Постановление Правительства РФ от 18.04.2016 г. № 317 (ред. от 31.08.2023 г.)).

Список основных нормативно-правовых актов, нацеленных на стимулирование внедрения промышленных технологий, включая SPDM-системы:

- Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета федеральному государственному бюджетному учреждению «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» на осуществление грантовой поддержки реализации проектов малых предприятий по разработке, применению и коммерциализации российских цифровых решений, в том числе в сфере научно-технологического развития (Постановление Правительства Российской Федерации от 23.05.2024 г. № 649 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации» от 03.05.2019 г. № 554).
- О специальных инвестиционных контрактах для отдельных отраслей промышленности (Постановление Правительства РФ № 708 от 16.07.2015 г. (ред. 11.04.2024 г.)).
- О государственной поддержке организаций, реализующих инвестиционные проекты, направленные на производство приоритетной продукции (Постановление Правительства РФ от 22.02.2023 г. № 295).
- О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации (Федеральный закон от 14.07.2022 г. № 323-ФЗ).
- Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета кредитным организациям на возмещение недополученных доходов по кредитам, выданным на приобретение приоритетной для импорта продукции (Постановление Правительства РФ от 18.05.2022 г. № 895 (ред. от 08.08.2023 г.)).
- Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским кредитным организациям на возмещение недополученных ими доходов по кредитам, выданным аккредитованным системообразующим организациям в сфере информационных технологий, а также организациям, входящим в группу лиц системообразующей организации в сфере информационных технологий (Постановление Правительства РФ от 26.04.2022 г. № 754).
- О выделении в 2022 г. из резервного фонда Правительства РФ бюджетных ассигнований в

связи с ограничительными мерами, предпринятыми в отношении РФ иностранными государствами (Распоряжение Правительства РФ от 01.04.2022 г. № 714-р (ред. от 30.11.2022 г.)).

- Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на финансовое обеспечение части затрат на разработку конкурентоспособных нишевых аппаратно-программных комплексов для целей искусственного интеллекта (Постановление Правительства РФ от 23.08.2021 г. № 1380).
- Об утверждении требований к реализации мероприятий, осуществляемых субъектами Российской Федерации, бюджетам которых предоставляются субсидии на государственную поддержку малого и среднего предпринимательства, а также физических лиц, применяющих специальный налоговый режим «Налог на профессиональный доход», в субъектах Российской Федерации, направленных на достижение целей, показателей и результатов региональных проектов, обеспечивающих достижение целей, показателей и результатов федеральных проектов, входящих в состав национального проекта «МСП и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы», и требований к организациям, обеспечивающим инфраструктуру поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства» (Приказ Министерства экономического развития РФ от 26.03.2021 г. № 142).
- Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета производителям станкоинструментальной продукции в целях предоставления покупателям скидки при приобретении такой продукции (Постановление Правительства РФ от 10.08.2020 г. № 1206).
- Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий в целях обеспечения льготного кредитования проектов по цифровой трансформации, реализуемых на основе российских решений в сфере информационных технологий (Постановление Правительства РФ от 05.12.2019 г. № 1598 (ред. от 06.05.2023 г.)).
- Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета некоммерческой организации Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий на обеспечение первого масштабного внедрения российских решений в сфере информационных технологий (Постановление Правительства РФ от 03.05.2019 г. № 555 (ред. от 27.12.2023 г.)).
- Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета Российскому фонду развития информационных технологий на поддержку проектов по разработке и внедрению российских решений в сфере информационных технологий (Постановление Правительства РФ от 03.05.2019 г. № 550 (ред. от 28.12.2023 г.)).
- Об утверждении правил предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции (Постановление Правительства РФ от 30.04.2019 г. № 529 (ред. от 22.11.2022 г.)).

Перечень некоторых нормативно-правовых актов, регулирующих внедрение и использование SPDM-систем:

- Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ.

Настоящим Федеральным законом регулируются отношения, связанные с обработкой персональных данных.

- Федеральный закон от 06.04.2011 г. № 63-ФЗ «Об электронной подписи».

Настоящий Федеральный закон регулирует отношения в области использования электронных подписей при совершении гражданско-правовых сделок, оказании государственных и муниципальных услуг, исполнении государственных и муниципальных функций, при совершении иных юридически значимых действий, в том числе в случаях, установленных другими федеральными законами.

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения. Модели качества систем и программных продуктов. Настоящий стандарт определяет:

1. Модель качества при использовании, в состав которой входят пять характеристик, некоторые из которых, в свою очередь, подразделены на подхарактеристики. Эти характеристики касаются результата взаимодействия при использовании продукта в определенных условиях. Данная модель применима при использовании полных человеко-машинных систем, включая как вычислительные системы, так и программные продукты.
2. Модель качества продукта, в состав которой входят восемь характеристик, которые, в свою очередь, подразделены на подхарактеристики. Характеристики относятся к статическим и динамическим свойствам программного обеспечения и вычислительных систем. Модель применима как к компьютерным системам, так и к программным продуктам.

Характеристики, определяемые обеими моделями, применимы к любым программным продуктам и компьютерным системам. Характеристики и подхарактеристики обеспечивают единую терминологию для определения спецификации, измерения и оценки качества систем и программного обеспечения. Модели предоставляют также множество характеристик качества, с которыми для полноты картины можно сравнить заявленные требования к качеству.

- ГОСТ Р ИСО 10303-1-2022. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы:

В настоящем стандарте предоставлен обзор стандартов серии ИСО 10303. В стандартах серии ИСО 10303 содержится представление информации об изделии вместе с необходимыми механизмами и определениями, позволяющими обмен данными об изделии. Обмен осуществляется среди различных компьютерных систем и сред, связанных с информационным сопровождением полного жизненного цикла изделия, включающего конструирование изделия, его производство, использование, обслуживание и утилизацию.

- ГОСТ Р 57700.37-2021*. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения:

Настоящий стандарт определяет общие положения разработки и применения цифровых двойников изделий.

*Полный перечень актуальных действующих национальных стандартов, разработанных ТК

700, представлен в Приложении №2.

- ГОСТ 34.13-2018. Межгосударственный стандарт. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Режимы работы блочных шифров:

Настоящий стандарт распространяется на криптографическую защиту информации и определяет режимы работы блочных шифров.

Режимы работы блочных шифров, определенные в настоящем стандарте, рекомендуется использовать при разработке, производстве, эксплуатации и модернизации средств криптографической защиты информации в системах обработки информации различного назначения.

- ГОСТ 34886-2022. Интеллектуальная собственность. Служебные результаты интеллектуальной деятельности:

Настоящий стандарт устанавливает систему терминов и определений понятий в области интеллектуальной собственности с учетом основных этапов жизненного цикла формирования, правовой охраны, использования и защиты интеллектуальной собственности.

- ГОСТ Р 57700.39-2024. Национальный Стандарт Российской Федерации. Компьютерные модели и моделирование. Программное обеспечение компьютерного моделирования физических процессов. Общие требования:

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к программному обеспечению компьютерного моделирования физических и физико-химических процессов и состояний, природных явлений, в том числе к составу компонентов программного обеспечения компьютерного моделирования и их функциональным характеристикам.

- ГОСТ Р 57700.21-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Компьютерное моделирование в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Термины и определения:

Настоящий стандарт устанавливает терминологию в области компьютерного моделирования в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации машиностроительных изделий, включая моделирование собственно изделий (свойств изделий) и связанных с изделием процессов.

- «Об утверждении Правил организации и проведения технологических конкурсов в целях реализации Национальной технологической инициативы и Правил предоставления субсидий из федерального бюджета Фонду поддержки проектов Национальной технологической инициативы на финансовое обеспечение затрат на организацию и проведение технологических конкурсов в целях реализации Национальной технологической инициативы и о внесении изменения в перечень международных, иностранных и российских премий за выдающиеся достижения в области науки и техники, образования, культуры, литературы, искусства, туризма и средств массовой информации, суммы которых, получаемые налогоплательщиками, не подлежат налогообложению (Постановление Правительства РФ от 03.04.2018 г. № 403 (ред. от 13.07.2023 г.))».

Значительное внимание государственных органов к развитию и обновлению нормативно-правовой базы в сфере промышленного программного обеспечения в последние годы обуславливается внешними попытками отрезать Российскую Федерацию от поставок профильного ПО. Управленческой рамкой для значительной части регулирующих мер в сфере промышленного программного обеспечения является национальная программа «Цифровая экономика». Помимо разработки нормативно правовых актов, регулирующих общие вопросы субсидий и льготного кредитования в сфере промышленного производства, государством была активизирована работа над актуализацией «дорожных карт» Национальной технологической инициативы, нацеленных на развитие наиболее перспективных отраслей экономики. В частности, реализация плана мероприятий нормативной «дорожной карты» «Технет» по совершенствованию законодательства и преодолению административных препятствий в области передовых производственных технологий нацелена на развитие и внедрение новых технологий, товаров и услуг, которые помогут российским компаниям занять лидирующие позиции на формирующихся глобальных рынках. В плане мероприятий учитываются особенности новых производственных технологий, способствующих ускорению, снижению стоимости и децентрализации процессов разработки и производства инновационной продукции, что создает основу для массового кастомизированного производства.

К числу ожидаемых результатов реализации нормативной «дорожной карты» по направлению «Технет» можно отнести снятие технических барьеров для цифровой документации, связанных с отсутствием единых форматов подготовки цифровой документации, улучшение сбора статистики в сфере ППТ, облегчение взаимодействия с надзорными органами для проектировщиков, производителей и эксплуатантов без использования бумажной формы документов, появление возможности предъявления уполномоченным органам результатов вычислительных результатов взамен натурных и общее упрощение порядка признания новых схем оценки соответствия для инновационной продукции.

6.2. Анализ государственных мер поддержки, в т.ч. по НИРам и НИОКРам, сведения о значимых поддержанных проектах

Система мер государственной поддержки разработки инженерного программного обеспечения и, в частности, развития отечественных систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM), становится более масштабной и разнообразной по мере того, как задача обеспечения технологического суверенитета становится критически важной для обеспечения функционирования экономики России. Обзор основных мер государственной поддержки развития рассматриваемой области представлен в таблице 11.

Таблица 11. Обзор основных мер государственной поддержки

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
1	Субсидия на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и (или) программных продуктов	№ 529 от 30.04. 2019	ЦТ/ЦЭ ³	Мин-пром-торг	Субсидия	Субсидия предоставляется разработчикам цифровых платформ и программных продуктов в целях дальнейшего внедрения на промышленных предприятиях, осуществляющих деятельность в обрабатывающих отраслях экономики	Разработчики цифровых платформ	Объем финансирования не обозначен, мера действует для ранее отобранных проектов. Софинансирование – не менее 50%
2	Субсидии российским организациям на финансовое обеспечение части затрат на реализацию проектов по внедрению российских решений в сфере информационных технологий в целях повышения уровня «цифровой зрелости»	субсидия № 24-66821-01674-Р от 20.09. 2024 г.	ГП «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности»	Мин-пром-торг	Субсидия	Повышение уровня цифровой зрелости предприятий	Заказчики, производители промышленной продукции («обрабатывающие производства») и научные организации	Срок исполнения – не более 3-х лет. Сумма субсидии – от 30 млн руб. до 250 млн руб. ежегодно. Софинансирование не менее 50%

² ПП РФ – Постановление Правительства Российской Федерации

³ Федеральный проект «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
	отраслей промышленности							
3	Субсидии на финансовое обеспечение части затрат на разработку конкурентоспособных нишевых аппаратно-программных комплексов для целей искусственного интеллекта	№ 1380 от 23.08. 2021 г.	ИИ/ЦЭ ⁴	Мин-пром-торг	Субсидируемые расходы на разработку	Разработка конкурентоспособных нишевых аппаратно-программных комплексов для целей искусственного интеллекта	Разработчики, производители ПАК с использованием ИИ	Максимальный ежегодный размер субсидии, предоставляемой российской организации по одному комплексному проекту, составляет не более 500 млн руб. Срок реализации проекта – 12 месяцев
4	Гранты на поддержку проектов по преобразованию приоритетных отраслей экономики и социальной сферы на основе внедрения отечественных продуктов на базе «сквозных» цифровых технологий	№ 555 от 03.05. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	Фонд «Сколково»	Гранты	Преобразование приоритетных отраслей экономики и социальной сферы на основе внедрения отечественных продуктов, сервисов, платформенных решений, созданных на базе сквозных цифровых технологий	Заказчик – коммерческая организация, внедряющая решение на основе сквозных технологий	Размер гранта составляет не менее 20 млн руб. и не более 300 млн руб. Для особо значимых проектов максимальный размер гранта может составлять не более 700 млн руб. Софинансирование не менее 50%. Срок реализации не менее

⁴ Федеральный проект «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
								6 и не более 30 месяцев
5	Льготное кредитование компаний реализующим проекты по цифровой трансформации и внедряющим ИТ-решения	№ 1598 от 05.12. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	Минцифры	Субсидируемые кредиты	Ускорение цифровой трансформации отраслей экономики и внедрение российских решений	Разработчики (получатели льготных кредитов) и коммерческие банки, финансирующие ИТ-проекты (получатели субсидий)	Размер льготной ставки по кредиту: от 1 до 5% (до 3% для аккредитованных ИТ-организаций); Размер кредита для реализации проекта: минимальный – 5 млн руб., максимальный – 5 млрд руб. Размер кредита для реализации программы(совокупности проектов): минимальный – 500 млн руб., максимальный – 10 млрд руб. Софинансирование: не обязательно. Сроки – определяются банком
6	Льготное кредитование (субсидируемое) системообразующих организаций в сфере ИТ, а также аккредитованных	№ 754 от 26.04. 2022 г.	Федеральный проект «Развитие цифровых и информационных проектов на	Минцифры	Льготное кредитование	Сохранение потенциала динамичного развития отрасли информационных технологий в сложных экономических условиях	Разработчики (получатели льготных кредитов) и коммерческие банки, финансирующие ИТ-	Процентная ставка по кредиту: до 11%; Размер кредита: одного заемщика до 10 млрд руб., для группы лиц одной

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
	организаций в сфере ИТ		территории субъектов Российской Федерации» государственной программы Российской Федерации «Информационное общество»			посредством льготного кредитования системообразующих ИТ-организаций и ИТ-организаций, входящих в группу лиц указанных организаций	проекты (получатели субсидий)	системообразующей организации (включая эту системообразующую организацию) до 30 млрд руб. Срок кредитования: до 12 месяцев. Максимальный объем кредита, для группы лиц одной системообразующей организации (включая эту системообразующую организацию): 30 млрд руб.
7	Грант на внедрение российских ИТ-решений	№ 550 от 03.05. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	РФРИТ	Гранты, субсидии	Внедрение отечественных продуктов, сервисов и платформенных решений в целях ускорения их развития.	Заказчики – коммерческие организации, осуществляющие проект по внедрению отечественного решения.	Сумма гранта – от 10 млн руб. до 6000 млн руб. Срок проекта – от 6 до 60 месяцев; Софинансирование – не менее 50% сметы реализации проекта
8	Конкурс «Цифровизация»	№ 554 от 03.05. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	Фонд Бортника ⁵	Гранты	Поддержка предприятий, планирующих применение	Разработчики. В конкурсном отборе могут	Объем гранта – до 20 млн руб.;

⁵ Полное название: «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
	Цифровые технологии»					российских ИТ решений и стимулирование цифровизации отраслей	принимать участие организации, соответствующие критериям отнесения к субъекту малого предпринимательства в соответствии с Федеральным законом от 24 июля 2007 г. № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации»	Софинансирование – не менее 25% от суммы гранта. Срок выполнения проекта – до двух лет
9	Конкурс «Код-Цифровые технологии»	Постановление Правительства Российской Федерации от 03.05. 2019 г. № 554	ЦТ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Создание новых и поддержку существующих малых инновационных предприятий, стремящихся развивать открытый код, создавать и развивать открытые библиотеки	Разработчики – малые предприятия и индивидуальные предприниматели	Размер гранта не может превышать 10 млн руб. на реализацию проекта. Срок выполнения проекта – до двух лет. Требования по софинансированию не обозначены
10	Конкурс «Старт-Цифровые технологии-1»	Постановление	ЦТ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Создание новых и поддержку существующих	Разработчики – малые предприятия	Объем предоставляемого Фондом гранта

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
		Правительства Российской Федерации от 03.05. 2019 г. № 554				малых инновационных предприятий, стремящихся разработать и освоить производство новых продуктов, имеющих значительный потенциал коммерциализации		составляет до 4 млн руб. Срок выполнения НИОКР – 1 год. Требования по софинансированию не обозначены
11	Конкурс «Развитие ЦТ»	№ 554 от 03.05. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержку предприятий, имеющих положительную деловую репутацию и опыт продаж наукоемкой продукции на рынке, и нуждающихся в дополнительных НИОКР	Разработчики – малые предприятия	Объем предоставляемого Фондом гранта составляет до 20 млн руб. Софинансирование – не менее 25% от суммы гранта. Срок выполнения проекта – до двух лет
12	Конкурс «Экспорт-Цифровые технологии»	№ 554 от 03.05. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержка предприятий, планирующих доработку или масштабирование собственных цифровых решений, продуктов или платформ и вывод собственной продукции на зарубежные рынки	Разработчики – малые предприятия	Объем предоставляемого Фондом гранта составляет до 20 млн руб. Софинансирование – не менее 25% от суммы гранта. Срок выполнения проекта – до двух лет

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
13	Конкурс «Коммерциализация-Цифровые технологии»	№ 554 от 03.05. 2019 г.	ЦТ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержка предприятий, планирующих доработку и (или) масштабирование собственных цифровых решений, продуктов или платформ и вывод собственной продукции на новые рынки	Разработчики – малые предприятия	Объем предоставляемого Фондом гранта составляет до 20 млн руб.; Софинансирование – не менее 25% от суммы гранта; Срок выполнения проекта – до двух лет
14	Конкурс «Код Искусственный интеллект»	№ 456 от 27.03. 2021 г.	ИИ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Создание и развития открытых библиотек в сфере искусственного интеллекта в России	Разработчики – малые предприятия	Размер гранта не может превышать 10 млн руб. на реализацию одного проекта, не более 2 млн руб. одному физическому лицу, подавшему заявку или члену проектной команды. Срок выполнения проекта – до двух лет. Требования по софинансированию не обозначены
15	Конкурс «Акселерация-	№ 456 от 27.03. 2021 г.	ИИ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты + акселерационная	Поддержка малых предприятий, целью которых является	Разработчики – малые предприятия,	Размер гранта, а также стоимости акселерационной

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
	Искусственный интеллект»				программа	разработка и освоение производства новой продукции, сервисов и (или) решений с использованием технологий искусственного интеллекта	участвующие в аккредитованных акселерационных программах	программы не может превышать 800 тыс. руб. Средства гранта могут быть направлены исключительно на оплату акселерационной программы, аккредитованной Фондом. Срок выполнения проекта – 9 месяцев. Требования по софинансированию не обозначены
16	Конкурс «Старт-Искусственный интеллект»	№ 456 от 27.03. 2021 г.	ИИ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержка малых предприятий, находящихся на начальной стадии развития и стремящихся разработать и освоить производство новых решений в области искусственного интеллекта	Разработчики – малые предприятия и индивидуальные предприниматели	Размер гранта не может превышать 4 млн руб. Срок выполнения НИОКР составляет 12 месяцев с даты заключения договора о предоставлении гранта. Требования по софинансированию не обозначены
17	Конкурс «Развитие-Искусственный интеллект»	№ 456 от 27.03. 2021 г.	ИИ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержка малых предприятий, имеющих положительную	Разработчики – малые предприятия	Размер гранта не может превышать 30 млн руб.

