

youhuamoxing (4)  
Load Case  
Load Case 4  
Normal Modes  
Modes:  
1 - F = 2.426461E+01  
2 - F = 4.459633E+01  
3 - F = 4.900990E+01  
4 - F = 6.047842E+01  
5 - F = 6.675726E+01  
6 - F = 6.862283E+01  
7 - F = 7.195971E+01  
8 - F = 8.168358E+01  
9 - F = 9.672071E+01  
10 - F = 1.166608E+02  
Result Displacement  
Max 1.405e+002  
1.405e+002  
1.265e+002  
1.124e+002  
9.836e+001  
8.431e+001  
7.026e+001  
5.621e+001  
4.216e+001  
2.810e+001  
1.405e+001  
9.822e-013  
Min 2.776e-020  
Animation  
Show



# АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА (CAE-СИСТЕМ), В ТОМ ЧИСЛЕ ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Экспертно-аналитический доклад

# АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА (CAE-СИСТЕМ), В ТОМ ЧИСЛЕ ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, 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, А.А. Михайлов И.Б. Войнов, Чишко С.Д.,  
А.Д. Новокшенов

***Анализ рынка систем инженерного анализа (CAE-систем), в том числе использующих технологии искусственного интеллекта, в рамках направления «Технет» НТИ. Экспертно-аналитический доклад.***

В отчете представлены результаты аналитических исследований рынка систем инженерного анализа (Computer-Aided Engineering, CAE), в том числе использующих технологии искусственного интеллекта, 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 CAE-системах, рыночные кейсы, а также представлен обзор ключевых научных разработок в России по результатам интеллектуальной деятельности. Проведен анализ обновлений функциональных возможностей зарубежных и российских CAE-систем, релиз которых состоялся в 2024 году. Подробно рассмотрены слияния и поглощения разработчиков CAE-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 CAE-систем. 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 CAE-систем в соответствии с направлениями развития технологий 2024 году: представлена характеристика ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей, проведен анализ функциональных возможностей CAE-систем и особенностей реализации ROM и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах и осуществлена разработка предложений для достижения 6-го уровня готовности технологий, развиваемых в рамках научных исследований. Исследование дает целостное представление о развитии современного рынка систем инженерного анализа (CAE-систем).

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>СПИСОК РИСУНКОВ.....</b>                                                                                                                                                                                                                     | <b>5</b>  |
| <b>СПИСОК ТАБЛИЦ.....</b>                                                                                                                                                                                                                       | <b>6</b>  |
| <b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>                                                                                                                                                                                                           | <b>7</b>  |
| <b>ВВЕДЕНИЕ.. .....</b>                                                                                                                                                                                                                         | <b>9</b>  |
| <b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА.....</b>                                                                                                                                                                                        | <b>11</b> |
| 1.1.    Анализ мирового рынка.....                                                                                                                                                                                                              | 11        |
| 1.1.1.    Емкость рынка, темпы роста рынка .....                                                                                                                                                                                                | 11        |
| 1.1.2.    Характеристики основных игроков и их доли на рынке .....                                                                                                                                                                              | 12        |
| 1.1.3.    Географические сегменты рынка .....                                                                                                                                                                                                   | 16        |
| 1.1.4.    Факторы развития мирового рынка.....                                                                                                                                                                                                  | 17        |
| 1.2.    Анализ российского рынка .....                                                                                                                                                                                                          | 19        |
| 1.2.1.    Емкость рынка, темпы роста рынка .....                                                                                                                                                                                                | 19        |
| 1.2.2.    Характеристики основных игроков .....                                                                                                                                                                                                 | 20        |
| <b>ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА....</b>                                                                                                                                                             | <b>24</b> |
| 2.1.    Технологические тренды развития систем. Перспективные направления<br>использования «сквозных» цифровых технологий в системах, составленные на основе<br>тенденций технологического развития, и рыночные кейсы (примеры) .....           | 24        |
| 2.1.1.    Искусственный интеллект .....                                                                                                                                                                                                         | 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 .....                                                                                                                                                                                 | 29        |
| 2.1.5.    Технологии распределенного реестра .....                                                                                                                                                                                              | 29        |
| 2.1.6.    Большие данные.....                                                                                                                                                                                                                   | 29        |
| 2.1.7.    Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации,<br>микросервисы.....                                                                                                                                                      | 30        |
| 2.1.8.    Общие выводы.....                                                                                                                                                                                                                     | 31        |
| 2.2.    Обзор ключевых научных разработок в России по результатам интеллектуальной<br>деятельности (РИД). Динамика РИД в России по направлению, ед., за период 2017-2024.<br>Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД ..... | 31        |
| 2.2.1.    Динамика РИД в России по направлению, ед., за период 2017-2024 .....                                                                                                                                                                  | 32        |
| 2.2.2.    Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД .....                                                                                                                                                                    | 33        |
| <b>ГЛАВА 3. АНАЛИЗ РЕЛИЗОВ ОБНОВЛЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ САЕ<br/>В 2024 Г. (ЗА ПЕРИОД ДО КОНЦА 2024 Г.) .....</b>                                                                                                               | <b>36</b> |
| 3.1.    Анализ релизов обновлений функциональных возможностей зарубежных САЕ-систем<br>в 2024 г.....                                                                                                                                            | 36        |