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
						деловую репутацию и опыт продаж наукоемкой продукции на рынке, нуждающихся в дополнительных НИОКР		Софинансирование – не менее 20% от суммы гранта. Срок выполнения НИОКР – до двух лет
18	Конкурс «Внедрение-Искусственный интеллект»	№ 456 от 27.03. 2021 г.	ИИ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержка малых предприятий, имеющих положительную деловую репутацию и опыт продаж, планирующих внедрение собственных решений в области искусственного интеллекта	Разработчики – малые предприятия	Размер гранта – до 50 млн руб. Софинансирование проекта – не менее 50%. Срок выполнения технологического проекта – до 27 месяцев
19	Конкурс «Коммерциализация-Искусственный интеллект»	№ 456 от 27.03. 2021 г.	ИИ/ЦЭ	Фонд Бортника	Гранты	Поддержка малых предприятий, имеющих положительную деловую репутацию и опыт продаж, планирующих доработку, апробацию и (или) внедрение собственных решений в области искусственного интеллекта	Разработчики – малые предприятия	Размер гранта – до 30 млн руб. Софинансирование проекта – не менее 20% от суммы гранта. Сроки выполнения проекта – до 18 месяцев
20	Комплекс налоговых льгот	Федеральный закон от 14.07.	Не обозначено	ФНС	Налоговые льготы	Поддержка российских ИТ-компаний	Компании, получающие доходы от:	Налог на прибыль установлен на уровне 0% до

№	Название	ПП РФ ²	Нац. проект / программа	Оператор	Тип поддержки	На что направлена мера поддержки	Тип получателя меры поддержки	Основные условия
		2022 г. № 323-ФЗ					услуг по доработке, внедрению и поддержке любого российского ПО; продажи онлайн рекламы на своих платформах; размещения объявлений на классифайдах; предоставления платного доступа к контенту (фильмам и музыке), в том числе по подписке; оказания образовательных услуг с использованием онлайн платформ; разработки и продажи российских программно-аппаратных комплексов	31.12.2024 г. Страховые взносы – 7,6%. Количественный критерий по доле ИТ-выручки, который позволяет получить налоговые льготы, – до 70%

Источники: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным Минпромторг [128], Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере [129], ФНС [130]

Разработчики SPDM-систем ориентируются на долгосрочные наукоемкие НИР/НИОКР, тесно связанные с решением масштабных задач высокотехнологичных отраслей промышленности.

Для более подробного анализа значимых проектов в сфере SPDM, на которые распространяются меры поддержки, в рамках настоящего раздела по ключевым словам «SPDM», «SPDM-система» отобраны проекты по выполнению научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ (НИОКТР) от 2020 г., зарегистрированные в системе домена «Наука и инновации», консолидирующего сведения о достижениях отечественной науки, ученых и научных коллективах и реализованного на базе Единой государственной информационной системы учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения, с использованием защищенной единой цифровой облачной платформы «ГосТех» [131]. В список ключевых слов для формирования поискового запроса в данном случае также были добавлены различные варианты написания названия основной российской SPDM-системы – платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® [85] и название SPDM-системы «УРАНИЯ», внедряемой на предприятиях Госкорпорации «Росатом».

Ключевые сведения о поддержанных проектах, относящихся к области систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM), приведены в таблице 12.

Таблица 12. Сведения о поддержанных проектах

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
1	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Отраслевая кастомизация и внедрение платформы по разработке цифровых двойников CML-Bench. Этап 2024 г.	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – глубокая отраслевая кастомизация и промышленное внедрение цифровой платформы CML-Bench на предприятиях отечественного двигателестроения в интересах АО «ОДК» в обеспечение снижения сроков разработки перспективных газотурбинных двигателей. Задачами работы являются разработка 7 программных модулей цифровой платформы, обеспечивающих сквозные процессы управления требованиями, расчетными данными, данными производства, обработку данных испытаний, управление данными о конфигурации изделий, отслеживание выполнения целевых показателей и общий прогресс проекта. Дополнительно на базе цифровой платформы разрабатывается архитектура автоматизированной информационной системы «Электронное дело изделия» (АИС «ЭДИ»), предназначенной для стандартизации и унификации процессов ведения «Дела изготовления» и «Дела ремонта» изделия. На этапе 2024 года будет разработан пользовательский интерфейс в платформе разработки и	2024	8,7

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
				применения цифровых двойников CML-Bench, позволяющий осуществлять полноценную работу пользователя с модулем проектирования лопаточных машин, в том числе с возможностью использования результатов виртуальных испытаний газотурбинных двигателей, хранящихся в платформе.		
2	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Цифровая платформа разработки и применения цифровых двойников CML-Bench. Разработка новой улучшенной версии. Этап 2024 г.	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – доработать и обновить модуль расчетных цепочек (WorkFlow). В рамках развития инструментария будет продолжена разработка и модернизация методологии обобщенного системного инжиниринга и проектирования, цифровых технологий и цифровой платформы для эффективного решения задач математического и компьютерного моделирования мультидисциплинарных задач, связанных с высокотехнологичными промышленными изделиями и разнообразными процессами (например, физико-механическими, производственными, технологическими и др.) в сложных технических, киберфизических и социально-экономических системах.	2024	20
3	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Центр тестирования, верификации и валидации инжинирингового программного обеспечения СПбПУ с применением цифровых решений АО «АСКОН», РЯЦ ВНИИЭФ. Этап 2024 г.	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – организация и проведение на системной регулярной основе тестирования, верификации и валидации российского программного обеспечения для разработки высокотехнологичных промышленных изделий и решений специализированных задач цифровизации производства на базе разработанных верификационного и валидационного базиса, цифровой платформы CML-Bench с применением комплекса тестовых и модельных расчетных случаев базы данных Центра ТВВ. На этапе 2024 года разработана база данных метрик и результатов тестирования, расширен перечень тестируемого инженерного программного обеспечения, включая программные модули, разработанные образовательными учреждениями. Реализована интеграция и структурирование данных в виртуальные испытательные стенды.	2024	10

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
4	Развитие интегрированной системы кодов нового поколения для разработки, обоснования безопасности, оптимизации и проведения виртуальных испытаний технологий и установок ПЭК. Этап 2024-2026 годов	Госкорпорация «Росатом»	ИБРАЭ РАН	Цель – доработка интегрированных систем кодов нового поколения для разработки, обоснования безопасности, оптимизации и проведения виртуальных испытаний технологий и установок ПЭК, включая проведение необходимых расчетно-экспериментальных исследований. К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: 1. Развитие интегрированной системы кодов нового поколения для разработки, обоснования безопасности, оптимизации и проведения виртуальных испытаний технологий и установок ПЭК. Этап 2024-2026 годов. Этап 1 2. Автоматизированный расчетный комплекс для решения оптимизационных нейтронно-физических задач. Версия 2.0 3. Конвертер моделей активной зоны из формата кодов DOLCE VITA/CORNER в формат кода MCU-FR. Версия 1.0	2024	539,6
5	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Цифровая платформа разработки и применения цифровых двойников CML-Bench. Разработка новой улучшенной версии. Этап 2023 г.	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – подключение к цифровой платформе широкого спектра отечественного инженерного программного обеспечения (например, инженерное ПО разработки компании АСКОН и ЛОГОС, разработки РФЯЦ ВНИИЭФ для решения комплексных мультидисциплинарных задач высокотехнологичной промышленности на суперкомпьютерах). К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: 1. Программа взаимодействий виртуального пользователя со спутниковыми снимками с использованием средств виртуальной реальности 2. Программа взаимодействий виртуального пользователя со спутниковыми снимками с использованием средств виртуальной реальности	2023	10

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
6	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Отраслевая кастомизация и внедрение платформы по разработке цифровых двойников CML-Bench. Этап 2023 г.	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – глубокая отраслевая кастомизация и промышленное внедрение цифровой платформы CML-Bench на предприятиях отечественного двигателестроения в интересах АО «ОДК» в обеспечение снижения сроков разработки перспективных газотурбинных двигателей. Задачами работы являются разработка 7 программных модулей цифровой платформы, обеспечивающих сквозные процессы управления требованиями, расчетными данными, данными производства, обработку данных испытаний, управление данными о конфигурации изделий, отслеживание выполнения целевых показателей и общий прогресс проекта. Дополнительно на базе цифровой платформы разрабатывается архитектура автоматизированной информационной системы «Электронное дело изделия» (АИС «ЭДИ»), предназначенной для стандартизации и унификации процессов ведения «Дела изготовления» и «Дела ремонта» изделия.	2023	14
7	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Центр тестирования, верификации и валидации инжинирингового программного обеспечения СПбПУ с применением цифровых решений АО «АСКОН», РЯЦ ВНИИЭФ. Этап 2023 г.	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – организация и проведение на системной регулярной основе тестирования, верификации и валидации российского программного обеспечения для разработки высокотехнологичных промышленных изделий и решений специализированных задач цифровизации производства на базе разработанных верификационного и валидационного базиса, цифровой платформы CML-Bench с применением комплекса тестовых и модельных расчетных случаев базы данных Центра ТВВ. Исследованы методы тестирования отечественного инженерного программного обеспечения. Представлены результаты начального этапа работ – результаты разработки базы данных тестовых расчетных случаев, позволяющей проводить анализ программного обеспечения и накапливать статистические данные, что в перспективе послужит	2023	6

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
				дополнительным инструментом при выборе инженерного программного обеспечения для выполнения проектов по разработке и производству высокотехнологичных изделий предприятиями РФ.		
8	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Цифровая платформа разработки и применения цифровых двойников CML-Bench. Разработка новой улучшенной версии (этап 2022 г.)	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – решение научной проблемы создания методологической базы и разработки практик системного цифрового инжиниринга для принятия решений в сложных технических системах на базе трансдисциплинарного трансфера передовых методов и цифровых технологий, который позволит повысить качество принимаемых управленческих решений, а также создаст синергетический эффект применения специализированных подходов и технологий в различных отраслях промышленности и экономики (в первую очередь, в машиностроении).	2022	0,9
9	Создание единого цифрового пространства управления инженерными данными малоразмерных газотурбинных двигателей на основе программного обеспечения отечественной разработки CML-bench	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева	Цель – создание комплексного системного решения задачи цифровой конструкторской и технологической подготовки производства линейки двигателей. Реализация проекта позволит отработать технологию применения современного программного решения – единой цифровой платформы управления инженерными данными, которая представляет собой цифровую среду, в которой конструкторские, термогазодинамические, прочностные, оптимизационные и технологические задачи решаются во взаимной связи с одновременными виртуальными испытаниями создаваемых двигателей. К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: Среда концептуального проектирования «АСТРА-9.С»	2022	1,5
10	Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг»: Центр тестирования, верификации и валидации	Минобрнауки России	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – организация и проведение на системной регулярной основе тестирования, верификации и валидации российского программного обеспечения для разработки высокотехнологичных промышленных изделий и решений специализированных	2022	0,9

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
	инжинирингового программного обеспечения СПБПУ с применением цифровых решений АО «АС-КОН», РЯЦ ВНИИЭФ (этап 2022 г.).			задач цифровизации производства на базе разработанных верификационного и валидационного базиса, цифровой платформы CML-Bench с применением комплекса тестовых и модельных расчетных случаев базы данных Центра ТВВ.		
11	Центр Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого: Разработка средств обеспечения кибербезопасности и киберустойчивости новых производственных технологий (часть 3)	Фонд НТИ	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – разработка архитектуры системы интеллектуального управления кибербезопасностью для цифровой платформы CML-Bench, а также разработку программы внедрения системы интеллектуального управления кибербезопасностью цифровой платформы CML-Bench. К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: Программа моделирования безопасности и киберустойчивости информационной, процессной и сетевой инфраструктур киберфизических систем.	2021	1,5
12	НИР «Развитие интегрированной системы кодов нового поколения для разработки, обоснования безопасности, оптимизации и проведения виртуальных испытаний технологий и установок ПЭК. Этап 2021-2023 годов»	Госкорпорация «Росатом»	ИБРАЭ РАН	Цель – обеспечение конструкторов, технологов, научных руководителей и проектантов ПЭК экспериментальными данными и программным инструментарием (верифицированными и/или аттестованными расчетными кодами нового поколения, автоматизированными информационными системами), предназначенными для: 1) оптимизации характеристик ПЭК и его элементов (включая снижение консерватизма) и обеспечения устойчивости потребительских характеристик ПЭК и его элементов к изменениям условий их производства и эксплуатации, 2) обеспечения взаимного соответствия требований и реальных характеристик ПЭК и его элементов за счет эффективного планирования и управления расчетными и экспериментальными исследованиями, 3) обеспечения возможности прохождения ЭБ ПЭК	2021	360

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
				экспертизы Ростехнадзора, требующей рассмотрения гипотетических тяжелых аварий, 4) моделирования и/или обоснования безопасности технологий и установок ПЭК, в которых (по сравнению с ОДЭК) будут применяться более современные технологические, конструкторские и проектные решения, 5) минимизации рисков для проекта от использования зарубежного коммерческого ПО, обеспечения гарантированной возможности применения разработанных кодов и информационных систем К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: 1. Система управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ». Релиз 3.0.1 2. Система управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ». Релиз 2.0.1 3. Система управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ». Релиз 1.0.1		
13	Центр Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого: Разработка средств обеспечения кибербезопасности и киберустойчивости новых производственных технологий (часть 2)	Фонд НТИ	ФГАОУ ВО СПбПУ	Цель – развитие технологического базиса кибербезопасности и функционально-структурной киберустойчивости цифрового производства и автоматизированных компонентов управления киберфизических систем Цифровых Фабрик Будущего. Планируется выполнение следующих задач: - Обеспечение киберустойчивости конгрессно-выставочной инфраструктуры Цифровой Фабрики Будущего; - Разработка средств управления киберустойчивостью Цифровой Фабрики Будущего; - Разработка модели угроз и архитектуры кибербезопасности цифровой платформы CML-Bench;	2020	11,4

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
				- Анализ угроз и рисков кибербезопасности цифровой платформы CML-Bench; - Внедрение системы интеллектуального управления кибербезопасностью цифровой платформы CML-Bench; - Адаптация средств управления киберустойчивостью к цифровой платформе CML-Bench. К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: 1. Программа автоматического задаче-зависимого выбора алгоритма машинного обучения для динамической адаптации детектора киберугроз 2. Программа автоматизации аудита безопасности устройств интернета вещей в адресном пространстве IPv6 3. Программа быстрого обнаружения киберугроз в крупномасштабных реконфигурируемых сетях устройств 4. Программа автоматической тренировки интеллектуальных детекторов киберугроз в реконфигурируемых киберсредах на базе многоагентного обучения с подкреплением 5. Программа идентификации киберугроз в критической информационной инфраструктуре с использованием нейронечеткого вывода 6. Программа обнаружения вредоносного трафика в беспроводных сенсорных киберсредах с помощью самоорганизующихся карт Кохонена 7. Программа анализа киберугроз с помощью квантового компьютера 8. Программа обнаружения массированных кибервоздействий типа «отказ в обслуживании» в системах Интернета вещей с помощью сверточной нейронной сети 9. Программа управления онтологиями контроля доступа 10. Программа для валидации вычислительных моделей классификаторов нарушений безопасности и киберустойчивости		

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
				крупномасштабных сетей киберфизических объектов 11. Программа идентификации пользователей киберфизических систем на основе контроля микровыражений 12. Программа анализа и фильтрации потоков управления в распределенных системах управления кибербезопасностью 13. Программа выявления угроз безопасности в неоднородных киберсредах с помощью запоминающей нейросетевой модели 14. Программа мониторинга и защиты файловых хранилищ в малоресурсных встраиваемых системах		
14	Развитие интегрированной системы кодов нового поколения для разработки, обоснования безопасности, оптимизации и проведения виртуальных испытаний технологий и установок ПЭК. Этап 2020 года	Госкорпорация «Росатом»	ИБРАЭ РАН	Цель – обеспечение конструкторов, технологов, научных руководителей и проектантов промышленного энергокомплекса (ПЭК) инструментарием (верифицированными и/или аттестованными расчетными кодами нового поколения, автоматизированными информационными системами), предназначенным для: 1) оптимизации характеристик ПЭК и его элементов (включая снижение консерватизма) и обеспечения устойчивости потребительских характеристик ПЭК и его элементов к изменениям условий их производства и эксплуатации, 2) обеспечения взаимного соответствия требований и реальных характеристик ПЭК и его элементов за счет эффективного планирования и управления расчетными и экспериментальными исследованиями, 3) обеспечения возможности прохождения ПЭК экспертизы Ростехнадзора, требующей рассмотрения гипотетических тяжелых аварий, 4) моделирования и/или обоснования безопасности технологий и установок ПЭК, в которых (по сравнению с ОДЭК) будут применяться более современные технологические, конструкторские и проектные решения,	2020	134

№	Наименование проекта	Заказчик	Исполнитель	Описание проекта, цель	Год начала работы	Объем финансирования, млн руб.
				5) минимизации рисков для проекта от использования зарубежного коммерческого ПО, обеспечения гарантированной возможности применения разработанных кодов и информационных систем. К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД: 1. Система управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ». Релиз 1.0 2. Автоматизированный расчетный комплекс для решения оптимизационных задач теплогидравлики. Версия 0.1 3. Автоматизированный расчетный комплекс для решения задач оптимизации режимов эксплуатации реакторных установок. Версия 0.1 4. Автоматизированный расчетный комплекс для решения задач оптимизации нагрузок на трубопроводные системы. Версия 0.1 5. Модуль обработки больших данных ИРММ. Версия 0.1		

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе домена «Наука и инновации» [131]

Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и опытно-технологические работы по тематике SPDM-систем в России первую очередь связаны с развитием цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® [85] (разработка СПбПУ), а также системы управления данными и процессами расчетных и экспериментальных научных исследований «УРАНИЯ», разрабатываемой на базе CML-Bench® Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН) в интересах ГК «Росатом» [132]. При этом необходимо отметить, что больше половины поддержанных проектов представляют собой НИОКТР по доработке и кастомизации существующего ПО с объемом финансирования до 10 млн руб.

ГЛАВА 7. БАРЬЕРЫ И РИСКИ, ПРИСУТСТВУЮЩИЕ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

В рамках настоящего раздела рассматриваются барьеры и риски развития систем управления процессами и данными компьютерного моделирования:

- Ключевые барьеры и проблемы развития систем на российском рынке.
- Необходимые действия для преодоления барьеров и решения проблем.

7.1. Ключевые барьеры и проблемы развития систем на российском рынке

По результатам исследования, проведенного Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и Передовой инженерной школой «Цифровой инжиниринг» при участии АНО «ЦКИТ» и содействии Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, был выявлен комплекс существенных барьеров, препятствующих развитию отечественного программного обеспечения для цифрового проектирования и моделирования [96]. Исследование проводилось в период с октября по ноябрь 2023 года в две волны: первая волна с 11.10.2023 по 31.10.2023, вторая волна с 08.11.2023 по 20.11.2023. Приглашения к участию в опросе были направлены через государственную информационную систему промышленности (ГИСП) в адрес 10 000 российских промышленных предприятий. В исследовании приняли участие 220 предприятий, что составляет 2,2% от общей выборки. Полностью заполненные анкеты предоставили 108 организаций, что обеспечивает достаточную репрезентативность полученных данных.

В ходе анализа текущей ситуации выявлено, что доминирующим препятствием для развития отрасли является недостаточный уровень технологической готовности отечественных цифровых продуктов в сфере программного обеспечения цифрового проектирования и моделирования. Данную проблему отметили 62% респондентов, что свидетельствует о существенном технологическом разрыве между российскими разработками и мировыми аналогами. Существенное влияние на развитие отрасли оказывают экономические факторы. Высокая стоимость российского программного обеспечения для предприятий, отмеченная 5% респондентов, в совокупности с низкой окупаемостью инвестиций (3%) создает значительные финансовые барьеры для внедрения отечественных решений. Ситуация осложняется трудностями с привлечением государственного финансирования, на что указывает 1% опрошенных.

Особого внимания заслуживает кадровый вопрос. Недостаточная квалификация сотрудников (5%) в сочетании с трудностями обеспечения конкурентоспособного уровня заработной платы ИКТ-специалистов (3%) и сложностями найма квалифицированного персонала (2%) формируют комплексную проблему кадрового обеспечения отрасли. Инфраструктурные ограничения также играют существенную роль. Недостаточное количество программных продуктов (4%), сложность их интеграции в существующие производственные и организационные процессы (4%), а также недостаточный технологический уровень предприятий (4%) создают дополнительные препятствия для развития отрасли.

В долгосрочной перспективе (к 2029 году) ожидается определенная трансформация значимости различных барьеров. Технологическое отставание, по-прежнему, будет играть доминирующую роль, но его значимость несколько снизится (55% против 62%). В то же время, возрастает значимость экономических факторов, таких как высокая стоимость российского программного обеспечения (ожидается рост значимости фактора до 10%) и недостаточное количество программных

продуктов (ожидается рост значимости фактора до 9%). Сложность интеграции новых технологий в существующие производственные и организационные процессы также будет играть более значимую роль (ожидается рост значимости фактора до 7%). В прогнозе значительно возрастает актуальность экономических факторов. Высокая стоимость российского программного обеспечения для предприятий увеличивает свою значимость в два раза (ожидается рост значимости фактора с 5% до 10%), что указывает на необходимость разработки долгосрочных механизмов ценовой оптимизации. Параллельно с этим, проблема недостаточного количества программных продуктов в сфере цифрового проектирования и моделирования в соответствии с прогнозом также демонстрирует существенный рост значимости (с 4% до 9%), что свидетельствует о растущей потребности в расширении ассортимента отечественных решений. Особого внимания заслуживает значительное усиление проблематики интеграции новых технологий и продуктов цифрового проектирования и моделирования в существующие производственные и организационные процессы организаций (ожидается рост значимости фактора с 4% до 7%). Данная ожидаемая тенденция указывает на необходимость развития комплексных решений по технологической адаптации и модернизации производственных процессов. В долгосрочной перспективе наблюдается некоторое снижение остроты кадровых проблем. Показатель недостаточной квалификации сотрудников снижается с 5% до 2%, а трудности с наймом квалифицированного персонала сохраняются на уровне 2%. Примечательно, что в долгосрочной перспективе возрастает значимость нормативно-правовых ограничений в части принятия результатов компьютерного моделирования (с 1% до 2%), что указывает на необходимость совершенствования законодательной базы и технических регламентов. Также сохраняется актуальность проблем, связанных с привлечением государственного финансирования (2%) и обеспечением необходимых вычислительных мощностей (2%).

Информация о барьерах и рисках развития SPDM-систем, присутствующих на отечественном рынке была дополнена на основе открытых источников информации. Полученный перечень представлен в таблице 13, после каждая проблема описана более подробно.

Таблица 13. Перечень барьеров и рисков развития систем на отечественном рынке

№	Барьеры и риски развития систем
1	Трудности в интеграции SPDM-системы с уже существующими на предприятии системами [133]
2	Недостаточное понимание принципов и практик SPDM-систем среди разработчиков [134]
3	Неполное или неэффективное тестирование безопасности [134]
4	Низкие темпы внедрения SPDM-решений в промышленности [133]
5	Недостаточное понимание высшим руководством предприятий важности и преимуществ SPDM-систем [135]
6	Отсутствие быстрого и очевидного возврата инвестиций [135]
7	Сложность SPDM-систем для не квалифицированных специалистов в области CAE [135]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

1. Трудности в интеграции SPDM-системы с существующими на предприятии системами и программными решениями. Интеграция может требовать разработку дополнительных программных интерфейсов или модулей, что увеличивает затраты и время на внедрение, а также привести к проблемам переноса данных между системами и уязвимости безопасности [133].
2. Недостаточное понимание принципов и практик систем управления процессами и данными компьютерного моделирования среди разработчиков [134]. Это приводит не только к проблемам при внедрении, но и при последующем обслуживании и поддержке. Данный барьер связан с рядом причин, например, неактуальная документация, недостаточное применение знаний на практике, нехватка обучения и другое.
3. Неполное или неэффективное тестирование безопасности, что приводит к нераспознанным уязвимостям и нарушениям системы безопасности. От уровня безопасности каждого элемента зависит информационная безопасность и устойчивость перед кибератаками всего предприятия [134]. Предприятие может не обнаружить все уязвимости в коде SPDM-системы по причине недостаточного тестирования. Это связано с тем, что тесты охватывают не все функциональные аспекты системы. Данный барьер может привести не только к раскрытию данных, но и к нарушению бизнес-процессов предприятия.
4. Низкие темпы внедрения SPDM-решений в промышленности сохраняются, несмотря на актуальность внедрения данных систем и их очевидные преимущества [136]. Ключевые причины:
 - Высокие затраты на внедрение.
 - Многие предприятия сохраняют приверженность текущим методам работы и не планируют изменений в сторону новых технологий.
 - Недостаток экспертизы и другие причины, упомянутые в данном подразделе.
 - Недостаточное понимание высшим руководством предприятий важности и преимуществ SPDM-систем, что связано с рядом причин [135]:
 - Отсутствие опыта и необходимых знаний в области систем управления процессами и данными компьютерного моделирования, поскольку многие руководители не имеют технического образования или релевантного опыта работы.
 - SPDM-системы из-за своей специфики могут показаться слишком сложными.
 - Некоторые предприятия сфокусированы на краткосрочных результатах, что замедляет процесс внедрения инновационных систем.
 - В некоторых отраслях недостаточно или вовсе отсутствуют успешные кейсы внедрения подобных систем.
5. Отсутствие быстрого и очевидного возврата инвестиций (коэффициент окупаемости инвестиций) по сравнению с некоторыми другими системами, например, ERP [135]. Данная проблема связана со сложностью оценки экономической эффективности от внедрения системы управления процессами и данными компьютерного

моделирования. Помимо этого, эффект от внедрения данных решений часто не отражается в краткосрочной финансовой отчетности.

6. Сложность SPDM-систем для не квалифицированных специалистов в области современных систем инженерного анализа заключается в сложности интерфейсов с точки зрения технических навыков, что может привести к ошибкам и снижению общей эффективности [135].

В заключение, эффективное внедрение и поддержка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования требуют комплексного подхода. Отечественным компаниям следует с особым вниманием подходить к оценке и управлению возможными рисками для минимизации возникновения проблем и обеспечения результативного функционирования SPDM-систем.

7.2. Необходимые действия для преодоления барьеров и решения проблем

Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» совместно с Передовой инженерной школой «Цифровой инжиниринг», АНО «ЦКИТ» и при поддержке Минпромторга России провел масштабное исследование, направленное на выявление ключевых препятствий в развитии отечественного ПО для цифрового проектирования и моделирования. Исследование проходило в два этапа с октября по ноябрь 2023 года. Через систему ГИСП были приглашены 10 000 российских промышленных предприятий, из которых 220 приняли участие в опросе, а 108 предоставили полностью заполненные анкеты, что обеспечило репрезентативность исследования. Одним из ключевых вопросов исследования стало определение конкретных мер по преодолению существующих барьеров в сфере цифрового проектирования и моделирования. Анализ ответов респондентов позволил выявить основные направления необходимых действий.

Респонденты отмечают критическую важность государственного участия в развитии отрасли. Основные предложения включают внедрение механизмов государственного финансирования разработки отечественного ПО, создание системы субсидирования предприятий при внедрении российских решений, формирование целевых государственных заказов и совершенствование нормативно-правовой базы в сфере цифрового проектирования. Особое внимание уделяется необходимости развития кадрового потенциала через интеграцию обучения работе с отечественным ПО в программы высших учебных заведений, создание системы повышения квалификации действующих специалистов, разработку специализированных обучающих программ и меры по повышению престижа инженерных профессий. В области совершенствования программного обеспечения респонденты выделяют следующие приоритеты: адаптация существующих решений под потребности конкретных предприятий, повышение качества и расширение функциональности ПО, обеспечение интеграции между различными системами и разработка удобных пользовательских интерфейсов.

Респонденты указывают на необходимость оптимизации ценовой политики, создания льготных условий для первичного внедрения. Отмечается важность развития технической инфраструктуры, включая обеспечение необходимой вычислительной техникой, создание современной IT-инфраструктуры и развитие высокопроизводительных вычислительных мощностей.

Реализация предложенных мер позволит существенно ускорить развитие отечественного программного обеспечения в сфере цифрового проектирования и моделирования и обеспечить технологическую независимость российской промышленности.

Информация о действиях, необходимых для преодоления барьеров и решения проблем, была дополнена на основе открытых источников информации. Полученный перечень представлен в таблице 14, после каждое решение описано подробно.

Таблица 14. Перечень барьеров развития систем на российском рынке и предлагаемые решения для их преодоления

№	Барьеры и риски развития систем	Предлагаемые решения для преодоления барьеров
1	Трудности в интеграции SPDM-системы с существующими на предприятии системами	Проведение анализа систем с дальнейшей разработкой плана интеграции; разработка стандартов для форматов данных и протоколов обмена [133]
2	Недостаточное понимание принципов и практик SPDM-систем среди разработчиков	Проведение регулярного обучения [134]; обновление и создание доступной документации; привлечение опытных специалистов; внедрение на предприятиях практических кейсов
3	Неполное или неэффективное тестирование безопасности	Привлечение сторонних специалистов; внедрение многоуровневого подхода; организация обучения для сотрудников; проведение периодического повторного тестирования; анализ результатов и документирование [135]
4	Низкие темпы внедрения SPDM-решений в промышленности	Проведение тестирования системы предварительно на ограниченном сегменте; разработка упрощенных для использования интерфейсов; комплексное и своевременное планирование бюджета [136]
5	Недостаточное понимание высшим руководством предприятий важности и преимуществ SPDM-систем	Демонстрация долгосрочных преимуществ систем; организация обучения для высшего руководства предприятий; фокусировка на стратегическое планирование [135]
6	Отсутствие быстрого и очевидного возврата инвестиций	Разработка методики оценки долгосрочной экономической эффективности систем; установка конкретных метрик для оценки эффекта от внедрения систем [135]
7	Сложность SPDM-систем для неспециалистов в области CAE	Проведение обучения; обеспечение системной технической поддержки; постепенное внедрение систем; разработка интуитивно понятных интерфейсов [135]

1. Проблему интеграции систем управления процессами и данными компьютерного моделирования с существующими системами можно решить следующим способом: проведение анализа систем с дальнейшей разработкой плана для обеспечения эффективной интеграции SPDM-систем с другими системами [133]. Помимо этого, со статистической обработкой информации поможет разработка стандартов для форматов данных и протоколов обмена, что приводит к единообразию в представлении информации.
2. Проблема с недостатком знаний в области принципов и практик SPDM-систем решается следующим образом:
 - Проведение регулярного обучения по SPDM-системам [134].
 - Обновление и создание доступной документации.
 - Привлечение опытных специалистов для наставничества.
 - Внедрение на предприятиях практических кейсов для применения принципов систем управления процессами и данными компьютерного моделирования.
3. Рекомендованные действия по улучшению тестирования системы безопасности [135]:
 - Привлечение сторонних специалистов для проведения независимого аудита системы безопасности.
 - Внедрение многоуровневого подхода к тестированию.
 - Организация обучения для сотрудников, которые ответственны за безопасность и тестирование.
 - Проведение периодического повторного тестирования с помощью формирования графика регулярных проверок.
 - Анализ результатов и документирование для улучшения процесса тестирования и системы в целом.
 - Сертификация ФСТЭК.
4. Предлагаемые решения по ускорению внедрения систем управления процессами и данными компьютерного моделирования в промышленности [136]:
 - Проведение тестирования системы предварительно на ограниченном сегменте, что способствует качественной оценке эффективности с дальнейшей демонстрацией результатов для руководства и сотрудников.
 - Разработка упрощенных для использования интерфейсов с подсказками от экспертов для того, чтобы расширить базу пользователей.
 - Комплексное и своевременное планирование бюджета.
5. Некоторые рекомендации по решению проблемы недостаточного понимания руководством преимуществ SPDM-систем [135]:
 - Демонстрация долгосрочных преимуществ данных систем для деятельности предприятия с акцентом на повышение эффективности разработки продуктов.
 - Организация обучения для высшего руководства предприятий.

- Фокусировка деятельности на стратегическое планирование.
- 6. Решением отсутствия быстрого и очевидного возврата инвестиций является разработка методики оценки долгосрочной экономической эффективности SPDM-систем, включая сокращение времени вывода продукта на рынок, а также установка конкретных метрик, с помощью которых можно более точно оценить эффект от внедрения системы [135].
- 7. Барьер, связанный со сложностью SPDM-систем для неспециалистов в области CAE, можно решить с помощью следующих инструментов [135]:
 - Проведение обучения.
 - Обеспечение системной технической поддержки и наставничества для сотрудников предприятия.
 - Постепенное внедрение SPDM-систем.
 - Разработка интуитивно понятных интерфейсов систем.

В заключение, внедрение системы управления процессами и данными компьютерного моделирования – это комплексный процесс, который требует тщательного планирования: анализ деятельности предприятия, обучение сотрудников, пересмотр подхода к оценке экономической эффективности и другое. Также важно учитывать особенности систем, планируемых к внедрению, и подрядчика, который будет сопровождать процесс внедрения для того, чтобы получить качественный результат в требуемые сроки.

ГЛАВА 8. АНАЛИЗ В СООТВЕТСТВИИ С НАПРАВЛЕНИЯМИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 2024

Настоящая глава сфокусирована на прикладных направлениях аналитических исследований, необходимых для достижения технологией создания расчетных цепочек (WorkFlow) УГТ 6. В рамках раздела проведено аналитическое исследование функциональных возможностей и особенностей реализации расчетных цепочек (WorkFlow) в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах по блокам (подразделам):

- Характеристика расчетных цепочек (WorkFlow).
- Анализ функциональных возможностей SPDM-систем и особенностей реализации расчетных цепочек (WorkFlow) в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах, в т.ч.:
- Анализ функциональных возможностей реализации расчетных цепочек (WorkFlow) в SPDM-системах.
- Анализ особенностей реализации расчетных цепочек (WorkFlow) в SPDM-системах.
- Разработка предложений для достижения 6-го уровня готовности технологий, развиваемых в рамках научных исследований.

8.1. Характеристика расчетных цепочек (WorkFlow)

Автоматизированные расчетные цепочки (workflow) – это механизм, позволяющий автоматизировать процесс комплексного расчета, включающего использование нескольких видов инженерного программного обеспечения [134]. Обеспечивая удобную среду для цифрового моделирования и принятия обоснованных решений в отношении разрабатываемой конструкции, расчетные цепочки способствуют повышению эффективности в инженерной деятельности и повышению конкурентоспособности конечного продукта.

Цели создания и применения автоматизированных расчетных цепочек включают:

- сокращение трудоемкости расчетов при проектировании за счет автоматизации типовой последовательности выполняющихся расчетов (до 60-70%);
- сокращение времени на поиск и обмен информацией необходимой для проведения расчетов (до 80%-90%);
- получение конструкции с заданными параметрами с полным расчетным обоснованием;
- возможность итерационной оптимизации конструкции на основе результатов расчетов;
- уменьшение отклонений исходных требований и результатов расчета;
- автоматизированное формирование отчетных форм по результатам сравнения исходных требований и результатов расчета.

Создание автоматизированных расчетных цепочек должно сопровождаться созданием единой системы хранения исходных данных и результатов расчетов. Актуальными функциональными возможностями при внедрении инструментов создания автоматизированных расчетных цепочек также является информирование участников процесса о статусе выполнения расчета по запросу, отслеживание изменений в исходных данных расчета и автоматическое изменение статуса актуальности расчета.

Примеры направлений применения инструментов для создания автоматизированных расчетных цепочек включают:

- Оптимизация параметров: итеративный поиск оптимальных параметров конструкции с использованием методов оптимизации.
- Проверка соответствия нормам: автоматическое сравнение результатов расчета с требованиями стандартов.
- Создание отчетов: автоматическое формирование отчетов с результатами расчета (включая графики и др.)
- И пр.

Автоматизированные расчетные цепочки имеют высокий потенциал применения в таких высокотехнологичных отраслях:

- Аэрокосмическая промышленность: механика деформируемого твердого тела, механика композиционных материалов и композитных структур, динамика и прочность, вибрации, механика жидкости и газа, аэродинамика, теплообмен и др.;
- Машиностроение: механика деформируемого твердого тела, механика композиционных материалов и композитных структур, динамика и прочность, вибрации, механика жидкости и газа, теплообмен, акустика и др.;
- Автомобилестроение: динамика и прочность машин, вибрации, виброакустический комфорт, нелинейная динамика деформируемого твердого тела, механика жидкости и газа, гидравлика, теплообмен, технологическая механика, листовая штамповка, сварочные процессы и др.;
- Нефтегазовая промышленность: механика деформируемого твердого тела, механика композиционных материалов и композитных структур, динамика и прочность, вибрации, механика жидкости и газа, моделирование потоков жидкости и газа, теплообмен, проектирование трубопроводов, сейсмика, механика грунтов и др.;
- Атомное машиностроение: механика деформируемого твердого тела, механика композиционных материалов и композитных структур, динамика и прочность, вибрации, механика жидкости и газа, моделирование потоков жидкости и газа, теплопроводность и теплообмен, проектирование трубопроводов, сейсмика, расчеты тепловых и нейтронных процессов и др.