|                                                                                                                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей российских CAE-систем в 2024 г.....                                                                                         | 71         |
| 3.3. Заключение о тенденциях и приоритетах развития зарубежных и отечественных CAE-систем в 2024 г.....                                                                                | 85         |
| <b>ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИЙ, СДЕЛОК M&amp;A И ПРОЕКТОВ КООПЕРАЦИИ В РОССИИ, И В МИРЕ.....</b>                                                                                        | <b>87</b>  |
| 4.1. Слияния и поглощения разработчиков CAE-систем в мире по состоянию на конец 2024 г.....                                                                                            | 87         |
| 4.2. Проекты кооперации российских разработчиков.....                                                                                                                                  | 97         |
| 4.3. Планы по развитию CAE-систем в России .....                                                                                                                                       | 101        |
| <b>ГЛАВА 5. ОБЗОР НОВЫХ КРУПНЫХ ПРОЕКТОВ В РОССИИ И В МИРЕ .....</b>                                                                                                                   | <b>104</b> |
| 5.1. Проекты в России .....                                                                                                                                                            | 104        |
| 5.2. Проекты за рубежом.....                                                                                                                                                           | 108        |
| <b>ГЛАВА 6. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В РОССИИ, В Т.Ч. АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ПО НИРАМ И НИОКРАМ.....</b>                                                   | <b>112</b> |
| 6.1. Анализ нормативно-правовой базы регулирования в России.....                                                                                                                       | 112        |
| 6.2. Анализ государственных мер поддержки, в т.ч. по НИРам и НИОКРам, сведения о значимых поддержанных проектах .....                                                                  | 121        |
| <b>ГЛАВА 7. БАРЬЕРЫ И РИСКИ, ПРИСУТСТВУЮЩИЕ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ .....</b>                                                                                                              | <b>140</b> |
| 7.1. Ключевые барьеры и проблемы развития систем на российском рынке .....                                                                                                             | 140        |
| 7.2. Необходимые действия для преодоления барьеров и решения проблем .....                                                                                                             | 144        |
| <b>ГЛАВА 8. АНАЛИЗ В СООТВЕТСТВИИ С НАПРАВЛЕНИЯМИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ 2024 .....</b>                                                                                                   | <b>150</b> |
| 8.1. Характеристика ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей .....                                                                                                              | 150        |
| 8.2. Анализ функциональных возможностей CAE-систем и особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах..... | 157        |
| 8.2.1. Анализ функциональных возможностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в CAE-системах.....                                                               | 157        |
| 8.2.2. Анализ особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в CAE-системах.....                                                                              | 163        |
| 8.3. Разработка предложений для достижения 6-го уровня готовности технологий, развиваемых в рамках научных исследований.....                                                           | 164        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>                                                                                                                                                                | <b>167</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ РОССИЙСКИХ CAE-СИСТЕМ.....</b>                                                                                                                               | <b>169</b> |
| <b>ГЛОССАРИЙ .....</b>                                                                                                                                                                 | <b>180</b> |
| <b>БИБЛИОГРАФИЯ.....</b>                                                                                                                                                               | <b>185</b> |

## СПИСОК РИСУНКОВ

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Рисунок 1. Объем мирового рынка и CAGR мирового рынка CAE, млрд долл. ....                                                 | 11  |
| Рисунок 2. Структура мирового рынка CAE-систем, доли компаний-лидеров, % .....                                             | 14  |
| Рисунок 3. Прогноз развития российского рынка CAE, млрд. долл. ....                                                        | 19  |
| Рисунок 4. Число организаций, имевших специальные программные средства класса CAE в России в 2021-2023 гг., ед. ....       | 20  |
| Рисунок 5. Доля организаций, использовавших российские CAE-системы в России на 2023 г., %. 20                              |     |
| Рисунок 6. Количество РИД по направлению «системы инженерного анализа (CAE)» в России в 2017-2024 гг., ед. ....            | 32  |
| Рисунок 7. Использование «классических» и AI/ML-методов моделирования, % респондентов                                      | 153 |
| Рисунок 8. Использование AI/ML-методов моделирования по отраслям, % респондентов. ....                                     | 154 |
| Рисунок 9. Основные сочетания моделей, основанных на физике, и моделей, основанные на данных .....                         | 155 |
| Рисунок 10. Ключевые препятствия для широкого внедрения «классических» и AI/ML-методов моделирования, % респондентов. .... | 165 |

## СПИСОК ТАБЛИЦ

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Таблица 1. Характеристики основных игроков зарубежного рынка CAE-систем.....                                                                                                                  | 12  |
| Таблица 2. Характеристики основных игроков российского рынка CAE-систем.....                                                                                                                  | 21  |
| Таблица 3. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий, составленные на основе тенденций технологического развития, и рыночные кейсы .....                         | 25  |
| Таблица 4. Ключевые разработки в России в части РИД в области CAE-систем .....                                                                                                                | 33  |
| Таблица 5. Сведения об обновлениях функциональных возможностей зарубежных CAE-систем, вошедших в релизы 2024 г. ....                                                                          | 36  |
| Таблица 6. Сведения об обновлениях функциональных возможностей российских CAE-систем, вошедших в релизы 2024 г. ....                                                                          | 72  |
| Таблица 7. Сведения о слияниях и поглощениях разработчиков CAE-систем в мире по состоянию на конец 2024 г. ....                                                                               | 87  |
| Таблица 8. Перечень проектов кооперации российских разработчиков .....                                                                                                                        | 97  |
| Таблица 9. Планы по развитию систем отечественными разработчиками .....                                                                                                                       | 102 |
| Таблица 10. Обзор крупных проектов в области CAE-систем в России .....                                                                                                                        | 104 |
| Таблица 11. Обзор крупных проектов в области CAE-систем в мире.....                                                                                                                           | 109 |
| Таблица 12. Обзор основных мер государственной поддержки.....                                                                                                                                 | 122 |
| Таблица 13. Сведения о поддержанных проектах.....                                                                                                                                             | 133 |
| Таблица 14. Перечень барьеров и рисков развития CAE-систем на отечественном рынке.....                                                                                                        | 142 |
| Таблица 15. Перечень барьеров развития систем на российском рынке и предлагаемые решения для их преодоления.....                                                                              | 146 |
| Таблица 16. Типы ROM и суррогатных моделей, применяемые для решения инженерных задач .....                                                                                                    | 151 |
| Таблица 17. Ключевые преимущества и недостатки суррогатных моделей, основанных на физике в сравнении с «классическими» моделями, основанными на физике и моделями, основанными на данных..... | 155 |
| Таблица 18. Функциональные возможности CAE-систем при реализации ROM и суррогатных моделей .....                                                                                              | 157 |
| Таблица 19. Особенности реализации ROM и суррогатных моделей в CAE-системах.....                                                                                                              | 163 |

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

|       |                                                                                                                                                                |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| БД    | – База данных                                                                                                                                                  |
| ГОСТ  | – Межгосударственный стандарт                                                                                                                                  |
| ЕСКД  | – Единая система конструкторской документации                                                                                                                  |
| ИТ    | – Информационные технологии                                                                                                                                    |
| КЭ    | – Конечные элементы                                                                                                                                            |
| НИР   | – Научно-исследовательские работы                                                                                                                              |
| НИОКР | – Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы                                                                                                     |
| НПА   | – Нормативно-правовой акт                                                                                                                                      |
| НТИ   | – Национальная технологическая инициатива                                                                                                                      |
| ОПК   | – Оборонно-промышленный комплекс                                                                                                                               |
| ПО    | – Программное обеспечение                                                                                                                                      |
| ПП    | – Постановление Правительства                                                                                                                                  |
| ППО   | – Промышленное (индустриальное) программное обеспечение                                                                                                        |
| РАН   | – Российская академия наук                                                                                                                                     |
| РИД   | – Результат интеллектуальной деятельности                                                                                                                      |
| РФРИТ | – Российский фонд развития информационных технологий                                                                                                           |
| ФИПС  | – Федеральный институт промышленной собственности                                                                                                              |
| ФЗ    | – Федеральный закон                                                                                                                                            |
| ФНС   | – Федеральная налоговая служба                                                                                                                                 |
| ЭВМ   | – Электронная вычислительная машина                                                                                                                            |
| AI    | – Artificial Intelligence, Искусственный интеллект (ИИ)                                                                                                        |
| AR    | – Augmented Reality, Средства дополненной реальности                                                                                                           |
| BEM   | – Boundary Element Method, Метод граничных элементов                                                                                                           |
| BIM   | – Building Information Modeling (Model), Технология информационного моделирования (ТИМ) зданий и сооружений                                                    |
| 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 (ЧПУ) |
| CAO   | – Computer-Aided Optimization, Средства оптимизации (компьютерные технологии оптимизации)                                                                      |
| CAPP  | – Computer-Aided Process Planning, Системы автоматизации технологической подготовки производства                                                               |

|      |                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CFD  | – Computational Fluid Dynamics, Вычислительная гидродинамика                                                                                                          |
| DEM  | Discrete Element Method, Метод дискретных элементов                                                                                                                   |
| DT   | – Digital Twin, Цифровой двойник                                                                                                                                      |
| ECAD | – Electronic Computer-Aided Design, Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), печатных плат и электронной компонентной базы (ЭКБ) |
| EDA  | – Electronic Design Automation, Системы автоматизации проектирования электрооборудования и электрических схем                                                         |
| FEA  | – Finite Element Analysis, Конечно-элементный анализ, Анализ методом конечных элементов (МКЭ)                                                                         |
| FEM  | Finite Elements Method, Метод конечных элементов                                                                                                                      |
| FSI  | Fluid Structure Interaction, Взаимодействие жидкости и конструкций                                                                                                    |
| IIoT | – Internet of Things, Интернет вещей                                                                                                                                  |
| IIoT | – Industrial Internet of Things, Промышленный интернет вещей                                                                                                          |
| M&A  | – Mergers and Acquisitions, Слияния и поглощения                                                                                                                      |
| MBD  | – Multi-Body Dynamics, Динамика многотельных систем                                                                                                                   |
| MBS  | – Multi-Body-system Simulation (multibody dynamics simulation), Многотельное моделирование (моделирование многотельных систем)                                        |
| MBSE | – Model Based System Engineering, Моделе-ориентированный системный инжиниринг                                                                                         |
| ML   | – Machine Learning, Технология машинного обучения                                                                                                                     |
| MM   | – Mathematical Modeling, Системы математического моделирования                                                                                                        |
| NVH  | – Noise, Vibration and Harshness, Шум, вибрация и жесткость                                                                                                           |
| PDM  | – Product Data Management, Системы управления данными об изделии                                                                                                      |
| PLM  | – Product Lifecycle Management, Системы управления жизненным циклом изделия                                                                                           |
| ROM  | – Reduced Order Models, Модели пониженного порядка                                                                                                                    |
| SaaS | – Software as a Service, Программное обеспечение как услуга;                                                                                                          |
| SPDM | – Simulation Processes and Data Management, Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования                                                       |
| SPH  | – Smoothed Particle Hydrodynamics, Гидродинамика сглаженных частиц                                                                                                    |
| VR   | – Virtual Reality, Средства виртуальной реальности                                                                                                                    |

## ВВЕДЕНИЕ

Экспертно-аналитический доклад, подготовленный Инфраструктурным центром «Технет» СПбПУ, и планируемые результаты его реализации признаны соответствующими целям решения задач обеспечения технологического суверенитета 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<sup>1</sup>.

Так, результаты аналитических исследований будут содействовать развитию технологий и использованы при разработке надстроек (программных модулей) для разработки ROM (Reduced Order Model, Модель пониженного порядка) в составе Цифровой платформы по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench®.

В аналитическом исследовании рассмотрен рынок CAE-систем (Computer-Aided Engineering, Системы автоматизации инженерных расчетов (системы инженерного анализа)), то есть программных систем, позволяющих 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.

Использование электронных вычислительных машин при разработке промышленной продукции ведет свою историю с 1950-1960-х годов. Первоначально компьютерные вычисления использовались для решения конкретных задач, затем, с развитием оборудования, удалось некоторые процессы разработки продукта вести на базе компьютеров. Постепенно стали появляться первые программные комплексы, прототипы систем автоматизированного проектирования (САПР). Так, появилось три вида программных продуктов, используемых при проектировании: системы компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD), с помощью которых можно было получить сначала двухмерную, а потом трехмерную модель изделия, системы инженерного анализа (CAE) и системы управления оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ) / разработки управляющих программ ЧПУ (Computer-Aided Manufacturing, CAM).

В первой половине 1980-х годов программные продукты САПР запускались на специальных графических модулях, поэтому их стоимость была значительной, что не позволяло масштабировать решения. Во второй половине 1980-х годов развитие компьютерного оборудования позволило устанавливать программные пакеты на персональные компьютеры, стоимость CAD/CAE/CAM систем упала, что привело к масштабированию использования этого программного обеспечения [1].

CAE-системы позволяют формировать аналитическую информацию об изделии в рамках процесса его разработки. В 1990-х годах системы компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD) стали использоваться абсолютным большинством автопроизводителей, в это время CAE-технологии преимущественно использовались для виртуального прототипирования, как этап между проектированием за счет САПР и CAM-систем. Современная трактовка понятия CAE

---

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

предполагает рост точности вычислений и эффективности при разработке моделей за счет совершенствования компьютерного оборудования [2].

В 2010-х годах интеграция высокопроизводительных вычислений (High Performance Computing, HPC) и облачных сервисов демократизировала доступ к инструментам CAE, что также способствовало росту профильного рынка [3].

Ожидается, что роль CAE-систем будет расти в дальнейшем. Так, выделяются следующие тренды развития этих технологий:

- 1) Интеграция с инструментарием искусственного интеллекта и машинного обучения: возможность автоматизации комплексных задач по моделированию и инженерному анализу. Формирование прогнозов, предложений по изменению изделия и пр.
- 2) Облачные решения меняют ситуацию на рынке, так как пользователи получают доступ к значительным вычислительным ресурсам, также расширяются возможности для удаленной совместной работы.
- 3) Мультидисциплинарный характер моделирования, предполагающий создание цифровых двойников изделий. Снижение барьеров, связанных с переносом моделей из одного приложения в другое, автоматизация процессов моделирования, возможность выбора лучших решений на рынке для достижения определенных целей инженерного анализа.
- 4) Расширение применения CAE-приложений из традиционного автомобилестроения и авиастроения в другие сектора машиностроения. Такие отрасли как энергетика, здравоохранение, электроника ускоряют внедрение CAE-решений.
- 5) Улучшение пользовательского опыта и доступности программного обеспечения. Этот тренд предполагает улучшение доступности инструментария CAE-систем для широкого круга профессионалов.
- 6) Кооперация и управление данными – формирование бесшовных систем взаимодействия распределенных инженерных команд по решению задач инженерного анализа и принятия решений [4].