Применение автоматизированных расчетных цепочек в России активно развивается, однако на текущий момент далеко не все промышленные предприятия внедрили инструменты, позволяющие создавать автоматизированные расчетные цепочки. Так, в России используется как зарубежное программное обеспечение для создания и управления автоматизированными расчетными цепочками (распространены продукты на базе ANSYS, COMSOL, MATLAB и пр.), так и отечественные разработки. Уровень развития отечественного ПО в этой области варьируется: для некоторых задач доступны конкурентоспособные решения, в то время как в других областях зарубежные аналоги пока превосходят отечественные.

Расширение применения инструментов разработки автоматизированных расчетных цепочек может сдерживаться следующими факторами:

- Разработка и внедрение автоматизированных расчетных цепочек требует участия

высококвалифицированных специалистов, поэтому существует потребность в повышении квалификации инженеров в области программирования и использования специализированного ПО.

- Интеграция данных: интеграция различных систем проектирования и моделирования (CAD, CAE) для эффективной работы автоматизированных расчетных цепочек может быть сложной задачей, особенно в условиях использования смешанного набора программного обеспечения.
- Доступность ресурсов: в некоторых областях доступность вычислительных ресурсов может ограничивать масштаб применения автоматизированных расчетных цепочек.
- Специфика отраслей: в некоторых отраслях (например, в оборонной промышленности) применение автоматизированных расчетных цепочек может быть ограничено требованиями безопасности и импортозамещения.
- Финансирование: доступность финансирования для разработки и внедрения автоматизированных расчетных цепочек может быть ограничена, особенно для небольших компаний.

В перспективе ожидается дальнейшее развитие и внедрение инструментов создания и применения автоматизированных расчетных цепочек в России. В числе стимулирующих факторов можно отметить государственные программы по импортозамещению, растущую потребность в повышении эффективности и качества проектирования в высокотехнологичных отраслях промышленности. Ключевыми факторами также являются развитие отечественного ПО, повышение квалификации специалистов и повышение возможностей интеграции различных систем проектирования.

Как было отмечено ранее, распространение инструментов работы с расчетными цепочками позволяет сократить затраты труда и времени инженеров на рутинные рабочие операции и сконцентрироваться на наиболее сложных задачах анализа и принятия решений. На рисунках 9-10 отражены традиционный подход и цикл работы с CAD/CAE-системами после автоматизации части процессов препроцессинга.

Рисунок 9. Традиционный цикл работы с CAD/CAE

Традиционный процесс из CAD в CAE



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Novus Nexus [137]

Рисунок 10. Цикл работы с CAD/CAE после автоматизации части процессов препроцессинга

Преодоление дилеммы «Well Traveled Path»

Переход от зависимости от геометрии к независимости от геометрии

- Многоразовые шаблоны моделей с независимой геометрией – абстрактные модели
- Автоматизация с помощью конфигурации абстрактных моделей



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Novus Nexus [137]

Как отмечает Сергей Морозов [138], автоматизированные расчетные цепочки состоят из блоков и связей и обеспечивает:

- Интуитивное и визуальное представление сложных цепочек вычислений.
- Реализацию логических операций и вложенных циклов.
- Параллелизацию, (ограниченный) удаленный запуск.
- Кэширование и повторное использование данных.

Автоматизированные расчетные цепочки позволяют сократить время расчетов за счет автоматизации процесса по созданию моделей, в частности благодаря автоматизации передачи данных и параллельных многодисциплинарных вычислений [139, 140].

- В контексте создания и применения автоматизированных расчетных цепочек наиболее важными характеристиками, принятыми для оценки надежности, являются: Возможность распределенных вычислений.
- Возможность реализации набора шаблонов потоков управления и др. [141].

Работа с расчетными цепочками в составе PIDO

На зарубежном рынке инструменты разработки и применения автоматизированных расчетных цепочек могут рассматриваться в составе средств интеграции процессов и оптимизации проектирования (**Process Integration and Design Optimization, PIDO**). PIDO автоматизируют интеграцию и

взаимодействие различных CAE-систем, участвующих в решении задач моделирования с помощью создания расчетных цепочек [141].

Инструменты PIDO позволяют организовать междисциплинарный анализ и рабочие процессы оптимизации конструкции, интегрируя различные инструменты и методологии моделирования.

Основная цель инструментов PIDO – обеспечить коллаборативную работу различных команд и в рамках различных инженерных дисциплин, оптимизировать процессы проектирования и повысить потребительские характеристики разрабатываемых изделий или продукции [142].

Инструменты PIDO – это программные фреймворки, разработанные для мультидисциплинарной оптимизации (Multi-disciplinary design optimization, MDO), которые обеспечивают интеграцию с отдельными инструментами CAD/CAE для проведения автоматизированного параметрического анализа, исследований в области проектирования экспериментов (Design of Experiments, DOE), статистического анализа и многоцелевой оптимизации (Multi-objective optimization) [143].

С помощью автоматизированных расчетных цепочек можно построить расчетный агрегат, в котором различные программные пакеты можно будет использовать:

- Последовательно - управление и данные передаются от одного программного пакета другому.
- Условно - управление передается программному пакету при выполнении определенного условия.
- Циклически - один и тот же программный пакет обрабатывает определенное количество раз.
- Параллельно - данные и управление из одного программного пакета передаются одновременно нескольким.

При этом результаты расчетов будут переданы от одного компонента расчетного агрегата другому [134]. По оценкам экспертов компании ESTECO, инструменты, составляющую PIDO-систему, должны обладать рядом взаимодополняющих возможностей:

- Формализация и управление рабочим процессом для гибкой и динамичной обработки процессов любой сложности.
- Набор экспериментальных и статистических инструментов для определения того, какие параметры вносят наибольший вклад.
- Набор методов, технологий и стратегий для многоцелевой и междисциплинарной оптимизации.
- Метамоделирование и использование суррогатных моделей.
- Диаграммы для визуализации результатов с целью их удобной интерпретации.
- Набор методов поддержки принятия решений, которые позволяют обосновывать и документировать принимаемые решения.
- Усовершенствованные вероятностные и статистические методы (метод шести сигм) [144].

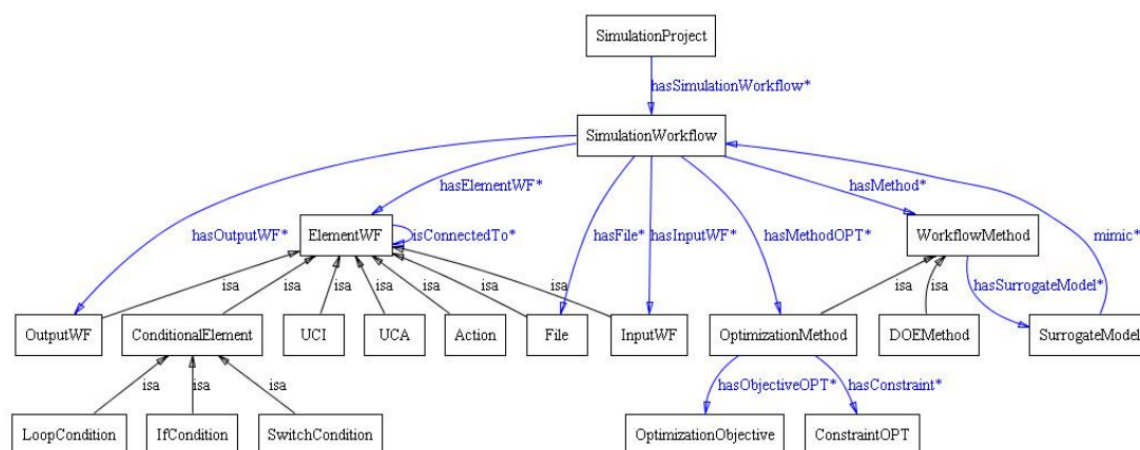
Преимущества использования PIDO, таким образом, сводятся к следующим аспектам:

- Сокращение времени проектирования.
- Обеспечение систематизированной и логичной процедуры проектирования.

- В большинстве инструментов создания автоматизированных расчетных цепочек есть возможность связать с проектом моделирования одну или несколько расчетных цепочек, представляющих различные задачи моделирования. Типовая расчетная цепочка состоит из последовательности элементов, которые соединяются друг с другом, также называемых узлами (рисунок 11). В зависимости от принятой системы управления, может быть несколько различных элементов, которые размещаются в определенную пользователем последовательность для того, чтобы формализовать конкретную задачу моделирования. Поверх использованного процесса моделирования могут применяться многочисленные типы методов. Набор доступных методов также зависит от используемой системы управления проектированием.

Однако из-за сложности рассматриваемого процесса одна итерация моделирования с использованием расчетной цепочки требует больших вычислительных и временных затрат. В этом случае суррогатные модели, имитирующие поведение процесса, заданного расчетной цепочкой, могут выступать в качестве эффективного подхода для поиска решения задачи оптимизации и поэтому находят все более широкое применение [141] (см. рисунок 12).

Рисунок 12. Основные концепции и связи, описывающие типичную расчетную цепочку в PIDO-системе



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным [141]

При проектировании продукта инженерам необходимо провести многодисциплинарный анализ с учетом потенциально конфликтующих требований, требующих балансировки. Балансировка требований по разным дисциплинам и одновременная оптимизация моделей изделия выходят за пределы функциональных возможностей CAE-систем. В реализации таких задач разработчикам могут помочь PIDO-системы, включающие в себя возможности создания автоматизированных расчетных цепочек [141].

Требования к свойствам проектируемого изделия, зафиксированные в техническом задании на его разработку и изготовление, преобразуются в систему взаимосвязанных требований, целевых показателей и ресурсных ограничений. В отличие от начальных требований, которые приведены в техническом задании и, как правило, исчисляются единицами значений, производные целевые показатели могут исчисляться десятками тысяч. Их количество определяет степень детализации свойств проектируемого изделия и уровень контроля над обликом перспективного продукта. Каждая фаза такого моделирования может быть определена как отдельный модуль, а каждый отдельный модуль может быть описан как конечная группа тесно связанных между собой отношений. Эти отношения могут находиться в ведении конкретного специалиста (главного инженера проекта) или отдела и могут иметь некоторые переменные, представляющие собой независимые входы или зависимые выходы. Отдельный модуль процесса проектирования обычно представляется «черным ящиком» для других сотрудников или подразделений.

Зачастую инженеры склонны концентрироваться на улучшении показателей в пределах их профильных дисциплин, в которых они обладают наибольшей компетентностью и которые они могут контролировать напрямую. При этом зачастую такой подход влияет на взаимосвязанные параметры, что приходится учитывать другим отделам и специалистам по другим дисциплинам, что может приводить снижению общей конкурентоспособности продукта.

В силу этого оптимальное решение одного отдела не обязательно приведет к глобальному оптимуму в рамках всего процесса проектирования. Несколько упрощая, можно сказать, что определение оптимального алгоритма проектирования в сложной инженерной системе требует анализа, учитывающего взаимодействие между несколькими дисциплинами.

На решение задач такого анализа ориентированы системы PIDO. Отдельные системы PIDO, такие как, например, modeFRONTIER, могут помочь инженерам выстроить и формализовать все взаимосвязи между параметрами изделия. Использование PIDO-систем может помочь инженерам быстро исследовать несколько вариантов исполнения конструкции, проанализировать влияние нескольких взаимно конфликтующих целей оптимизации и определить наиболее удовлетворяющий всем предъявляемым требованиям вариант конструкции изделия [144].

Кейс ANSYS

Как отмечают специалисты ANSYS, продвинутое моделирование стало неотъемлемой частью процессов разработки продуктов и сейчас разработчики во всём мире выходят на новый уровень деятельности, требующий новых цифровых методик - одной из которых является интеграция всех инструментов CAD/CAE, используемых для оценки конструкций, в автоматизированные расчётные цепочки. Цифровые инструменты и междисциплинарный подход позволяют исследовать явления более целостно и в большей степени оптимизировать их. Кроме того, стандартизация процессов моделирования позволяет вовлекать большее число участников из инженерных команд, что позволит начинающим специалистам в моделировании получить более прямой доступ к моделям (см. рисунок 13).

Рисунок 13. Интеграция процессов как необходимый элемент автоматизации расчетных цепочек



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам Ansys, 2024

В позиции Ansys, отнимающий много времени ручной поиск наилучшей и наиболее надежной конфигурации конструкции теперь можно ускорить при помощи использования PIDO-систем, таких как Ansys optiSlang, добавив современные алгоритмы для исследования, оптимизации, анализа прочности и надежности конструкции [146].

Интеграция PIDO и SPDM систем

Функциональные возможности, обеспечивающие работу с расчетными цепочками, внедряются во все большее число программных систем. Необходимо отметить, что автоматизация расчетных цепочек, равно как и функциональные возможности SPDM-систем, лежат на границе между функциональными возможностями CAE-систем и систем поддержки жизненного цикла продукта (PLM-систем). В силу этого данные возможности могут реализовываться как в рамках CAE-систем, SPDM-систем или быть включенными в более масштабную PLM-систему. Дополнительно, анализ текущей ситуации развития инструментов создания автоматизированных расчетных цепочек усложняет следующее. Небольшие компании, специализирующиеся на разработке отдельных программных систем (в том числе SPDM-систем), часто становятся объектами поглощения со стороны крупных технологических вендоров. В результате таких поглощений, функциональные возможности разработанных ими систем интегрируются в более крупные продуктовые линейки вендоров. Это приводит к тому, что становится сложно однозначно идентифицировать, какая именно подсистема (или часть кода) отвечает за реализацию конкретной функциональности, такой как запуск расчетных цепочек или их автоматизация. Тем не менее, ряд разработчиков продолжают целенаправленно разрабатывать и внедрять SPDM-системы с акцентом на развитие и совершенствование функциональности для эффективной работы с расчетными цепочками.

В ряде случаев использование систем PIDO в тесной интеграции с SPDM-системами рассматривается как способ реализации модели-ориентированного системного инжиниринга (MBSE). Как отмечают Д.В. Бузлаев, Е.А. Бедняков, М.Л. Живирихин, представляющие компанию DATADVANCE, в статье «Применение программной платформы rSeven для повышения эффективности ГТД» [147], распространенные в российских инженерных организациях проблемы экспоненциального роста количества численных моделей и проводимых с их помощью вычислений, при сохранении небольшого числа инженеров-расчетчиков, взаимной изоляции расчетных отделов между собой и вопросы используемой устаревшей руководящей документации могут быть решены за счет внедрения SPDM-систем.

Как утверждают авторы статьи, от скорейшего внедрения таких систем зависит переход к эффективному созданию и использованию «цифровых двойников» и предиктивному обслуживанию в высокотехнологических отраслях, таких как двигателестроение.

SPDM меняет представление о процессе работы с расчетной моделью от множества интуитивно изменяемых пользователем моделей к систематической работе с параметризованными моделями. PIDO системы становятся двигателями для SPDM-систем, позволяя перейти от параметризованных моделей, управляемых инженером вручную, к полностью автоматизированному анализу и поиску наилучших вариантов изделия.

Можно выделить следующие уровни автоматизации расчетных работ на современном предприятии:

- Отдельные модели и расчеты в разных отделах. Сохранение вариантов вручную, отслеживание истории их создания с помощью правил именования файлов на диске.
- Начальный этап внедрения SPDM-системы: управление параметрами модели вручную. Автоматическое отслеживание вариантов с поддержкой версионности.

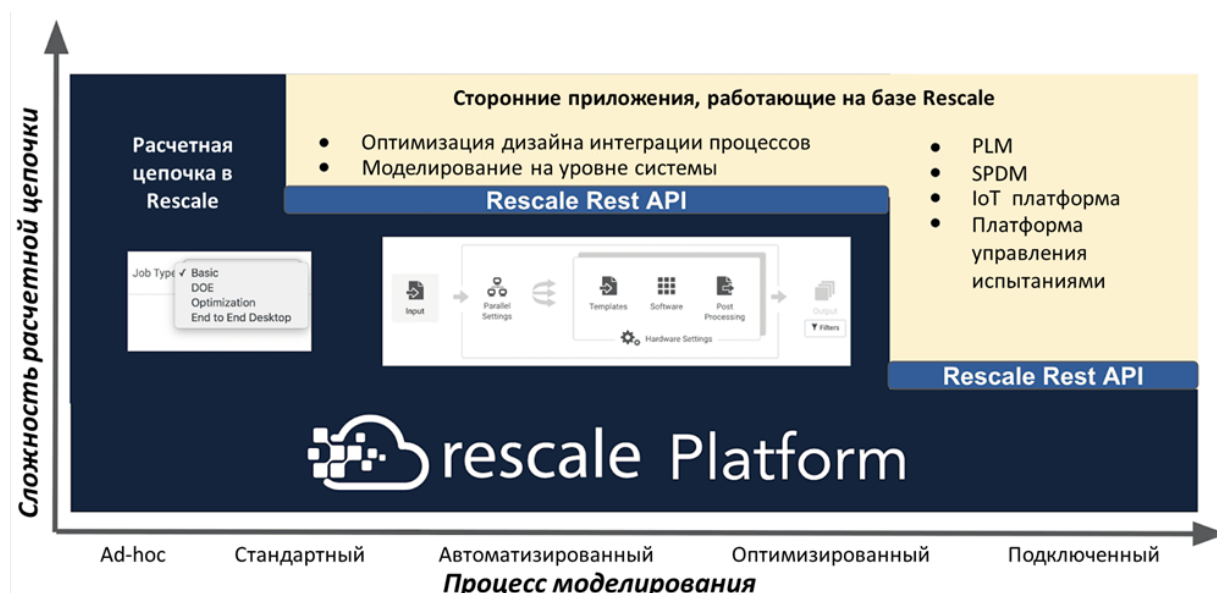
- Начальный этап внедрения PIDO системы, интегрированной в SPDM: стандартные мультифизические цепочки, автоматическая передача моделей и параметров из одной расчетной области в другую.
- Использование стандартных расчетных цепочек в рамках исследования пространства проектных параметров с учетом или без учета ограничений в PIDO-системе в рамках SPDM. Автоматическая генерация серии различных вариантов изделия с последующей автоматизированной пост-обработкой избранных результатов из множества моделей. Применение методов планирования (адаптивного) эксперимента (DOE, ADOE).
- Многокритериальная мультидисциплинарная оптимизация (MDO) с использованием стандартных расчетных цепочек в PIDO системе в рамках SPDM.
- Построение в PIDO системе суррогатной модели по результатам планирования эксперимента и оптимизации для последующего создания «цифрового двойника». [147]

Как утверждают представители компании Datadvance, внедрение SPDM- в сочетании с PIDO-системой, обладающей упрощенным пользовательским интерфейсом, может позволить «демократизировать» мультидисциплинарные расчёты и вовлечь в математическое моделирование большее число сотрудников организации. Причём это создаёт возможности работы не только с масштабными конечно-элементными моделями, но и с упрощенными суррогатными моделями. [147]

Тем не менее, вопросы интеграции SPDM и PIDO систем не являются беспроблемными.