Экспертно-аналитический доклад включает анализ рынка CAE-систем в мире и в России, в том числе информацию о технологических тенденциях и новых крупных проектах, анализ релизов обновлений функциональных возможностей систем, анализ нормативного правового регулирования в России, анализ барьеров и рисков, присутствующих на российском рынке и др.

В рамках работ по развитию технологии в разделе восемь отчета представлены результаты аналитических исследований технологий создания моделей пониженного порядка (Reduced Order Models, ROM) и суррогатных моделей, включая описание характеристик и бизнес-ценности ROM и суррогатных моделей (применяемых для решения задач различного типа), анализ функциональных возможностей реализации ROM и суррогатных моделей, анализ особенностей реализации ROM и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах, возможностей работы с функционалом ROM-моделей в SPDM-системах (Simulation Process and Data Management, системы управления процессами и данными компьютерного моделирования), работающих непосредственно с данными CAE-систем.

## ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА

В данной главе представлен анализ мирового и российского рынка CAE-систем. Анализ включает оценку объема и темпов роста рынка, а также характеристики основных игроков и их долей на рынке. Для зарубежного рынка дополнительно рассматриваются географические сегменты рынка и факторы его развития, для российского рынка приведено заключение о его текущем состоянии и потенциале развития CAE-систем.

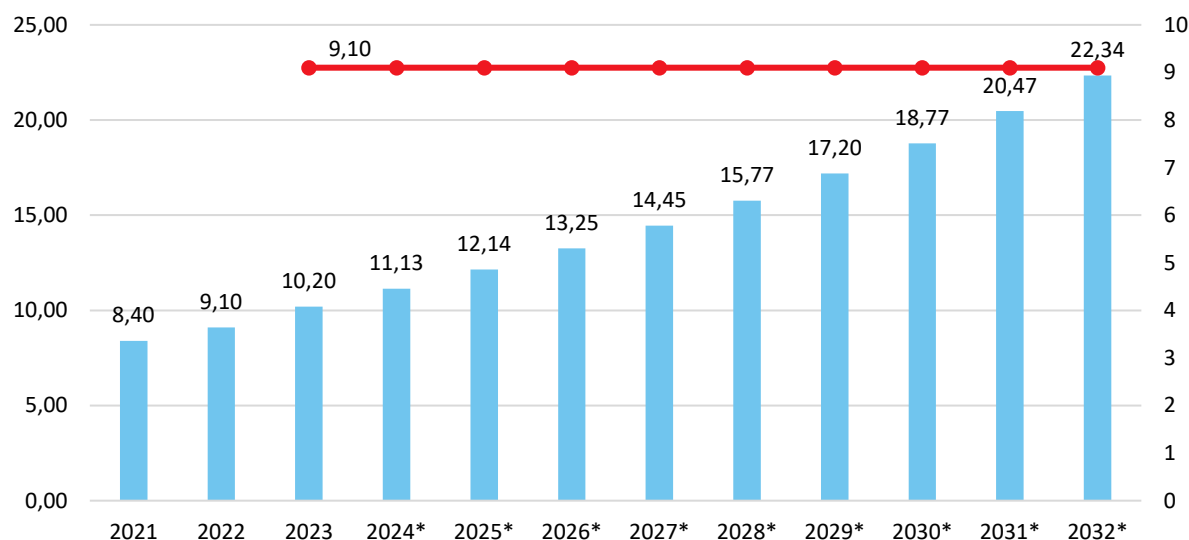
### 1.1. Анализ мирового рынка

#### 1.1.1. Емкость рынка, темпы роста рынка

По данным компании Future Market Insights объем мирового рынка CAE-систем на 2021 г. составил 8,40 млрд долл., в 2022 г. – 9,01 млрд долл. [5]. По данным компании IMARC Group [6] объем рассматриваемого рынка в 2023 г. достиг 10,20 млрд долл., темпы роста (Compound Annual Growth Rate, CAGR) в период 2023-2032 гг. составят 9,10%. График с объемом мирового рынка и CAGR мирового рынка CAE-систем приведен на рисунке 1. Основными факторами, стимулирующими рост рынка, по мнению IMARC Group, выступает растущий спрос на проектирование на основе моделирования, возрастающая необходимость моделирования и анализа сложных систем, а также усиливающееся стремление к снижению затрат на натурные испытания прототипов изделий.

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

\* прогноз на основе CAGR



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным IMARC Group [6]

Альтернативные оценки объема рынка CAE-систем:

- По данным компании Fortune Business Insights [7], глобальный рынок систем инженерного анализа оценивался в 8,00 млрд долл. в 2023 г. и, по прогнозам, составит 8,91 млрд долл. в 2024 г. и достигнет 21,60 млрд долл. к 2032 г., демонстрируя среднегодовой темп

роста (CAGR) в 11,7% в течение прогнозируемого периода 2024–2032 гг.

- Аналитики компании Infiniti Research Limited [8] считают, что рынок систем инженерного анализа вырастет на 4,69 млрд долл. при среднегодовом темпе роста (CAGR) 9,45% в период с 2023 г. по 2028 г.
- Компания AgileIntel Research Pvt [9] пришла к заключению, что глобальный рынок CAE-систем оценивался в более чем 8,63 млрд долл. в 2021 г. и, по оценке компании, будет расти с совокупным среднегодовым темпом роста (CAGR) в 7,60% в период с 2022 г. по 2029 г.

1.1.2. Характеристики основных игроков и их доли на рынке

Компания Infiniti Research Limited [8] выделяет в числе основных представителей рынка CAE-систем следующие компании:

- Autodesk Inc.
- Altair Engineering Inc.
- Ansys Inc.
- Bentley Systems Inc.
- Cadence Design Systems Inc.
- Ceetron AS.
- COMSOL AB.
- Dassault Systemes.
- ESI Group.
- Flow Sciences Inc.
- Hexagon AB.
- Parametric Designs and Solutions.
- PTC Inc.
- Seiko Epson Corp.

Помимо перечисленных выше, аналитики компании Fortune Business Insights [7] выделяют в числе ключевых представителей рынка следующие компании: Siemens AG, Aveva Group, SimScale GmbH.

В таблице 1 представлены сведения об объемах выручки основных игроков рынка CAE-систем. Перечень игроков сформирован на основе консолидации позиций из указанных выше источников.