Специалисты компании Rescale, обращают внимание, что внедрение SPDM-систем в течение долгого времени сдерживались рядом барьеров, таких как нехватка открытых стандартов, большая часть SPDM-систем являются локальным и закрытыми; закрытостью устоявшихся процессов работы с данными моделирования, принятыми в инжиниринговых организациях, затрудняющими внедрение SPDM-систем и, наконец, необходимостью значительных трудозатрат на внедрение таких систем в бизнес-процессы компаний [43]. С точки зрения компании Rescale, эти барьеры можно обойти за счет использования облачной архитектуры SPDM-систем. Подобная архитектура также позволит облегчить работу по автоматизации расчетных цепочек (см. рисунок 14).

Рисунок 14. Внедрение SPDM-систем и автоматизация работы с расчетными цепочками



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по материалам Rescale [43]

Облачная SPDM-платформа, в сочетании с PIDO-средствами, с точки зрения разработчиков Rescale должна превратить сложный, запутанный и неудобный процесс работы с высокопроизводительными системами в нечто легкое в обслуживании, простое в интеграции и интуитивно понятное в использовании. SPDM-платформа должна обеспечить необходимый уровень абстракции, автоматизировать перемещение данных, оркестровку процессов и создание информационных панелей в приложениях и средах выполнения.

Проектирование сложных высокотехнологичных продуктов с применением SPDM-систем, таких как Цифровая платформа CML-Bench[®], подразумевает балансировку системы взаимосвязанных целевых показателей, при том, что работа с тысячами показателей находится за гранью осознания и интуиции даже самых высококлассных инженеров. Функции управления матрицей требований предоставляют инженеру необходимую поддержку процесса согласования иерархических и взаимосвязанных показателей. Визуализация матрицы требований с цветовой индикацией степени соответствия показателей, полученных в результате цифровых (виртуальных) испытаний, требуемым интервалам значений создает возможность комплексного мониторинга и анализа влияния показателей или группы показателей друг на друга. В результате может быть получено несколько вариантов конструкции, различающихся экономикой, технологиями изготовления и материалами и открывающих возможность формирования гибкой стратегии вывода на рынок разрабатываемого высокотехнологичного изделия.

8.2. Анализ функциональных возможностей SPDM-систем и особенностей реализации инструментов создания расчетных цепочек в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах

8.2.1. Анализ функциональных возможностей инструментов создания

расчетных цепочек в SPDM-системах

В рамках настоящего раздела основное внимание уделяется SPDM-системам, лидирующим на мировом рынке инженерного программного обеспечения, лидерам рынка, предоставляющим платформенные инженерные решения, а также нишевые решения.

У лидеров платформенных решений расчетные цепочки часто включены в отдельный инструмент, который при этом не является SPDM, поэтому в таблице 15 были выделены функциональные возможности при реализации расчетных цепочек (WorkFlow) у вендоров SPDM-систем, у которых в каком-либо из продуктов присутствуют расчетные цепочки.

Таблица 15. SPDM-системы и наличие инструментов создания расчетных цепочек

№	Наименование компании – разработчика	Наименование SPDM-системы	Характеристика функциональных возможностей SPDM-систем при реализации расчетных цепочек (WorkFlow)
1	ESTECO	VOLTA (расчетные цепочки в отдельном инструменте - modeFRONTIER)	• интеграция с любым CAE, CAD, CFD и другим междисциплинарным инженерным ПО • распределенное и параллельное проектирование • инструменты планирования экспериментов (design of experiments) и статистические инструменты • инструменты многодисциплинарной оптимизации • метамоделирование • визуализация результатов, полученных в ходе многодисциплинарной оптимизации • инструменты поддержки принятия решений • проверка надежности решений • партнеры: ABAQUS Software Alliance, AMESim Partner, ANSYS ESP Program, CD-adapco Software Partner, CST Cooperation Partner, Flowmaster Partner, Linux Networx (LNXI) Partner, MathWorks Connection Program [144]
2	Ansys	Minerva (расчетные цепочки в отдельном инструменте - optiSlang)	• интеграция с CAE, CAD и другим междисциплинарным инженерным ПО [146] • планирование экспериментов и анализ

№	Наименование компании – разработчика	Наименование SPDM-системы	Характеристика функциональных возможностей SPDM-систем при реализации расчетных цепочек (WorkFlow)
			чувствительности [148] • использование алгоритмов оптимизации на основе искусственного интеллекта и машинного обучения • оценка надежности и количественная оценка неопределенности [149]
3	Siemens	TEAMCENTER	• интеграция с CAD, CAE • шаблонизированные и автоматизированные расчетные цепочки, которые позволяют устранить ручные задачи и ошибки в процессе создания модели • повторное использование данных и моделей, что позволяет сэкономить время и обеспечить качество результатов • мультидисциплинарная оптимизация [150]
4	Cadence	BETA CAE KOMVOS	• интеграция с CAE • обработка данных в режиме реального времени • экспорт данных для обработки в автономном режиме [149]
5	Rescale	SPDM in HPC	• интеграция с одним или несколькими приложениями, которые выполняют расчеты для одного изделия • планирование экспериментов • оптимизация • использование дополнительных инструментов, связывание и реализации логики с помощью сценариев [43] • управление версиями • параллельное использование [151]
6	Hexagon	SimManager	SimManger предоставляет ряд возможностей по автоматизации процессов, в т.ч. расчетных цепочек: • инструменты управления процессами, включая интеграцию решателей и

№	Наименование компании – разработчика	Наименование SPDM-системы	Характеристика функциональных возможностей SPDM-систем при реализации расчетных цепочек (Workflow)
			высокопроизводительных вычислений, автоматизацию сборки, интеграцию машинного обучения и искусственного интеллекта, а также создание отчетов. • возможности управления рабочими процессами, позволяющие автоматизировать повторяющиеся задачи и оптимизировать инженерные процессы. • инструменты администрирования, включая администрирование пользователей, мониторинг и статистику, для управления пользователями и оптимизации инженерных рабочих процессы [152]
7	CAIQ	SIMWORX	нет упоминания о применении автоматизированных расчетных цепочек [153]
8	Jotne	EDMopenSimDM	нет упоминания о применении автоматизированных расчетных цепочек [154]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний

Как было написано выше, автоматизированные расчетные цепочки встречаются в других инженерных инструментах. Некоторые вендоры не предлагают SPDM-систем на рынке, но при этом у них в продуктовом портфолио есть инструменты, обеспечивающие использование автоматизированных расчетных цепочек и Workflow. В таблице 16 мы рассмотрим характеристики возможностей этих систем при реализации расчетных цепочек.

Таблица 16. Системы, в которых также присутствуют инструменты создания расчетных цепочек

№	Наименование компании – разработчика	Наименование системы	Характеристика функциональных возможностей системы при реализации расчетных цепочек (Workflow)
1	Datadvance	pSeven, pSeven Enterprise	• интуитивное визуальное представление сложных цепочек вычислений • реализация логических операций и вложенных циклов • параллельный и удаленный запуск • кэширование и повторное

№	Наименование компании – разработчика	Наименование системы	Характеристика функциональных возможностей системы при реализации расчетных цепочек (WorkFlow)
			использование данных • машинное обучение и оптимизация • инженерная оптимизация • планирование экспериментов • построение предиктивных моделей • оценка неопределенности • визуализация результатов и возможность повторного использования настроек визуализации [155]
2	Dassault Systèmes	SIMULIA	• интеграция с инструментами моделирования • планирование экспериментов • параметрическая и непараметрическая оптимизация [156]
3	Altair	HyperStudy	• интеграция с инструментами проектирования • мультидисциплинарная оптимизация • интеллектуальный анализ данных • автоматическая генерация данных • управление процессом • планирование экспериментов, применение метода конечных элементов (FEA) • машинное обучение может быть настроено на основе импортированных или сформированных в системе данных [157] • визуализация результатов [158]
4	Noesis Solutions	Optimus	• параллельное использование [159] • параметрическое моделирование [160] • интеграция с инженерными инструментами [161] • планирование экспериментов [162] • все автоматизированные расчетные цепочки можно сделать доступными в качестве шаблона • вложенные рабочие процессы,

№	Наименование компании – разработчика	Наименование системы	Характеристика функциональных возможностей системы при реализации расчетных цепочек (Workflow)
			которые позволяют командам разработчиков каскадировать инженерные цели высшего уровня до самого нижнего уровня иерархии моделирования систем (от системы к компонентам). Каскадирование целей в согласованном порядке и их реализация на любой декомпозированной подсистеме значительно упрощает поиск окончательного оптимального варианта реализации системы [163]

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний

Решения, содержащие в себе автоматизированные расчетные цепочки, чаще всего выделены в отдельные инструменты. Из наиболее часто упоминаемых функциональных возможностей можно отметить следующие:

- Интеграция с инструментами проектирования.
- Планирование экспериментов.
- Мультидисциплинарная оптимизация.
- Визуализация результатов.
- Оценка неопределенности.

8.2.2. Анализ особенностей реализации инструментов создания расчетных цепочек в SPDM-системах

В рамках настоящего раздела особенности реализации расчетных цепочек (Workflow) также рассматриваются на примере компаний – мировых лидеров SPDM, лидеров инженерных платформ, а также нишевых решений

В таблице 17 рассмотрим особенности реализации автоматизированных расчетных цепочек в SPDM-системах и у вендоров-лидеров инженерных платформ, которые также предлагают SPDM-системы.

Таблица 17. Особенности реализации инструмента создания расчетных цепочек в SPDM-системах

№	Наименование компании – разработчика	Наименование SPDM-системы	Особенности реализации инструмента по созданию расчетных цепочек в системе
1	ESTECO	VOLTA (расчетные цепочки в отдельном инструменте - modeFRONTIER)	• построение статистических графиков и проведение тестов, таких как дисперсионный анализ (ANOVA), критерии Хартли и Бартлетта, диаграмма размаха (Box-Whiskers chart), многодиапазонный тест, который показывает, какие значения существенно отличаются от других, таблица значений, показывающая каждое значение вместе с его интервалами неопределенности; • предоставление «сводки статистики», которая содержит одновариантную описательную статистику параметра вместе с простыми статистическими графиками и таблицами. Среди прочего, она содержит график частоты, графики плотности вероятности и кумулятивной функции распределения, а также график квантиль-квантиль и подгонку распределения; • применение широкого спектра возможных алгоритмов для поиска «поверхности компромиссов» (границы Парето, Pareto frontier) для многоцелевой и многодисциплинарной оптимизации; • методы поверхности отклика (Response Surface Methods, RSMs); • содержит методики и диаграммы, которые упрощают и сводят линейные и нелинейные многомерные данные к гораздо более удобным для чтения диаграммам, например, самоорганизующиеся карты (SOM), инструменты для иерархической и партитивной кластеризации, многомерного шкалирования, анализа главных компонент, а также другие инструменты и диаграммы для многомерного анализа; • многокритериальный инструмент принятия решений; • содержит специальные методы выборки на основе методов Монте-Карло и латинского

№	Наименование компании – разработчика	Наименование SPDM-системы	Особенности реализации инструмента по созданию расчетных цепочек в системе
			гиперкуба, а также специальные статистические графики для проверки надежности решений, также есть специальный модуль многоцелевой оптимизации надежной конструкции (multi-objective robust design optimization, MORDO), который позволяет пользователю выполнить анализ надежности конструкции, чтобы проверить чувствительность системы к производственным допускам или небольшим изменениям условий эксплуатации [144].
2	Ansys	Minerva (расчетные цепочки в отдельном инструменте - optiSLang)	• добавление своих алгоритмов; • параметрический вариационный анализ [146]; • автоматическая оптимизация надежности конструкции (RDO); • методы ИИ для проектно-изыскательских работ, метамоделирования и оптимизации конструкции; • панель обзора соединений проекта, на которой отображаются объекты дерева проекта и их соединения [148]; • анализ надежности, производственные допуски, проектирование для шести сигм (Design for Six Sigma) [149].
3	Siemens	TEAMCENTER	Н/д
4	BETA CAE Systems	KOMVOS	Н/д
5	Rescale	SPDM in HPC	• автоматизированная расчетная цепочка может выполняться на высокопроизводительном хранилище, благодаря чему данные, которые совместно используются, не перемещаются во время вычислений [43]
6	Hexagon	SimManager	Н/д

В таблице 18 мы рассмотрим особенности реализации расчетных цепочек в ином инженерном ПО.

Таблица 18. Особенности реализации инструмента создания расчетных цепочек в ином инженерном ПО

№	Наименование компании – разработчика	Наименование системы	Особенности реализации инструмента по созданию расчетных цепочек в системе
1	Datadvance	pSeven, pSeven Enterprise	• выполнение цепочек в многопользовательской распределенной гетерогенной среде (Linux + Windows); • сервер управляет вычислительными ресурсами автоматически; • количество одновременно запущенных рабочих процессов ограничено только лицензией; • мониторинг и управление запущенными процессами из любого места. Статус всех рабочих процессов представлен на панели инструментов; • одно- и многокритериальная, надежная (robust) оптимизация; • графический пользовательский интерфейс, позволяющий задавать параметры задачи при планировании эксперимента; • широкий набор техник для всех типов исследования модели (прямого, последовательного, адаптивного); • полная совместимость с другими инструментами анализа данных и оптимизации; • множество широко известных техник аппроксимации; • контроль над временем построения модели • оценка точности и ошибки построенных моделей; • обнаружение осцилляций и сглаживание • логарифмическое преобразование отклика и точное соответствие; • обработка анизотропных, неоднородных данных, разрывов, данных разной точности • обновление существующих моделей при помощи новых данных и объединение моделей • распространение неопределенностей; • анализ надежности;

№	Наименование компании – разработчика	Наименование системы	Особенности реализации инструмента по созданию расчетных цепочек в системе
			• методы распределения откликов модели (Монте-Карло, LHS метод и другие); • панель уведомлений (события, статусы запусков и др.); • Workflow-by-link - механизм, который позволяет ссылаться на цепочку, а не копировать ее: ○ Специальный блок, похожие по возможностям на Композитный; ○ Позволяет включать одну цепочку в другую как ссылку; ○ Автоматическое создание входных и выходных портов; ○ Поддержка параллельного вызова цепочки по ссылке; ○ Верификация актуальности подключенной цепочки; • версии цепочек (snapshot) и приложений - захват текущего состояния цепочки с возможностью на него ссылаться и вернуться при необходимости: ○ Полное состояние и настройки цепочки могут быть сохранены как версия; ○ Автоматизация создания версий (например, при публикации цепочки в Appshub); ○ Интеграция с механизмом цепочки-по-ссылке – ссылка может быть на конкретную версию; ○ Возврат в предыдущим состояниям без потери наработок; ○ Приложения в Appshub тоже будут иметь версии (с обновлением при перепубликации в то же приложение)
2	Noesis Solutions	Optimus	• автоматический запуск и работа различных инструментов инженерного проектирования достигается путем встраивания прямых

№	Наименование компании – разработчика	Наименование системы	Особенности реализации инструмента по созданию расчетных цепочек в системе
			драйверов, без необходимости программирования пользователем; • если для конкретной инженерной программы не существует прямого драйвера или интерфейса, интеграция может быть осуществлена с помощью механизмов параметризации входных файлов и механизмов синтаксического анализа выходных файлов; • возможность вручную проверять выполнение в пошаговом режиме, чтобы убедиться в правильности интеграции и выполнения автоматизированных расчетных цепочек; • автоматизированная расчетная цепочка может содержать несколько ветвей, каждая из которых содержит одну или несколько инженерных программ. Можно добавить специальные операторы для определения циклов и условных ветвлений, а также вставить точки прерывания в любом месте, чтобы обеспечить вмешательство пользователя

Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по открытым данным компаний, 2024.

Из наиболее часто упоминаемых особенностей реализации можно отметить использование следующих методов:

- Работа с суррогатными моделями (методы поверхностного отклика).
- Оптимизация надежности конструкции.
- Аппроксимация.

8.3. Разработка предложений по созданию и развитию инструментов создания расчетных цепочек (WorkFlow) в составе отечественных SPDM-систем на основе аналитических исследований для достижения УГТ 6

На данный момент в ЦП CML-Bench® реализован в предварительном варианте конструктор процессов, который позволяет строить расчетные цепочки, однако он требует доработки для достижения УГТ 6 [134].

Разрабатываемые в ходе реализации проектов по созданию цифровых двойников изделий автоматизированные расчетные цепочки могут как охватывать полный набор расчетных блоков, так и представлять несколько операций передачи данных и расчетных блоков. Для каждого проводимого типа цифровых испытаний на платформе должна быть создана расчетная цепочка,

включающая необходимые подсистемы инженерного ПО, программные модули предобработки расчетных моделей (препроцессинг), программные модули постобработки результатов расчетов (постпроцессинг). Для выполнения в автоматизированном режиме расчетных цепочек на платформе необходима реализация механизма, осуществляющего передачу выходных данных одних расчетных подсистем в качестве граничных и начальных условий для последующего применения в других расчетных подсистемах.

В результате анализа было выявлено, что внедрение инструментов создания автоматизированных расчетных цепочек требует глубокой кастомизации и учета специфики конкретной отрасли и конкретного предприятия.

С учетом проведенного анализа определены основные требования к реализации технологии создания расчетных цепочек (Workflow):

- Обеспечение автоматизации расчетных цепочек по предоставленным заказчиками (включая внутренних заказчиков) сведениям о процессах расчетных обоснований, используемых в инженерной деятельности.
- Должна быть обеспечена возможность задания и отслеживания целевых показателей и ограничений.
- Достижение целевых параметров должно иметь визуальное отображение.
- Должна быть обеспечена возможность исполнения расчетных модулей как на локальных, так и на удаленных вычислительных ресурсах Должна быть разработана система визуализации стадии выполнения расчета – отображение текущего этапа процесса.
- Выбранные результаты должны размещаться в используемой PLM-системе и храниться в привязке к структуре изделия.
- Должна быть разработана система хранения, кодирования и отображения выбранных параметров, используемых в процессе расчета.
- Должна отображаться актуальность данных расчета и параметров.
- Должна быть предусмотрена модульность системы с возможностью замены каждого из модулей расчетной последовательности. Каждый из модулей должен иметь подробное описание.
- В результате работы должны автоматически выпускаться отчеты по преднастроенным формам (в виде документов, напр. P7-Офис, MS Office).
- Вызов интерфейса для работы с расчетной цепочкой должен быть реализован в используемой PLM-системе.
- Расчетные цепочки должны выполняться на современном программном и аппаратном обеспечении.
- Должно быть обеспечено разграничение прав доступа к данным в соответствии с ролями пользователей.
- Должна быть разработана и согласована клиент-серверная архитектура системы, реализующей данные автоматизированные процессы.
- Должны быть разработаны и переданы инструменты для модификации и развития системы.
- Должна быть выпущена нормативная документация – инструкции по работе с процессами для исполнителей и для администратора.
- Документация, описывающая архитектуру системы, внесение изменений.