Таблица 1. Характеристики основных игроков зарубежного рынка CAE-систем

| № | Игрок<br>(название компании)   | Выручка<br>за 2023 г.,<br>млн долл.             | Ссылка на сайт компании                                                                       |
|---|--------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Hexagon AB                     | 5 440,00 [10]<br>5 500,00 [11]<br>5 900,00 [12] | <a href="https://hexagon.com/">https://hexagon.com/</a>                                       |
| 2 | Cadence Design<br>Systems Inc. | 4 080,00 [13]<br>4 090,00 [14]<br>4 160,00 [15] | <a href="https://www.cadence.com/en_US/home.html">https://www.cadence.com/en_US/home.html</a> |

| №  | Игрок<br>(название компании)        | Выручка<br>за 2023 г.,<br>млн долл.             | Ссылка на сайт компании                                                                                                   |
|----|-------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Ansys Inc.                          | 2 260,00 [16]<br>2 269,90 [17]                  | <a href="https://www.ansys.com/">https://www.ansys.com/</a>                                                               |
| 4  | PTC Inc.                            | 2 097,00 [18]<br>2 180,00 [19]<br>2 220,00 [20] | <a href="https://www.ptc.com/">https://www.ptc.com/</a>                                                                   |
| 5  | Bentley Systems Inc.                | 1 220,00 [21]<br>1 228,40 [22]                  | <a href="https://www.bentley.com/industries/">https://www.bentley.com/industries/</a>                                     |
| 6  | Seiko Epson Corp.                   | 563,00 [23]                                     | <a href="https://corporate.epson/en/">https://corporate.epson/en/</a>                                                     |
| 7  | Altair Engineering Inc.             | 610,00 [24]<br>612,70 [25]<br>627,21 [26]       | <a href="https://altair.com/">https://altair.com/</a>                                                                     |
| 8  | COMSOL AB                           | 105,10 [27]                                     | <a href="https://www.comsol.com/">https://www.comsol.com/</a>                                                             |
| 9  | BETA CAE Systems                    | 90,00 [28]                                      | <a href="https://www.beta-cae.com/">https://www.beta-cae.com/</a>                                                         |
| 10 | Parametric Designs and<br>Solutions | 47,10 [29]                                      | <a href="https://pds-mcad.com/">https://pds-mcad.com/</a>                                                                 |
| 11 | Flow Sciences Inc.                  | 10,00 [30]                                      | <a href="https://flowsciences.com/">https://flowsciences.com/</a>                                                         |
| 12 | ESI Group                           | Н/Д                                             | <a href="https://www.esi-group.com/">https://www.esi-group.com/</a>                                                       |
| 13 | Dassault Systemes                   | Н/Д                                             | <a href="https://www.3ds.com/">https://www.3ds.com/</a>                                                                   |
| 14 | Ceetron AS                          | Н/Д                                             | <a href="https://www.techsoft3d.com/products/ceetron/envision/">https://www.techsoft3d.com/products/ceetron/envision/</a> |

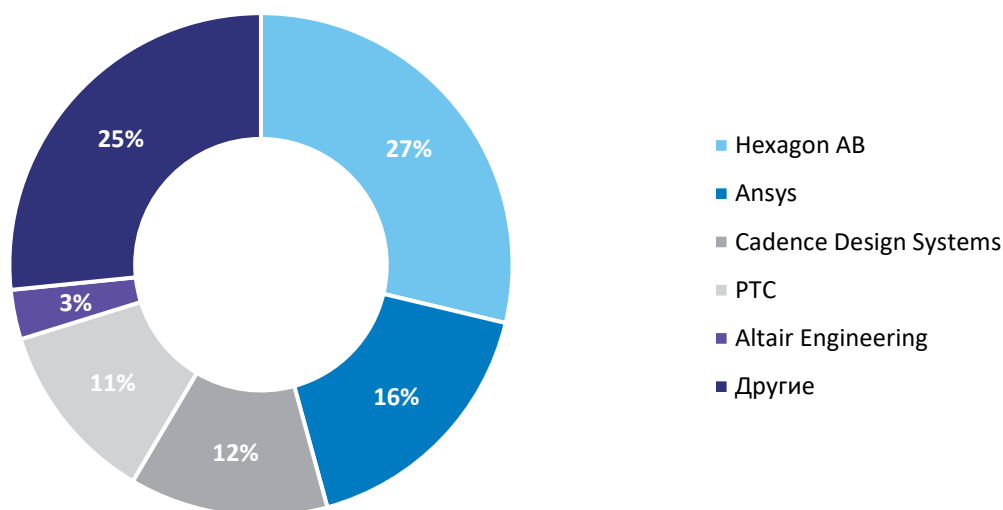
Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

#### Примечания к таблице 1:

- В отношении выручки Altair Engineering Inc. существуют различные сведения. По данным официального сайта [25] выручка составляет 612,70 млн долл. Согласно данным компании Companies Marketcap [24], выручка данной компании составляет 610,00 млн долл. Другая оценка – 627,21 млн долл. по мнению Fusion Media Ltd. [26].
- Выручка Ansys Inc. в 2 260,00 млн долл. оценивается компанией Companies Marketcap [16], а по данным компании Fusion Media Ltd. [17] выручка составляет 2 269,90 млн долл.
- По данным выручки Bentley Systems Inc. имеются следующие сведения: 1 220,00 млн долл. по оценке Companies Marketcap [21] и 1 228,40 млн долл. по данным Fusion Media Ltd. [22].
- У BETA CAE Systems годовой доход по расчетам аналитиков HPCwire [28] составляет около 90,00 млн долл.
- По компании Cadence Design Systems Inc. выручка приведена из нескольких источников: по данным Companies Marketcap [13] составляет 4 080 млн. долл., по данным FactSet Research Systems Inc. [14] – 4 090,00 млн долл., по данным Fusion Media Limited [15] – 4 160,00 млн долл.

Оценка долей ключевых представителей мирового рынка CAE приведена на рисунке 2 на основе данных [32], а также по экспертной оценке на основе выручки компаний из открытых источников.

Рисунок 2. Структура мирового рынка CAE-систем, доли компаний-лидеров, %



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным WhaTech [33] и выручке компаний

Рассмотрим некоторых представителей мирового рынка CAE-систем с высокой рыночной долей подробнее.

**Ansys Inc.** (Канонсберг, Пенсильвания, США, дата основания – 1970 г.) – лидер в области программного обеспечения для мультифизического (multiphysics) моделирования, который предлагает комплекс средств компьютерного моделирования с применением метода конечных элементов (МКЭ). В 2024 г. американская компания Synopsys получила одобрение на приобретение Ansys за 35 млрд долл. Продукты Ansys широко используются для инженерного анализа, включая структурный анализ, моделирование динамики жидкостей, электромагнитного поля, проектирование и мультифизическое моделирование на системном уровне, а также для управления данными о материалах [33]. Ansys разрабатывает программные обеспечения Mechanical, CFX, Fluent, LS-DYNA, Motion, Autodyn и др.

Инструменты ANSYS позволяют решать всевозможные задачи из различных областей физики:

- Механика деформируемого твердого тела.
- Теплообмен.
- Механика жидкости и газа.
- Электромагнетизм.
- Многодисциплинарный анализ с сопряжением различных научных областей.

Программное обеспечение и услуги ANSYS для компьютерного моделирования используются в различных отраслях промышленности и академических кругах, включая аэрокосмическую и оборонную промышленность, автомобилестроение, энергетику, прочее машиностроение, здравоохранение и строительство. Инструменты инженерного анализа предназначены для оптимизации разработок на начальных этапах проектирования, снижения стоимости выпускаемой продукции, а также для сокращения цикла разработки нового изделия и минимизации количества натурных испытаний [34].

**Hexagon AB** (Стокгольм, Швеция, год основания – 1975 г.; включает компанию MSC Software,

основанную в 1963 г. и приобретенную Hexagon AB в 2017 г., стоимость сделки составила 834 млн долл.) предоставляет решения для 3D проектирования и моделирования, измерения, а также обработки и представления данных. Программное обеспечение компании Hexagon включает решения для моделирования свойств материалов, изделий и процессов, решения для анализа методом конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA), вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD) и динамики многотельных систем (Multi-Body Dynamics, MBD) [35]. Hexagon разрабатывает программные обеспечения MSC Nastran, Patran, Marc, CoSim, Cradle CFD, Adams и др.

**Siemens AG** (Мюнхен, Германия, год основания – 1847 г.) – это ведущая технологическая компания, работающая в таких областях, как промышленность, инфраструктура, транспорт и здравоохранение. **Siemens Digital Industries Software** (ранее Siemens PLM Software) – отдел департамента Siemens Industry Automation Division немецкого концерна Siemens AG – один из лидирующих поставщиков программных средств и услуг по управлению жизненным циклом изделия (PLM). Siemens разрабатывает программные обеспечения Simcenter, NX, NASTRAN, StarCCM+ и др. [36]. Портфель программных продуктов компании для инженерного анализа включает инструменты для выполнения 1D-функционального моделирования, 3D-расчетного моделирования, решения задач вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD), анализа МКЭ, теплового анализа, анализ динамики и вибраций и др.

**Dassault Systemes** (Велизи-Вилакубле, Франция, год основания – 1981 г.) разрабатывает программное обеспечение для проектирования и моделирования, управления жизненным циклом продукта (PLM). Основные продукты компании включают в себя CATIA, SOLIDWORKS, SIMULIA / Abaqus (Standard, Explicit) / FlowWorks, DELMIA и ENOVIA. С помощью программных продуктов компании Abaqus/CAE пользователи могут создавать, редактировать, контролировать, диагностировать и визуализировать результаты инженерного анализа. К продуктам Dassault Systèmes проявляют интерес заказчики из авиакосмической и оборонной отраслей, промышленных и транспортных компаний, предприятий топливно-энергетического комплекса и др. [37].

**Altair Engineering Inc.** (Трой, Мичиган, США, год основания – 1985 г.) – ведущий разработчик CAE/CAO/PLM-программного обеспечения для полного цикла разработки продукции нового поколения, высокопроизводительных вычислений (HPC) и обработки данных. В 2024 г. компания Siemens AG выразила намерение приобрести Altair Engineering Inc. за 10 млрд долл., ожидаемый срок сделки – первая половина 2025 г. Компания Altair Engineering Inc. является разработчиком платформы HyperWorks, которая является мировым лидером в области CAE-систем. HyperWorks объединяет инструменты моделирования, расчета, анализа и структурной оптимизации, позволяет создавать инновационные решения во всех областях промышленности и производства. Наиболее востребованные программные продукты HyperWorks: HyperMesh, RADIOSS, AcuSolve, OptiStruct [38].

**Cadence Design Systems Inc.** (Сан-Хосе, Калифорния, США, год основания – 1983 г.) – компания, занимающаяся разработкой программного обеспечения для автоматизации проектирования электронных устройств (Electronic Design Automation, EDA) и предоставлением инженерных услуг.

Команией Cadence в 2024 году приобретена **BETA CAE Systems** (Люцерн, Швейцария, с основным научно-исследовательским центром в Салониках, Греция; год основания – 1999 г.) – лидер среди компаний, предоставляющих решения в области моделирования и анализа. Портфолио BETA CAE

включает в себя флагманские продукты пре- и постобработки (ANSA, META), используемые в задачах моделирования и анализа мультифизических систем и др., а также системы управления процессами, данными и ресурсами компьютерного моделирования (Simulation Process, Data and Resource Management, SPDRM), и т. д. Решения BETA CAE широко применяются в автомобильной и аэрокосмической промышленности, здравоохранении и др. [28].

### 1.1.3. Географические сегменты рынка

По данным компании Fortune Business Insights [7], наибольшая доля рынка в 2021 году приходилась на европейский регион. По данным компании ожидается, что в прогнозируемом периоде 2024 – 2032 гг. присутствие ключевых игроков рынка в европейских странах будет способствовать росту рынка CAE-систем. Автомобильная промышленность является ключевой отраслью в Европе, что, вероятно, будет стимулировать спрос на средства инженерного анализа, т.к. растущее число инжиниринговых центров и организаций, специализирующихся на цифровом проектировании и моделировании в автомобильном сегменте, вкладывают значительные средства в надежные инструменты для инженеров.

Также по данным компании Fortune Business Insights [7] ожидается, что Азиатско-Тихоокеанский регион займет значительную долю рынка в прогнозируемый период 2024 – 2032 гг. благодаря увеличению государственных расходов на развитие обрабатывающей промышленности и увеличения мощностей по производству возобновляемой энергии.

Страны Южной Америки, такие как Аргентина, Бразилия, Чили и Колумбия, обновляют свою промышленную политику. Страны также увеличивают иностранные инвестиции для стимулирования индустриализации в регионе. Ожидается, что это будет способствовать росту возможностей для рынка CAE-систем в Южной Америке.

Также ожидается, что рост производительности в обрабатывающей промышленности на Ближнем Востоке и в Африке расширит возможности поставщиков программного обеспечения для систем инженерного анализа, т.к. за последние несколько лет обрабатывающие отрасли стали ключевыми экономическими факторами стран Ближнего Востока и Африки.

Кроме того, многие компании в Северной Америке, такие как Ansys, Altair Engineering, Dassault Systemes и Bentley Systems, вкладывают значительные ресурсы в цифровую трансформацию, и часто рассматриваются как одни из первых, кто становится интегратором таких технологий, как Интернет вещей (Internet of Things, IoT), искусственный интеллект (Artifact Intelligence, AI; ИИ), автоматизация и облачные технологии.