- Должен быть передан полный набор документации с описанием способов осуществления взаимодействия с другими модулями и программами.

К инструментам создания автоматизированных расчетных цепочек также применяются требования к масштабированию. Подходы и технические решения, применяемые при автоматизации расчетных цепочек, должны быть применимы для всех поддающимся автоматизации повторяющихся рабочих процессов заказчиков при расчетном обосновании, выполняемом при проектировании. Должна быть возможность подключать дополнительные расчетные модули, не меняя работу отдельных частей.

Особенности применения автоматизированных расчетных цепочек многогранны и зависят от конкретного программного обеспечения и области применения. Однако, можно выделить ряд общих особенностей:

Преимущества:

- Автоматизация рутинных операций: автоматизированные расчетные цепочки значительно ускоряют и упрощают выполнение повторяющихся расчетов, освобождая инженера от монотонной работы и снижая вероятность ошибок. Это особенно важно для сложных проектов с большим объемом данных.
- Повышение точности: автоматизированные расчетные цепочки минимизируют влияние человеческого фактора на результаты расчетов, снижая вероятность ошибок ввода данных и прочих ошибок.
- Улучшение качества проектирования: быстрое получение результатов расчетов позволяет инженеру быстрее и эффективнее исследовать различные варианты проектирования, оптимизируя характеристики изделия и сокращая время разработки.
- Возможность анализа сложных систем: автоматизированные расчетные цепочки позволяют моделировать и анализировать системы высокой сложности, которые практически невозможно рассчитать вручную.
- Интеграция с другими системами: многие автоматизированные расчетные цепочки интегрируются с системами САПР (Computer-Aided Design), что обеспечивает бесшовный обмен данными и автоматизацию всего процесса проектирования.
- Экономия ресурсов: снижение затрат времени и труда инженеров приводит к экономии ресурсов компании.

Недостатки и особенности применения:

- Необходимость обучения: Работа с автоматизированными расчетными цепочками требует освоения специализированного программного обеспечения, навыков настройки расчетных процессов, а также знания принципов их автоматизации.
- Зависимость от качества настройки цепочки: Ошибки при проектировании расчетной цепочки, например, неверное определение последовательности операций или пропуск необходимых шагов, могут привести к недостоверным результатам.
- Ограничения автоматизации: не все расчеты могут быть эффективно автоматизированы, особенно если они включают сложные явления или требуют нестандартных подходов.
- Требования к вычислительным ресурсам: автоматизация расчетных цепочек может потребовать интеграции с высокопроизводительными вычислительными системами, что увеличивает стоимость их внедрения и эксплуатации.

- Интерпретация результатов: Взаимосвязь расчетов в цепочке может усложнить интерпретацию результатов, особенно если отдельные шаги или модели имеют ограниченную точность. Это требует глубокого понимания процессов и допущений, заложенных в цепочку.
- Сложность тестирования и отладки: валидировать расчетные цепочки сложнее, чем единичные расчеты, так как необходимо проверять корректность взаимодействия всех шагов цепочки.

В целом, применение автоматизированных расчетных цепочек существенно повышает эффективность проектирования и анализа, но требует квалифицированного персонала, грамотного подхода к созданию моделей и внимательной интерпретации результатов. Выбор конкретной автоматизированной расчетной цепочки зависит от специфики решаемых задач и имеющихся ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании были проанализированы различные аспекты развития рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-систем).

Современные системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-системы, Simulation Processes and Data Management, SPDM) представляют собой среду (платформу), которая позволяет эффективно управлять конфигурацией данных моделирования, оптимизировать процессы, осуществлять совместную работу глобально распределенных команд, обеспечивать прозрачность и прослеживаемость и принимать решения по оптимизации продукта/изделия.

Такие системы связывают входные и выходные данные программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга), повышая степень автоматизации, обеспечивая прослеживаемость цифровых испытаний и улучшая процесс математического и компьютерного моделирования.

SPDM-системы позволяют обеспечить прозрачность и контролируемость процесса разработки, принятие обоснованных решений; упрощают работу с результатами цифровых испытаний, включая цифровые испытания на цифровых испытательных стендах и полигонах, а также формирование отчетов.

В первой главе представлен анализ мирового и российского рынка, а именно емкость рынков и темпы роста, характеристики основных игроков и их доли на рынке. В рамках исследования объем мирового рынка в 2023 г. оценивается в 0,68 млрд долл. США, а ожидаемый темп роста (CAGR) составит 12% для периода 2023–2033 гг. На основе экспертной оценки объем российского рынка для систем класса SPDM в 2023 г. составляет 0,008 млрд долл. США, а ожидаемый рост рынка (CAGR) составит 12% с 2022 г. по 2024 г.

Для мирового рынка подробно рассмотрены географические сегменты и факторы развития, такие как увеличение сложности высокотехнологичных продуктов и изделий, расширение глобальных цепочек поставок, рост объемов данных, используемых при разработке изделий и продуктов, повышение требований к качеству и безопасности и пр.

Во второй главе особое внимание уделено технологическим тенденциям развития мирового и российского рынка: рассмотрены перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий в системах, рыночные кейсы, а также представлен обзор ключевых научных разработок в РФ по результатам интеллектуальной деятельности. К наиболее важным технологическим трендами по отношению к SPDM-системам можно отнести развитие облачных и платформенных технологий, а также развитие технологий искусственного интеллекта. Также платформизация и организация работы с облачными ресурсами может выступить важным преимуществом для внедрения SPDM-систем, особенно в организациях работающих с большим парком legacy-систем.

Третья глава посвящена анализу релизов обновлений функциональных возможностей зарубежных и российских систем в 2024 году с заключением о тенденциях и приоритетах развития зарубежных и отечественных систем в 2024 году. Для анализа были отобраны ведущие игроки рынка, в числе которых Ansys Inc., Cadence Inc. (BETA CAE Systems Inc.), Siemens AG, Hexagon AB, Esteco

С.р.А. и др.

Анализ инвестиций, сделок M&A и проектов кооперации в России и в мире представлен в четвертой главе. Подробно рассмотрены слияния и поглощения разработчиков систем в мире по состоянию на конец 2024 года, проекты кооперации российских разработчиков и планы по развитию систем в России.

Пятая глава рассматривает новые крупные проекты в области SPDM-систем в России и мире.

В шестой главе особое внимание уделено нормативно-правовому регулированию в России, в том числе анализу государственных программ поддержки по НИРам и НИОКРам, применимым при развитии SPDM-систем. В седьмой главе представлены ключевые барьеры и проблемы развития анализируемых систем на российском рынке и необходимые действия для преодоления барьеров и решения выявленных проблем.

Наконец, восьмая глава посвящена анализу в соответствии с направлениями развития технологий SPDM-систем в 2024 году, а именно: представлена характеристика расчетных цепочек (Workflow); проведен анализ функциональных возможностей SPDM-систем и особенностей реализации инструментов создания расчетных цепочек в эффективных и востребованных на рынке SPDM-системах; представлены предложения по созданию и развитию инструментов создания расчетных цепочек (Workflow) в составе отечественных SPDM-систем на основе аналитических исследований для достижения УГТ 6.

Таким образом, доклад формирует представление о развитии рынка систем управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM-систем), в том числе о направлениях развития современных технологий, составляющих рассматриваемые системы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ РОССИЙСКИХ SPDM-СИСТЕМ

Рег. номер	Наименование	Класс ПО	Дата внесения	Правообладатель	ИНН
9110	Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench	04.09 Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием и внедрением	16.02.2021	ФГАОУ ВО «СПБПУ»	7804040077
23240	Симулятор ОПЗ	Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)	15.07.2024	ПАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ»	5504036333
19501	«Программный комплекс для 3D-моделирования и организационно-технологического инжиниринга и реинжиниринга производственных процессов»	Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM); Средства интеллектуальной обработки информации и интеллектуального анализа бизнес-процессов; Средства управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM); Средства управления технологическими процессами (АСУ ТП, SCADA); Средства математического и имитационного моделирования	17.10.2023	ООО «РПДС»	7813658078
7805	ЛОЦМАН:PLM Конфигуратор	Средства управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM); Дополнительные программные модули (плагины)	14.12.2020	ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «АСКОН-БИЗНЕС-РЕШЕНИЯ»	5022043938

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ, РАЗРАБОТАННЫХ ТК 700

1. 57188—2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения
2. 57412—2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения
3. 57700.1—2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Требования
4. 57700.2—2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения
5. 57700.3—2017 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Термины и определения
6. 57700.4—2017 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения в областях механики сплошных сред: гидромеханика, газовая динамика
7. 57700.5—2017 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения в области механики течений в пористых средах
8. 57700.6—2017 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Термины и определения в области бессеточных методов численного моделирования
9. 57700.7—2018 Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения
10. 57700.8—2018 Численное моделирование дозвуковых течений вязких жидкостей и газов. Верификация ПО
11. 57700.9—2018 Численное моделирование ламинарных течений вязких жидкостей и газов. Верификация ПО
12. 57700.10—2018 Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области
13. 57700.11—2018 Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Верификация и валидация численных моделей низкоскоростных ударов. Требования
14. 57700.12—2018 Численное моделирование физических процессов. Численное моделирование сверхзвуковых течений невязких газов. Верификация ПО
15. 57700.13—2018 Численное моделирование физических процессов. Численное моделирование многофазной фильтрации. Верификация ПО

16. 57700.14—2018 Численное моделирование физических процессов. Верификация получаемых сеточными методами численных решений задач механики сплошной среды
17. 57700.15—2018 Численное моделирование физических процессов. Численное моделирование ламинарных течений вязких жидкостей и газов. Валидация ПО
18. 57700.16—2018 Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Верификация и валидация численных моделей высокоскоростных ударов и внедрений. Общие требования
19. 57700.17—2018 Численное моделирование физических процессов. Численное моделирование дозвуковых течений вязких жидкостей и газов. Валидация ПО
20. 57700.18—2019 Высокопроизводительные вычислительные системы. Требования к тестовым программам приемочных испытаний
21. 57700.19—2019 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Требования к архитектуре процессов
22. 57700.20—2019 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Общие положения
23. 57700.21—2020 Компьютерное моделирование в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Термины и определения
24. 57700.22—2020 Компьютерные модели и моделирование. Классификация
25. 57700.23—2020 Компьютерные модели и моделирование. Валидация. Общие положения
26. 57700.24—2020 Компьютерные модели и моделирование. Валидационный базис
27. 57700.25—2020 Компьютерные модели и моделирование. Процедуры валидации
28. 57700.26—2020 Высокопроизводительные вычислительные системы. Требования приемочных испытаний
29. 57700.27—2020 Высокопроизводительные вычислительные системы. Термины и определения
30. 57700.36 2021 Высокопроизводительные вычислительные системы. Оценка производительности высокопроизводительных вычислительных систем на алгоритмах, использующих сверточные нейронные сети
31. 57700.37 2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения
32. ПНСТ 670-2022 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Требования к ИТ архитектуре процессов
33. ПНСТ 791-2022 Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Качество модели

- 34. 57700.38-2023 Компьютерные модели и моделирование. Валидация программного обеспечения. Определение параметров выносливости конструкции
- 35. 57700.39-2023 Компьютерные модели и моделирование. Программное обеспечение компьютерного моделирования физических процессов. Общие требования
- 36. 57700.41-2023 Компьютерные модели и моделирование. Верификация компьютерных моделей. Определение напряженно-деформированного состояния конструкций в упругопластической области
- 37. 57700.42-2023 Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Общие положения
- 38. 57700.43-2023 Численное моделирование полимерных композиционных материалов. Верификация программного обеспечения

ГЛОССАРИЙ

- Технологическое лидерство — технологическая независимость Российской Федерации, выражающаяся в разработке отечественных технологий и создании продукции с использованием таких технологий с сохранением национального контроля над критическими и сквозными технологиями на основе собственных линий разработки технологий в целях экспорта конкурентоспособной высокотехнологичной продукции и (или) замещения ею на внутреннем рынке продукции, создаваемой на базе устаревших и (или) иностранных технологий, а также превосходство таких технологий и продукции над зарубежными аналогами (*Федеральный закон Российской Федерации «О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (от 12 декабря 2024 г.)*)
- Технологический суверенитет — наличие в стране (под национальным контролем) критических и сквозных технологий собственных линий разработки и условий производства продукции на их основе, обеспечивающих устойчивую возможность государства и общества достигать собственные национальные цели развития и реализовывать национальные интересы. Технологический суверенитет обеспечивается в 2 основных формах - исследования, разработка и внедрение критических и сквозных технологий (по установленному перечню) и производство высокотехнологичной продукции, основанного на указанных технологиях. Технологический суверенитет обеспечивается в том числе с опорой на устойчивое международное научно-техническое сотрудничество с дружественными странами (*«Концепция технологического развития на период до 2030 года», утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 года № 1315-р*)
- Цифровой двойник (DT) — Цифровой двойник изделия – система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями (*в соответствии с ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование «Цифровые двойники изделий»*).
- 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.
- Цифровая модель изделия – система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов

цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям.

Для разработки цифрового двойника изделия создается многоуровневая система требований, которая позволяет проверять соответствие значений показателей, необходимых для удовлетворения требований к изделию, установленным диапазонам значений, а также анализировать их взаимное влияние. Достижение целевых показателей и (или) удовлетворение ресурсным ограничениям многоуровневой системы требований обеспечивается за счет проведения цифровых (виртуальных) испытаний изделия, его составных частей и материалов.

Для создания цифровых моделей и (или) цифровых двойников, проведения цифровых (виртуальных) испытаний, применения результатов математического и компьютерного моделирования и организации совместной работы по созданию цифрового двойника изделия рекомендуется применять программно-технологическую платформу цифровых двойников.

Системы автоматизации инженерных расчетов (система инженерного анализа) (CAE) – Программные системы, позволяющие на основе математических моделей разных классов и уровней сложности (в самых общих случаях, описываемых нестационарными нелинейными уравнениями в частных производных) исследовать поведение материалов, физико-механических и технологических процессов, машин и конструкций на разных эксплуатационных режимах и в разных условиях эксплуатации с учетом внешних воздействий.

Средства автоматизированного проектирования (САПР) (CAD) – Система автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического моделирования и параметрического проектирования, позволяющая создавать чертежи, оформлять конструкторскую и технологическую документацию.

См. также MCAD 2D, MCAD 3D.

Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) – Среда (платформа), которая позволяет эффективно управлять конфигурацией данных моделирования, оптимизировать процессы, осуществлять совместную работу глобально распределенных команд, обеспечивать прозрачность и прослеживаемость и принимать решения по оптимизации продукта/изделия.

Такие системы связывают входные и выходные данные программ препроцессинга, систем конечно-элементного анализа и программ обработки результатов вычислений (постпроцессинга), повышая степень автоматизации, обеспечивая прослеживаемость цифровых испытаний и улучшая процесс математического и компьютерного моделирования.

SPDM-системы позволяют обеспечить прозрачность и контролируемость процесса разработки, принятие обоснованных решений; упрощают работу с результатами цифровых испытаний, включая цифровые испытания на цифровых испытательных

стендах и полигонах, а также формирование отчетов.

- | | |
|--|--|
| Системы управления жизненным циклом изделия (PLM) | – Программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции, позволяющее реализовать стратегический подход к ведению бизнеса, который использует набор совместимых технических решений для поддержки общего (коллаборативного) представления информации о продукте в процессе его создания, реализации и эксплуатации, в среде расширенного предприятия – начиная от концепции создания продукта и заканчивая его утилизацией – при интеграции людских ресурсов, процессов и информации. |
| Системы управления производством (MES) | – Система управления производственной деятельностью и ее оптимизации, которая в режиме реального времени планирует, иницирует, отслеживает, оптимизирует, документирует производственные процессы от начала выполнения заказа до выпуска готовой продукции. |
| Автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами и сбора данных (АСУ ТП) (SCADA) | – Инструменты для разработки или обеспечения работы в режиме реального времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления (например, производственном объекте). |
| Средства виртуальной реальности (VR) | – Комплексная технология, позволяющая погрузить человека в иммерсивный виртуальный мир при использовании специализированных устройств (очков и шлемов виртуальной реальности). |
| Средства дополненной реальности (AR) | – Технология, позволяющая интегрировать информацию с объектами реального мира в форме текста, компьютерной графики, аудио- и иных представлений в режиме реального времени. |
| Технология машинного обучения (ML) | – Программное обеспечение для реализации алгоритмов машинного обучения, внедряемое в целях повышения производительности при выполнении некоторого набора задач. Обучение осуществляется путем анализа применения решений множества сходных задач. |
| Технологии распределенного реестра (TPP) | – Распределенный реестр (distributed ledger) – реестр, который совместно используется набором нод (узлами сети или DLT-нод) и синхронизируется между данными узлами сети с использованием механизма консенсуса. |

Примечание: распределенный реестр спроектирован так, чтобы: (1) быть защищенным от несанкционированного доступа; (2) быть доступным только для добавления (записей); (3) быть неизменяемым (англ. immutable), содержащим подтвержденные и проверенные транзакции.

Технология распределенного реестра (distributed ledger technology, сокр. DLT) – технология, позволяющая использовать распределенные реестры и управлять ими.

Блокчейн, или блокчейны (blockchain/blockchains) – распределенный реестр с подтвержденными блоками, организованными в последовательную цепочку (блоков), созданный с использованием криптографических связей.

Системы математического моделирования (ММ) – Системы, обеспечивающие процесс математического моделирования как процесс исследования каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей.

Математическая модель – модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений.

Примечание: процесс математического моделирования можно разделить на пять этапов: первый – формулирование законов, связывающих основные объекты модели; второй – исследование математических задач, к которым приводит математическая модель; третий – верификация модели; четвертый – валидация модели; пятый – последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.

Системы управления данными об изделии (PDM) – Программное обеспечение, позволяющее управлять данными об изделии, включая сохранение данных об изделии в базах данных (прежде всего инженерных данных, таких как CAD-модели и чертежи, цифровые макеты (DMU), спецификации материалов (BOM) и др.). Метаданные содержат информацию о создателе файла и текущем статусе соответствующего компонента. Система PDM позволяет организовать совместный доступ к этим данным, обеспечивая их постоянную целостность, вносить необходимые изменения во все версии изделия, модифицировать спецификацию материалов, помогать конфигурировать варианты изделия. Система PDM в качестве интегрирующей подсистемы используется на протяжении всего жизненного цикла изделия в рамках концепции управления этим циклом (PLM). PDM-системы позволяют одновременно работать с инженерными данными, полученными от систем CAD, CAE, CAM и иных.