Аналитики компании Infiniti Research Ltd. [8] считают, что Азиатско-Тихоокеанский регион внесет 32% в рост мирового рынка CAE в прогнозируемый период 2024-2028 гг. Также CAE-системы играют решающую роль в процессах исследований и разработок в аэрокосмической и оборонной промышленности Европы, т.к. в этом регионе находится множество специализированных компаний. Это делает европейский рынок значительным фактором роста технологий, обеспечивающих реализацию проведения анализа методом конечных элементов (FEA) при разработке высокотехнологичных изделий. Европейское космическое агентство (European Space Agency, ESA) является активным пользователем программного обеспечения для вычислительной гидродинамики (CFD) в Европе. В аэрокосмическом секторе программное обеспечение CAE играет важную роль в

проектировании энергоэффективных самолетов, пассажирских самолетов с низким уровнем выбросов. На фоне растущего интереса к инновациям и устойчивому развитию в аэрокосмической отрасли наблюдается еще больший спрос на передовые CAE-решения.

#### **1.1.4. Факторы развития мирового рынка**

Относительно мирового рынка CAE-систем выделяются следующие факторы развития.

##### *Интенсификация использования цифровых технологий [7; 9; 39]*

Увеличение использования цифровых технологий, таких как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI), машинное обучение (Machine Learning, ML), автоматизация, облачные технологии и другие, в проектировании изделий способствует повышению их качества и срока эксплуатации. Кроме того, для минимизации времени и затрат на разработку, внедряются решения в области систем инженерного анализа, что, как ожидается, будут стимулировать рост рынка. Высокий спрос на облачные/SaaS-решения (Software as a Service, Программное обеспечение как услуга), где сторонние поставщики услуг размещают и предоставляют приложения через Интернет. Среди преимуществ: снижение затрат на приобретение и техническую поддержку программного и аппаратного обеспечения.

Предлагая экономически эффективные, масштабируемые и облачные решения CAE, компании обеспечивают доступ к передовым инженерным возможностям без значительных инвестиций. Этот переход к облачным вычислениям не только снижает операционные издержки, но и способствует беспрепятственному обмену данными и коллаборативной работе, что повышает производительность и стимулирует распространение инноваций.

##### *Распространение технологии 3D-печати [9]*

3D-печать приобретает все большее значение в различных отраслях, таких как автомобилестроение, аэрокосмическая и оборонная промышленность, электронная промышленность и здравоохранение. Она используется для производства автомобильных компонентов, таких как формы, инструменты для термоформования, оснастка и др. Кроме того, 3D-печать в секторе здравоохранения привела к созданию более легких, прочных и индивидуальных медицинских устройств, хирургических инструментов и лабораторного оборудования, такого как слуховые аппараты, экзоскелеты и т. д. Более того, аддитивные технологии также используются для создания протезов и индивидуальных имплантатов для пациентов в ортопедической и стоматологической хирургии.

Необходимость оптимизации и проверки конструкций, соблюдение требований к точности и качеству, рост спроса на персонализацию и кастомизацию, развитие новых материалов и технологий 3D-печати стимулируют развитие CAE-систем. Они становятся необходимым инструментом для эффективного проектирования, анализа и оптимизации деталей для аддитивного производства, позволяя создавать сложные, точные и качественные изделия.

##### *Рост применения вычислительной гидродинамики (CFD) в процессе проектирования аккумуляторов [8]*

Способность CFD моделировать течение жидкости, теплопередачу и электрохимические процессы играет ключевую роль в повышении эффективности проектирования аккумуляторов. Это имеет решающее значение для удовлетворения растущего спроса на высокопроизводительные аккумуляторы для электромобилей и систем накопления энергии возобновляемых источников. Кроме того, роль CFD в разработке передовых технологий, таких как твердотельные и литий-серные аккумуляторы, требует сложных возможностей моделирования, что, в свою очередь, стимулирует спрос на инструменты CAE.

Кроме того, обеспечение безопасности аккумуляторов и соответствия нормативным требованиям с помощью CFD-моделирования является критическим фактором, способствующим внедрению таких технологий, поскольку они помогают снизить потенциальные риски, включая тепловой срыв и короткие замыкания. Рынок также демонстрирует значительное расширение благодаря увеличению использования CFD в проектировании промышленного оборудования, особенно в оборонной и аэрокосмической отраслях. Рост рынка CAE обусловлен растущим пониманием его потенциала в трансформации процессов проектирования, снижении затрат и обеспечения достижения высоких потребительских характеристик готовой продукции.

#### *Снижение требований к глубоким техническим знаниям у пользователей программного обеспечения в области задач вычислительной гидродинамики (CFD) [8]*

Ранее к проблемам на рынке CAE относились высокая стоимость найма специалистов по CFD, сложность программного обеспечения, требующая глубоких математических знаний, и необходимость в обучении для повышения эффективности его использования. Это способствовало значительному росту затрат для компаний, в особенности, при выпуске обновлений продуктов. Современные решения CAE значительно продвинулись в решении данных проблем. Системы обладают удобными интерфейсами, предоставляют более доступные учебные инструкции. Гибкость развертывания CAE-систем (как на собственных серверах, так и в облаке) позволяет удовлетворять разнообразным требованиям компаний, подтверждая их ключевую роль в инновациях и повышении производительности.

#### *Рост влияния CAE-систем в наукоемких отраслях [8]*

Рынок автоматизированного проектирования играет значительную роль в процессах проектирования и производства в различных отраслях, включая гражданское самолетостроение. Программное обеспечение класса CAE широко используется в авиационной отрасли для анализа деформации конструкций во время полетов на большой высоте, оптимизации расхода топлива и снижения выбросов углерода для минимизации углеродного следа. В электротехнической и электронной промышленности спрос на программное обеспечение CAE растет из-за увеличения производства и потребительского спроса на смартфоны и планшеты новых поколений.

Вызовом для динамики рынка CAE по данным компании AgileIntel Research [9] является наличие программного обеспечения с открытым исходным кодом, что, как ожидается, будет сдерживать рост рынка в прогнозируемый период 2022-2029 гг. Программное обеспечение с открытым исходным кодом выгодно для небольших поставщиков программного обеспечения. Основным преимуществом такого программного обеспечения является возможность быстрого выявления и устранения незначительных ошибок и сбоев, что затруднено в технологиях с закрытым исходным

кодом из-за ограниченного числа разработчиков и тестировщиков.