Автоматизированные системы диспетчерского управления технологическими процессами и сбора данных (АСУ ТП) (SCADA) – Инструменты для разработки или обеспечения работы в режиме реального времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления (например, производственном объекте).

Универсальные машиностроительные – Машиностроительные системы автоматизированного проектирования (САПР), применяемые в машиностроении

двумерные средства автоматизированного проектирования для создания чертежей (MCAD 2D)

(авиастроении, автомобилестроении, двигателестроении, энергомашиностроении, судостроении и пр.), производстве товаров народного потребления. Включают в себя разработку деталей, сборок и механизмов с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, средства автоматизированного проектирования двумерных объектов.

Универсальные машиностроительные двумерные средства автоматизированного проектирования для создания чертежей (MCAD 3D)

– Машиностроительные системы автоматизированного проектирования (САПР), применяемые в машиностроении (авиастроении, автомобилестроении, двигателестроении, энергомашиностроении, судостроении и пр.), производстве товаров народного потребления. Включают в себя разработку деталей, сборок и механизмов с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования, средства автоматизированного проектирования трехмерных объектов.

Системы (платформы) промышленного интернета вещей (IIoT Platform)

– Программное средство, обеспечивающее создание и управление сетями подключенных промышленных (производственных) объектов, оснащенных технологиями взаимодействия друг с другом и с окружающей средой, со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными через компьютерную сеть, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. «Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных» : Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ от 22.09.2020 № 486. – URL: <https://base.garant.ru/74832091/> (дата обращения: 18.11.2024)
2. How CAD Has Evolved Since 1982 — Past, Present & Future // Scan2CAD – 23.02.2017. – URL: <https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/> (дата обращения: 15.11.2024)
3. Quinn D. 20 years of SPDM in Production : Interview. – NAFEMS, 2021. – URL: <https://www.nafems.org/blog/posts/20-years-of-spdm-in-production/> (дата обращения: 08.12.2022)
4. Боровков А., Бураков В., Мартынец Е., Рябов Ю., Щербина Л. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 1) // САПР и графика. – 2023. – № 8. – С. 42–51 (дата обращения: 01.03.2024)
5. Приказ № 486 «Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных» : // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации – 15.11.2024. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/7362/> (дата обращения: 15.11.2024)
6. Утверждены «дорожные карты» «Новое индустриальное программное обеспечение» и «Новое общесистемное программное обеспечение» – 28.12.2024. – URL: <http://government.ru/news/47353/> (дата обращения: 28.12.2024)
7. The Transformative Impact of SPDM: Stitching simulation data into the enterprise digital thread (Commentary) – CIMdata – 25.11.2024. – URL: <https://www.cimdata.com/de/resources/cimdata-blog/item/24893-the-transformative-impact-of-spdm-stitching-simulation-data-into-the-enterprise-digital-thread> (дата обращения: 25.11.2024)
8. Simulation and Test Data Management Market Forecast | 2033. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/simulation-and-test-data-management-market> (дата обращения: 25.12.2024)
9. CIMdata Publishes Executive PLM Market Report – CIMdata – 25.11.2024. – URL: <https://www.cimdata.com/en/news/item/25339-cimdata-publishes-executive-plm-market-report> (дата обращения: 11.12.2024)
10. Акции Hexagon (HEXAb) — Investing.com // Investing.com Россия – 25.11.2024. – URL: <https://ru.investing.com/equities/hexagon?cid=25986> (дата обращения: 25.11.2024)
11. Hexagon Year-End Report 1 January – 31 December 2023 // Hexagon. – URL: <https://hexagon.com/company/newsroom/press-releases/2024/hexagon-year-end-report-1-january---31-december-2023> (дата обращения: 26.11.2024)
12. Hexagon AB (HEXA-B.ST) – Revenue. – URL: <https://companiesmarketcap.com/hexagon/revenue/> (дата обращения: 25.11.2024)
13. Siemens Digital Industries Software: Revenue, Competitors, Alternatives. – URL: https://growjo.com/company/Siemens_Digital_Industries_Software (дата обращения: 25.11.2024)

26.11.2024)

14. Ansys (ANSS) – Revenue. – URL: <https://companiesmarketcap.com/ansys/revenue/> (дата обращения: 26.11.2024)
15. Ansys Announces Q4 and FY 2023 Financial Results | ANSYS, Inc.. – URL: <https://investors.ansys.com/news-releases/news-release-details/ansys-announces-q4-and-fy-2023-financial-results/> (дата обращения: 26.11.2024)
16. Cadence to Acquire BETA CAE, Expanding into Structural Analysis // HPCwire. – URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/cadence-to-acquire-beta-cae-expanding-into-structural-analysis/> (дата обращения: 25.11.2024)
17. Aras Revenue: Annual, Quarterly, and Historic – Zippia. – URL: <https://www.zippia.com/aras-careers-1583607/revenue/> (дата обращения: 28.12.2024)
18. ESTECO company information, funding & investors – 31.05.1999. – URL: <https://ecosystem.madrimasd.org/companies/esteco> (дата обращения: 28.12.2024)
19. Altair Engineering (ALTR) – Revenue. – URL: <https://companiesmarketcap.com/altair-engineering/revenue/> (дата обращения: 25.11.2024)
20. Акции Altair Engineering (ALTR) — Investing.com // Investing.com Россия – 22.11.2024. – URL: <https://ru.investing.com/equities/altair-engineering> (дата обращения: 25.11.2024)
21. PTC Financial Statements 2009-2024 | PTC. – URL: <https://www.macro-trends.net/stocks/charts/PTC/ptc/financial-statements> (дата обращения: 25.11.2024)
22. Pang A. Top 10 PLM and Engineering Software Vendors, Market Size and Market Forecast 2021-2026. — 2022. – URL: <https://www.appsruntheworld.com/top-10-product-lifecycle-management-engineering-software-vendors-and-market-forecast/> (дата обращения: 25.11.2024)
23. CIMdata-2021-Simulation-Analysis-Market-Analysis-Report. – URL: https://www.cim-data.com/images/Research/SA_MAR_Datasheet_Ltr.pdf (дата обращения: 25.11.2024)
24. Ansys Minerva | Simulation Process & Data Management Software. – URL: <https://www.ansys.com/products/connect/ansys-minerva> (дата обращения: 09.10.2023)
25. BETA CAE Systems – SPDRM. – URL: <https://www.beta-cae.com/spdrm.htm> (дата обращения: 10.11.2023)
26. BETA CAE Systems | KOMVOS – SDM Console. – URL: <https://www.beta-cae.com/komvos.htm> (дата обращения: 10.11.2023)
27. ESTECO VOLTA | Simulation Process & Data Management platform. – URL: <https://engineering.esteco.com/volta/> (дата обращения: 10.11.2023)
28. Simulation Software Market Size & Trends, Growth Analysis, Industry Forecast [2030] // MarketsandMarkets. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/simulation-software-market-263646018.html> (дата обращения: 26.11.2024)
29. Simulation Software Market Size & Share Report, 2030. – URL:

- <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/simulation-software-market> (дата обращения: 26.11.2024)
30. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. – URL: <https://cml-bench.ru> (дата обращения: 14.11.2023)
 31. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. – URL: <https://cml-bench.ru> (дата обращения: 28.12.2024)
 32. АСКОН и DATADVANCE создадут SPDM-решение для управления данными цифровых испытаний // АСКОН. – URL: https://ascon.ru/news_and_events/news/3687/ (дата обращения: 14.11.2023)
 33. АСКОН и DATADVANCE создадут SPDM-решение для управления данными цифровых испытаний. – URL: <https://www.datadvance.ru/ru/blog/news/2023/ascon-datadvance-partnership.html> (дата обращения: 14.11.2023)
 34. О нас // DATADVANCE. – URL: <https://www.datadvance.ru/ru/company/about-us/> (дата обращения: 14.11.2023)
 35. McKinsey technology trends outlook 2024 | McKinsey. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech> (дата обращения: 26.11.2024)
 36. Tech Trends 2024 // Deloitte Insights. – URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends.html> (дата обращения: 26.11.2024)
 37. Tech Trends For The Second Half Of 2024: What Stays And What Goes // Forbes, 2024. – URL: <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2024/07/15/tech-trends-for-the-second-half-of-2024-what-stays-and-what-goes/> (дата обращения: 24.11.2024)
 38. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» – 25.11.2024. – URL: <http://government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 26.11.2024)
 39. Правительство утвердило Концепцию технологического развития до 2030 года – 25.11.2024. – URL: <http://government.ru/news/48570/> (дата обращения: 26.11.2024)
 40. What's New in SimManager 2024.1. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-in-SimManager-2024-1#> (дата обращения: 26.11.2024)
 41. High-Performance Computing (HPC) & Cloud | ESTECO Technology. – URL: <https://engineering.esteco.com/technology/hpc-and-cloud/> (дата обращения: 26.11.2024)
 42. SimExplore – Comparison and analysis of CAE simulations // scapos AG | Technical software for the industry. – URL: <https://www.scapos.de/en/software/simexplore-comparison-and-analysis-of-cae-simulations/> (дата обращения: 26.11.2024)
 43. Modernize your SPDM strategy with Rescale and the Cloud – Rescale – 29.01.2020. – URL: <https://rescale.com/blog/modernize-your-spdm-strategy-with-rescale-and-the-cloud/> (дата обращения: 26.11.2024)
 44. В СПбПУ состоялась презентация нового релиза Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench® // pish.spbstu.ru. – URL:

<http://pish.spbstu.ru/news/8628> (дата обращения: 14.11.2024)

45. Цифровая платформа CML-Bench: буклет [Электронный ресурс]. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2023/10/19/BENCH_Oct_2023_BLOCK_postr.pdf (дата обращения: 12.10.2024).
46. ГОСТ Р 57700.37-2021 | НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=241313> (дата обращения: 14.11.2023)
47. Боровков А. Деятельность Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» (CompMechLab®) СПбПУ в 2023 году: итоги и прогнозы. САПР и графика. – 2023. – № 12. – С. 4–31. – URL: <https://sapr.ru/article/26626> (дата обращения: 28.12.2024)
48. CML-Bench® – цифровая платформа разработки и применения цифровых двойников (Digital Twins), система управления деятельностью в области цифрового инжиниринга – FEA.RU | CompMechLab – разработка и применение цифровых двойников (digital twin), цифровое проектирование, CAD/CAE/CAM/CAO/НПС. – URL: <https://fea.ru/article/cml-bench> (дата обращения: 14.11.2023)
49. Боровков А., Бураков В. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins) CML-Bench® (часть 2) // САПР и графика. – 2023. – № 9. – С. 54–64 (дата обращения: 26.11.2024)
50. Боровков А., Чишко С., Мартынец Е., Рябов Ю. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench®. Часть 5. САПР и графика. – 2024. – № 7. – С. 4–16 (дата обращения: 28.12.2024)
51. Информационно-поисковая система. – URL: <https://www.fips.ru/iiss/> (дата обращения: 26.11.2024)
52. Официальный сайт единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/> (дата обращения: 26.11.2024)
53. NAFEMS 20 years of SPDM in Production, from Systems to Solutions // NAFEMS. – URL: https://www.nafems.org/publications/resource_center/nwc21-931-c/ (дата обращения: 26.11.2024)
54. Приказ № 486 «Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных»: // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/7362/> (дата обращения: 26.11.2024)
55. Minerva – Программное обеспечение моделирования by ANSYS | DirectIndustry. – URL: <https://www.directindustry.com.ru/prod/ansys/product-9123-2667504.html> (дата обращения: 19.12.2024)
56. Ansys Minerva 2024 R1. – URL: <https://www.ansys.com/blog/ansys-minerva-2024-r1> (дата обращения: 26.11.2024)
57. What's New With Ansys Minerva Software: 2024 R2. – URL: <https://www.ansys.com/blog/whats-new-ansys-minerva-software-2024-r2> (дата обращения: 26.11.2024)

58. BETA CAE Systems | KOMVOS – SDM Console. – URL: <https://www.beta-cae.com/komvos.htm> (дата обращения: 19.12.2024)
59. Release Announcement BETA CAE Systems suite v23.1.4. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240125_announcement_suite_23.1.4.htm (дата обращения: 07.12.2024)
60. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.0.2. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240208_announcement_suite_24.0.2.htm (дата обращения: 07.12.2024)
61. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.1.1. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240313_announcement_suite_24.1.1.htm (дата обращения: 07.12.2024)
62. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.1.2. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240603_announcement_suite_24.1.2.htm (дата обращения: 07.12.2024)
63. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.1.3. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20241007_announcement_suite_24.1.3.htm (дата обращения: 07.12.2024)
64. Release Announcement BETA CAE Systems suite v25.0.1. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20241030_announcement_suite_25.0.1.htm#topic1 (дата обращения: 07.12.2024)
65. SPDRM | BETA CAE Systems USA, Inc. – URL: <https://www.beta-cae.us/software/spdrm/> (дата обращения: 19.12.2024)
66. SPDRM v1.11.1 Release Announcement. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240410_announcement_spdrm_1.11.1.htm (дата обращения: 26.11.2024)
67. SPDRM v1.11.2 Release Announcement. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240719_announcement_spdrm_1.11.2.htm (дата обращения: 26.11.2024)
68. SPDRM v25.0.0 Release Announcement. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20240719_announcement_spdrm_25.0.0.htm (дата обращения: 26.11.2024)
69. SPDRM v1.11.3 Release Announcement. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20241008_announcement_spdrm_1.11.3.htm (дата обращения: 19.12.2024)
70. SPDRM v25.0.1 Release Announcement. – URL: https://www.beta-cae.com/news/20241024_announcement_spdrm_25.0.1.htm (дата обращения: 19.12.2024)
71. Simulation and data | Siemens Teamcenter // Siemens Digital Industries Software. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/teamcenter/solutions/simulation-process-data-management-spdm/> (дата обращения: 19.12.2024)
72. Группа компаний «СиСофт» (CSoft) – Teamcenter // Группа компаний «СиСофт» (CSoft) (www.csoft.ru). – URL: <https://www.csoft.ru/soft/teamcenter/teamcenter.html> (дата обращения: 25.11.2024)
73. О программе Star-CCM+. – URL: <https://advengineering.ru/ru/aden/software/gidrogazodinamika-i-teploobmen/star-ccm/o-programme/> (дата обращения: 25.11.2024)
74. Simcenter STAR-CCM+ CFD software // Siemens Digital Industries Software. – URL:

- <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/fluids-thermal-simulation/star-ccm/> (дата обращения: 25.11.2024)
75. SPDM and PLM turns riddle to reality: Go exploring without leaving the house! – Simcenter – 25.06.2024. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/going-exploring-with-spdm-plm/> (дата обращения: 26.11.2024)
 76. Simcenter STAR-CCM+ 2402 Released! What's new? – Simcenter. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-star-ccm-2402-released/> (дата обращения: 19.12.2024)
 77. 2024 Teamcenter Beta Testing recap | Teamcenter blog – 6.05.2024. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/teamcenter/2024-teamcenter-beta-testing/> (дата обращения: 26.11.2024)
 78. SPDM with Teamcenter Simulation 2406 – 3 ways to win powerful digital thread prizes – Simcenter – 30.07.2024. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/teamcenter-simulation-spdm-2406/> (дата обращения: 26.11.2024)
 79. Simulation Process & Data Management (SPDM) software | VOLTA. – URL: <https://engineering.esteco.com/volta/> (дата обращения: 19.12.2024)
 80. VOLTA and modeFRONTIER 2024R1 available now | ESTECO. – URL: <https://www.esteco.com/news/volta-and-modefrontier-2024-r-1-available-now/> (дата обращения: 26.11.2024)
 81. VOLTA and modeFRONTIER 2024R2 out now | ESTECO. – URL: <https://www.esteco.com/news/volta-and-modefrontier-2024-r-2-out-now/> (дата обращения: 26.11.2024)
 82. VOLTA and modeFRONTIER 2024R3 out now | ESTECO. – URL: <https://www.esteco.com/news/volta-and-modefrontier-2024r3/> (дата обращения: 19.12.2024)
 83. SimManager | Программное обеспечение управления процессами и данными компьютерного моделирования // Hexagon. – URL: <https://hexagon.com/ru/products/simmanager> (дата обращения: 19.12.2024)
 84. What's New in SimManager 2024.2 // Hexagon. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-in-SimManager-2024-2> (дата обращения: 19.12.2024)
 85. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®. – URL: <https://cml-bench.ru> (дата обращения: 26.11.2024)
 86. РАЗВИТИЕ'24, Москва. – URL: <https://forum.plmrussia.ru> (дата обращения: 26.11.2024)
 87. itplus.energy. – URL: <https://itplus.energy/prognostika> (дата обращения: 26.11.2024)
 88. ArhiForecast. – URL: <https://arhitex.com/products/arhiforecast> (дата обращения: 26.11.2024)
 89. ЮБИСИМ. – URL: <https://ubisim.ru/> (дата обращения: 19.12.2024)
 90. Платформа моделирования сетей 3GPP/IEEE системного уровня с интегрированными библиотеками для построения систем искусственного интеллекта. – URL:

<https://reestr.digital.gov.ru/reestr/2585841/> (дата обращения: 26.11.2024)

91. Симулятор ОПЗ. – URL: https://digital.gazprom-neft.ru/digital-solutions/simulyator_opz (дата обращения: 19.12.2024)
92. Симулятор ОПЗ. – URL: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/2523148/?sphrase_id=4974862 (дата обращения: 26.11.2024)
93. Боровков А., Сачава Д., Князева О., Мартынец Е., Алексашкин А., Рябов Ю. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench®. Часть 6. САПР и графика. – 2024. – № 8. – С. 12–24 (дата обращения: 28.12.2024)
94. Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг» выиграла стратегически важный конкурс и заключила контракт с АНО «Федеральный центр беспилотных авиационных систем» // technet-nti.ru. – URL: <http://technet-nti.ru/news/8904> (дата обращения: 26.12.2024)
95. Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=73456110> (дата обращения: 24.11.2024)
96. Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=73445584> (дата обращения: 25.11.2024)
97. Cadence Completes Acquisition of BETA CAE | Cadence. – URL: https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-completes-acquisition-of-beta-cae.html (дата обращения: 26.11.2024)
98. BETA CAE Systems – Groundbreaking Simulation Solutions. – URL: <https://www.beta-cae.com/> (дата обращения: 26.11.2024)
99. Cadence to Acquire BETA CAE, Expanding into Structural Analysis. – URL: https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-to-acquire-beta-cae-expanding-into-structural-analysis.html (дата обращения: 26.11.2024)
100. Intelligent System Design | Cadence. – URL: https://www.cadence.com/en_US/home/company/intelligent-system-design.html (дата обращения: 26.11.2024)
101. BETA CAE Systems – SPDRM. – URL: <https://www.beta-cae.com/spdrm.htm> (дата обращения: 26.11.2024)
102. Ansys to Expand Cloud Portfolio with Technology from Acquisition of OnScale. – URL: <https://www.ansys.com/news-center/press-releases/4-13-22-ansys-to-expand-cloud-portfolio-with-technology-from-acquisition-of-onscale> (дата обращения: 26.11.2024)
103. Ansys Acquires Phoenix Integration, Inc.. – URL: <https://www.ansys.com/news-center/press-releases/05-17-21-ansys-acquires-phoenix-integration-inc> (дата обращения: 26.11.2024)
104. Altair Expands Digital Engineering Technology with Acquisition of OmniV. – URL:

<https://altair.com/newsroom/news-releases/altair-expands-digital-engineering-technology-with-acquisition-of-omniv> (дата обращения: 26.11.2024)

105. Dassault Systèmes Announces the Acquisition of Nuodb, a Cloud-Native Distributed SQL Database Leader | Dassault Systèmes. – URL: <https://www.3ds.com/newsroom/press-releases/dassault-systemes-announces-acquisition-nuodb-cloud-native-distributed-sql-database-leader> (дата обращения: 26.11.2024)
106. Группа компаний «ПЛМ Урал» стала дистрибьютором Цифровой платформы CML-Bench® | Группа компаний "ПЛМ Урал". – URL: <https://www.plm-ural.ru/news/gruppa-kompaniy-plm-ural-stala-distribyutorom-cifrovoy-platformy-cml-benchr> (дата обращения: 26.11.2024)
107. «Аскон» и Datadvance создадут SPDM-решение для управления данными цифровых испытаний – CNews // CNews.ru. – URL: https://www.cnews.ru/news/line/2023-09-05_askon_i_datadvance_sozdadut (дата обращения: 26.11.2024)
108. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 1. – URL: <https://sapr.ru/article/26589> (дата обращения: 26.11.2024)
109. Группа компаний «ПЛМ Урал» стала дистрибьютором Цифровой платформы CML-Bench® | Группа компаний "ПЛМ Урал". – URL: <https://www.plm-ural.ru/news/gruppa-kompaniy-plm-ural-stala-distribyutorom-cifrovoy-platformy-cml-benchr> (дата обращения: 26.11.2024)
110. Росатом Госкорпорация «Росатом» ядерные технологии атомная энергетика АЭС ядерная медицина. – URL: <https://rosatom.ru/journalist/interview/sergey-martynov-my-razrabatyvaem-rossiyskuyu-plm-sistemu-mirovogo-klassa/> (дата обращения: 26.11.2024)
111. «Прорыв» Росатома при поддержке ИБРАЭ РАН внедрил в основу системы «УРАНИЯ» цифровую платформу CML-Bench от СПбПУ | Атомная энергия 2.0. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2024/07/08/147421> (дата обращения: 26.11.2024)
112. НСКФ-2023. Опыт импортозамещения SPDM-системы в АО «ОКБМ Африкантов» – смотреть видео онлайн от «IT Элементы» в хорошем качестве, опубликованное 16 февраля 2024 года в 19:46: 03. – URL: <https://rutube.ru/video/b18f7918b88f62ec187bca7e88c56c41/> (дата обращения: 26.11.2024)
113. Прорывная «Урания»: что может система для проведения научных исследований. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2024/08/15/proryvnaya-uraniya-cto-mozhet-sistema/> (дата обращения: 26.11.2024)
114. Цифровая платформа CML-Bench® легла в основу системы «УРАНИЯ», внедряемой на предприятиях госкорпорации «Росатом» // Fea.ru. – URL: <https://fea.ru/news/8878> (дата обращения: 26.11.2024)
115. Цифровой двойник морского газотурбинного двигателя: завершение проекта | Центр НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии». – URL: https://nticenter.spbstu.ru/nti_projects/129 (дата обращения: 26.11.2024)
116. ПАО "ОДК-Сатурн" и СПбПУ представили результаты внедрения платформы CML-Bench на предприятиях двигателестроения // АвиаПорт.Новости. – URL: <https://www.aviaport.ru/news/pao-odk-saturn-i-spbpu-predstavili-rezultaty-vnedreniya-platformy-cml-bench-na-predpriyatiyakh-dviga/> (дата обращения: 26.11.2024)

117. Цифровая платформа разработки цифровых двойников CML-Bench внедрена на предприятии госкорпорации «Росатом» // nticenter.spbstu.ru. – URL: <http://nticenter.spbstu.ru/news/8279> (дата обращения: 26.11.2024)
118. Проект внедрения SPDM системы ANSYS EKM в АО «ОКБМ Африкантов» // МЦД. – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/list/stati/proekt-vnedrenija-spdm-sistemy-ansys-ekm-v-ao-okbm-afrikantov/> (дата обращения: 26.11.2024)
119. Боровков А., Ефимов-Сойни Н., Мартынец Е., Рябов Ю. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench®. Часть 4. САПР и графика. – 2023. – № 12. – С. 4–31. (дата обращения: 28.12.2024)
120. Боровков А., Мартынов И., Шандер И., Горский Ю., Житков Ю., Волков А., Мартынец Е. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников «Digital Twins» CML-Bench®. Часть 3, САПР и графика. – 2023. – № 10. – С. 50–62 (дата обращения: 28.12.2024)
121. American Rheinmetall Vehicles selects VOLTA for simulation data management | ESTECO. – URL: <https://www.esteco.com/news/american-rheinmetall-vehicles-selects-volta-for-simulation-data-management-for-the-u-s-army-xm-30-program/> (дата обращения: 26.11.2024)
122. NEVS | Sustainable mobility for our collective future – YouTube. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=KW_ujixeE-Y&themeRefresh=1 (дата обращения: 26.11.2024)
123. NEVS в LinkedIn: Realize LIVE 2025 | Siemens Software. – URL: https://www.linkedin.com/posts/nevs_realize-live-2025-siemens-software-activity-6802938276459241473-ScyM (дата обращения: 26.11.2024)
124. Using improved digital twin accuracy to develop sustainable mobility solutions // Siemens Digital Industries Software. – URL: <https://resources.sw.siemens.com/en-US/case-study-nevs/> (дата обращения: 26.11.2024)
125. Lockheed Martin Space selects VOLTA for its Total System Model framework | ESTECO. – URL: <https://www.esteco.com/news/lockheed-martin-space-selects-volta-for-its-total-system-model-framework/> (дата обращения: 26.11.2024)
126. Takenaka: From integration to collaboration | Success story. – URL: <https://engineering.esteco.com/resources/success-story/takenaka-simulation-process-volta/> (дата обращения: 26.11.2024)
127. Designing sustainable buildings with VOLTA | Success story. – URL: <https://engineering.esteco.com/resources/success-story/design-sustainable-buildings/> (дата обращения: 26.11.2024)
128. Минпромторг | Минпромторг России. – URL: <https://minpromtorg.gov.ru/> (дата обращения: 26.11.2024)
129. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. – URL: <http://fasie.ru/> (дата обращения: 26.11.2024)
130. Федеральная налоговая служба. – URL: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/> (дата обращения: 26.11.2024)

131. Домен наука и инновации. – URL: <https://gisnauka.ru/> (дата обращения: 26.11.2024)
132. Цифровая платформа CML-Bench® легла в основу системы «УРАНИЯ», внедряемой на предприятиях госкорпорации «Росатом» // Fea.ru. – URL: <https://fea.ru/news/8878> (дата обращения: 26.11.2024)
133. Проект внедрения SPDM системы ANSYS ЕКМ в АО «ОКБМ Африкантов» // МЦД. – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/list/stati/proekt-vnedrenija-spdm-sistemy-ansys-ekm-v-ao-okbm-afrikantov/> (дата обращения: 26.11.2024)
134. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников "Digital Twins" CML-Bench®. Часть 2. – URL: <https://sapr.ru/article/26601> (дата обращения: 26.11.2024)
135. SPDM: От крайнего разочарования к демократизации симуляции? // Verdi Ogewell, главный редактор "PLM&ERP News", PLM- и ERP-редактор engineering.com. – URL: <http://www.cadcamcae.lv/N126/38-43.pdf> (дата обращения: 24.11.2024)
136. На создание в России нового индустриального ПО потратят 217 млрд рублей – CNews. – URL: https://www.cnews.ru/articles/2023-03-03_na_sozdanie_v_rossii_novogo_industrialnogo (дата обращения: 26.11.2024)
137. NAFEMS Quick and Reliable Simulation Process Automation // NAFEMS. – URL: https://www.nafems.org/publications/resource_center/ee24_ext_abs_08/ (дата обращения: 26.11.2024)
138. pSeven Enterprise – Low-code platform to create, deploy and manage Digital Twins. – URL: <https://www.datadvance.ru/assets/files/publications/DUC2022/04-DUC2022-%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D0%B2-DATADVANCE.pdf> (дата обращения: 24.11.2024)
139. Применение pSeven Enterprise при выполнении НИР и ОКР в ПАО «ОДК-Сатурн». – URL: <https://www.datadvance.ru/assets/files/publications/DUC2023/04-DUC2023-Добровольский-Сатурн.pdf> (дата обращения: 24.11.2024)
140. Южно-Уральский государственный университет и Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого обменялись опытом реализации проекта «Передовая инженерная школа» // Fea.ru. – URL: <https://fea.ru/news/8862> (дата обращения: 26.11.2024)
141. D’Auria M., D’Ippolito R. Process Integration and Design Optimization Ontologies for Next Generation Engineering // On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Workshops : Т. 8186.; ред. Yan Tang Demey, Hervé Panetto. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013. – ISBN 978-3-642-41032-1. – URL: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-41033-8_31 (дата обращения: 26.11.2024)
142. Dynamic workflow generation applied to aircraft moveable architecture optimization. – URL: https://research.tudelft.nl/files/166913440/EUCASS2023_544.pdf (дата обращения: 24.11.2024)
143. (PDF) A case study of efficient tolerance synthesis in product assemblies under loading // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/303215620_A_case_study_of_efficient_tolerance_synthesis_in_product_assemblies_under_loading (дата обращения: 26.11.2024)

144. modeFRONTIER: Successful technologies for PIDO. – URL: https://www.enginsoft.com/assets/img/tecnology/pido/ProcessIntegration_newsletter08-eng.pdf (дата обращения: 24.11.2024)
145. Process Integration and Multi-Objective Design Optimization as New Design Methodologies for Composite Structures. / Bassanese A. et al. // Proc. SAMPE, 8
146. Process Integration & Design Optimization Using Simulation | Webinar. – URL: <https://www.ansys.com/resource-center/webinar/process-integration-and-design-optimization-using-simulation> (дата обращения: 26.11.2024)
147. Бузлаев Д.В., Бедняков Е.А., Живирихин М.Л. Применение программной платформы pSeven для повышения эффективности ГТД. // Международная научно-техническая конференция по авиационным двигателям. Сборник тезисов. Том 1. 468 с.
148. Ansys optiSlang | Process Integration & Design Optimization Software. – URL: <https://www.ansys.com/products/connect/ansys-optislang> (дата обращения: 26.11.2024)
149. Process Integration and Design optimization with AIML Ralf Lampert, Global optiSlang Sales Director November 2023. – URL: <https://www.ansys.com/content/dam/amp/2023/october/quick-request/2023-process-integration-and-design-optimization-with-aiml.pdf> (дата обращения: 24.11.2024)
150. Simulation and data | Siemens Teamcenter // Siemens Digital Industries Software. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/teamcenter/solutions/simulation-process-data-management-spdm/> (дата обращения: 26.11.2024)
151. Digital Engineering Platform – Rescale. – URL: <https://rescale.com/platform/digital-engineering/#computational-pipelines> (дата обращения: 26.11.2024)
152. SimManager | Hexagon. – URL: <https://hexagon.com/products/simmanager> (дата обращения: 26.11.2024)
153. SIMWORX – CAIQ. – URL: <https://caiq.eu/simulation-management-caiq-simworx/> (дата обращения: 26.11.2024)
154. EDMopenSimDM™ // Jotne Connect. – URL: <https://jotneconnect.com/products/edmopen-simdm/> (дата обращения: 26.11.2024)
155. pSeven (Desktop) обзор платформы. – URL: <https://www.datadvance.ru/assets/files/publications/DUC2023/07-DUC2023-%D0%A1%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B2-DATADVANCE.pdf> (дата обращения: 24.11.2024)
156. Automation & Optimization // Dassault Systèmes – 25.08.2023. – URL: <https://www.3ds.com/products/simulia/automation-optimization> (дата обращения: 26.11.2024)
157. Powerful Design Exploration and Optimization Software | Altair HyperStudy. – URL: <https://altair.com/hyperstudy> (дата обращения: 26.11.2024)
158. Altair HyperStudy: Features and Benefits for Engineers. – URL: <https://www.trueinsight.io/blog/altair-hyperstudy-for-engineers> (дата обращения: 26.11.2024)

159. Engineering Process Integration | Noesis Solutions | Noesis Solutions. – URL: <https://www.noesisolutions.com/our-products/optimus/engineering-process-integration> (дата обращения: 26.11.2024)
160. Engineering Workflow Automation // Noesis Solutions. – URL: <https://www.noesisolutions.com/technologies/engineering-workflow-automation> (дата обращения: 26.11.2024)
161. Executing Engineering Workflows // Noesis Solutions. – URL: <https://www.noesisolutions.com/technologies/engineering-workflow-automation/executing-engineering-workflows> (дата обращения: 26.11.2024)
162. Engineering Workflows // Noesis Solutions. – URL: <https://www.noesisolutions.com/technologies/engineering-workflow-automation/engineering-workflows> (дата обращения: 26.11.2024)
163. Capturing Engineering Workflows | Noesis Solutions | Noesis Solutions. – URL: <https://www.noesisolutions.com/technologies/engineering-workflow-automation/capturing-engineering-workflows> (дата обращения: 26.11.2024).

НАШИ ИЗДАНИЯ



Функциональные характеристики отечественных систем автоматизированного проектирования (САД-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 214 с.



Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (САЕ-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 228 с.



Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением (САМ-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 188 с.





Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 174 с.



Направления и формы сотрудничества отечественных разработчиков индустриального программного обеспечения с системой образования. Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 132 с.



Тренды и сценарии развития рынка авиационных двигателей, включая двигатели беспилотных летательных аппаратов, в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 204 с.

Авторы: А. И. Боровков, Е. Р. Мартынец, Л. А. Щербина, Н. И. Прытков, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин





Тренды и сценарии развития рынков решений в области цифровой трансформации промышленных компаний в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 116 с.

Авторы: А. И. Боровков, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Н. И. Прытков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин



Тренды и сценарии развития рынков, относящихся к «цифровой фабрике», по направлению «Технет» НТИ в условиях новой экономической реальности. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 108 с.

Авторы: А. И. Боровков, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Н. И. Прытков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин



Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с.

Авторы: А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, К. В. Кукушкин, А. А. Гамзикова





Цифровые двойники: вопросы терминологии /
А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 28 с.

Авторы: А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов



Передовые производственные технологии: возможности для России. Экспертно-аналитический доклад:
монография / А. И. Боровков [и др.]; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 436 с.

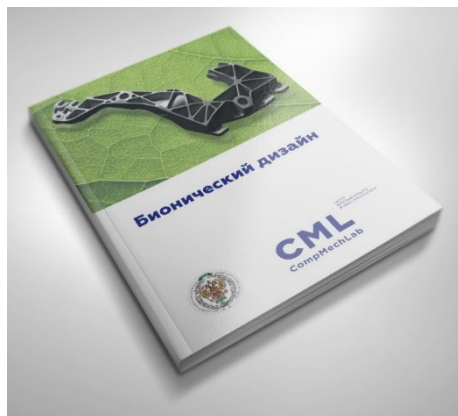
Авторы: А. И. Боровков, К. В. Кукушкин, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Л. А. Щербина, Ю. А. Рябов, С. В. Салкуцан, Е. О. Касяненко, И. С. Метревели, К. О. Вишневский, Ю. В. Туровец, М. С. Липецкая, Д. В. Санатов, Н. С. Андреева, Е. А. Римских, В. А. Пастухов, Н. В. Гоголь, М. А. Королькова



Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года) /
А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 62 с.

Авторы: А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин, Ю. А. Рябов





Бионический дизайн: монография / А.И. Боровков [и др.]. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 92 с.

Авторы: А. И. Боровков, В. М. Марусева, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина



Современное инженерное образование: / А. И. Боровков [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.

Авторы: А. И. Боровков, С. Ф. Бурдаков, О. И. Клявин, М. П. Мельникова, В. А. Пальмов, Е. Н. Силина



Компьютерный инжиниринг: / А. И. Боровков [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.

Авторы: А. И. Боровков, С. Ф. Бурдаков, О. И. Клявин, М. П. Мельникова, А. А. Михайлов, А. С. Немов, В. А. Пальмов, Е. Н. Силина



ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ

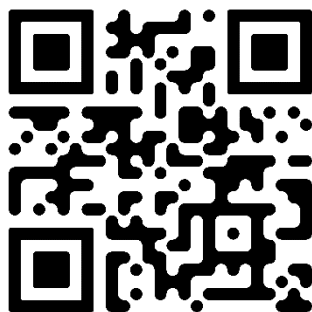
Инфраструктурный центр НТИ по направлению «Технет» СПбПУ (далее – Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ) создан в ноябре 2022 года по итогам конкурсного отбора инфраструктурных центров направлений Национальной технологической инициативы (НТИ).

Деятельность Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ направлена на поддержку проектов, популяризацию технологий, разработку нормативных правовых актов, а также проведение аналитических исследований, в том числе в области цифровой трансформации промышленных компаний.

Программа Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ реализуется с целью формирования и развития институциональной среды, обеспечивающей устойчивое формирование комплекса ключевых компетенций, обеспечивающих интеграцию отечественных передовых производственных технологий (ППТ) и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик Будущего» первого и последующего поколений и нацеленных на создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности в контексте национальных стратегических приоритетов импортонезависимости и технологического суверенитета РФ.

Достижению поставленной цели способствует выполнение следующих задач:

1. Поэтапное совершенствование нормативной правовой базы в целях устранения барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения.
2. Развитие системы профессиональных сообществ и популяризация Национальной технологической инициативы.
3. Организационно–техническая и экспертно-аналитическая поддержка, информационное обеспечение Национальной технологической инициативы.
4. Создание механизмов акселерации компаний Национальной технологической инициативы и механизмов экспортного продвижения создаваемых продуктов.
- 5.



Боровков Алексей Иванович

Рождественский Олег Игоревич

Павлова Елизавета Ивановна

Поняева Ирина Игоревна

Кайданова Алина Хоповна

Чхеидзе Екатерина Павловна

Старостенко Анастасия Андреевна

Распопина Полина Станиславовна

Голякевич Артём Сергеевич

Чварков Сергей Анатольевич

Луковникова Наталья Михайловна

Андреев Иннокентий Борисович

Ольховик Александра Олеговна

Джелали Полина Александровна

Кукушкин Кирилл Алексеевич

Скопин Пётр Вячеславович

АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И ДАННЫМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (SPDM-СИСТЕМ) В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Экспертно-аналитический доклад