## 1.2. Анализ российского рынка

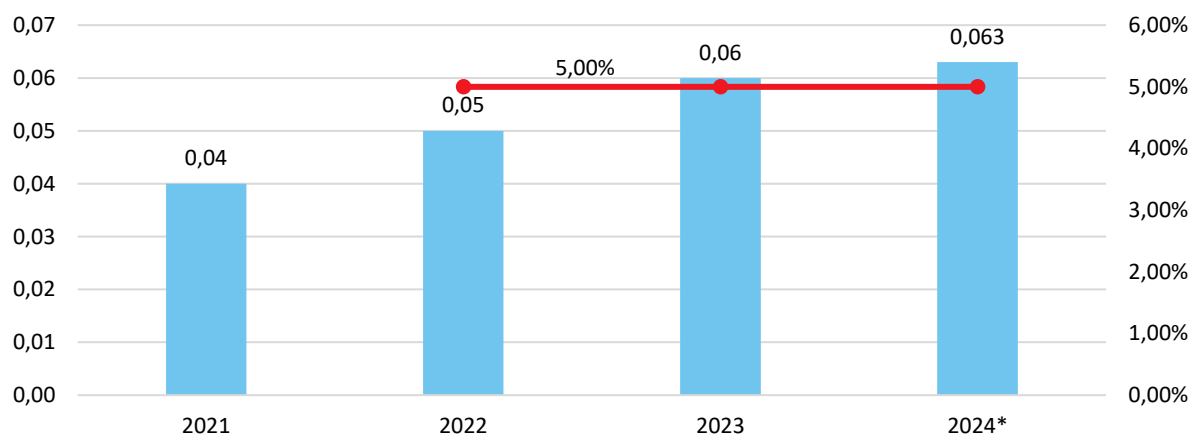
### 1.2.1. Емкость рынка, темпы роста рынка

На основе экспертной оценки объем российского рынка CAE в 2023 г. составил 0,06 млрд долл., ожидаемый рост рынка (CAGR) составит 5% в период 2022 – 2024 г.

В рублях объем российского рынка в 2021 г. составил 2,95 млрд руб., в 2022 г. – 3,43 млрд руб. и в 2023 г. – 5,11 млрд руб. (рисунок 3). Для оценки был использован средневзвешенный курс доллара: 2021 г. – 73,65 руб., 2022 г. – 78,55 руб., 2023 г. – 85,25 руб.

Рисунок 3. Прогноз развития российского рынка CAE, млрд. долл.<sup>2</sup>

\* прогноз на основе CAGR



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ

Число организаций, имевших специальные программные средства класса CAE в России за период 2021-2023 гг., представлено на рисунке 4. Отмечается высокая востребованность систем рассматриваемого класса во всех сферах хозяйственной деятельности. Снижение количества организаций в 2023 году может быть связано с санкционным давлением, остановкой поставки и технической поддержки зарубежных систем данного класса на российском рынке.

<sup>2</sup> Курс доллара: 2021 г. – 73,65 руб., 2022 г. – 78,55 руб., 2023 г. – 85,25 руб.

Рисунок 4. Число организаций, имевших специальные программные средства класса САЕ в России в 2021-2023 гг., ед.

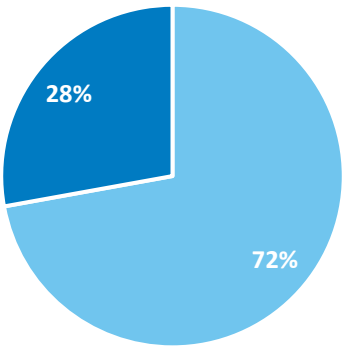


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Росстат [40]

В соответствии с рисунком 5, на российском рынке лидирующие позиции по состоянию на 2023 г. продолжали занимать зарубежные САЕ-системы.

Рисунок 5. Доля организаций, использовавших российские САЕ-системы в России на 2023 г., %

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



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Росстат [40]

1.2.2. Характеристики основных игроков

Среди российских разработчиков и вендоров САЕ-систем можно выделить ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ЗАО «Топ системы», ООО «ЗВ Сервис» (ООО «ЗВС»), ООО «ТЕСИС», ООО «КАДФло», ООО «Фидесис» и другие. Основные представители российского рынка САЕ-систем и их выручка в 2023 году приведены в таблице 2. Полный перечень российских разработчиков САЕ-систем на основании выгрузки из Единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин (ЭВМ) и баз данных (БД), выполненной 11.10.2024, по классификатору, утвержденному

приказом Минцифры России от 22.09.2020 № 486, только по основному классу ПО представлен в Приложении 1.

Таблица 2. Характеристики основных игроков российского рынка CAE-систем

| №  | Игрок<br>(название компании)   | Выручка за<br>2023 г., млн руб. | Ссылка на сайт компании                                                                           |
|----|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | АО «ИТЦ «ДЖЭТ»                 | 1583,80                         | <a href="https://get-sim.ru+B+F4:F18">https://get-sim.ru+B+F4:F18</a>                             |
| 2  | АО НПО «МКМ»                   | 94,71                           | <a href="http://wp-lvm.mkmssoft.ru/">http://wp-lvm.mkmssoft.ru/</a>                               |
| 3  | ЗАО «Топ системы»              | 1626,95                         | <a href="https://www.tflex.ru/">https://www.tflex.ru/</a>                                         |
| 4  | ООО «ЗВС»                      | 478,25                          | <a href="https://www.3v-services.com/">https://www.3v-services.com/</a>                           |
| 5  | ООО «АВТОМЕХАНИКА»             | 75,72                           | <a href="https://www.euler.ru/index.php/ru/main/am">https://www.euler.ru/index.php/ru/main/am</a> |
| 6  | ООО «Вычислительная механика»  | 35,37                           | н/д                                                                                               |
| 7  | ООО «ДАТАДВАНС»                | 353,18                          | <a href="https://www.datadvance.ru/">https://www.datadvance.ru/</a>                               |
| 8  | ООО «КАДФЛО»                   | 203,36                          | <a href="https://cadflo.ru/">https://cadflo.ru/</a>                                               |
| 9  | ООО «КванторФорм»              | 162,63                          | <a href="https://www.qform3d.ru/">https://www.qform3d.ru/</a>                                     |
| 10 | ООО «КИНТЕХ ЛАБ»               | 67,00                           | <a href="https://www.kintechlab.com/ru/">https://www.kintechlab.com/ru/</a>                       |
| 11 | ООО «КОМПАНИЯ ЭНИЛОДЖИК»       | 290,45                          | <a href="https://www.anylogic.ru/">https://www.anylogic.ru/</a>                                   |
| 12 | ООО «НИИ «АСОНИКА»             | 44,88                           | <a href="https://asonika-online.ru/about/">https://asonika-online.ru/about/</a>                   |
| 13 | ООО «Оптименга-777»            | 40,00                           | <a href="https://www.optimenga777.com/">https://www.optimenga777.com/</a>                         |
| 14 | ООО «ПОИНТ Инжиниринг»         | 8,98                            | <a href="https://geo-solution.ru/">https://geo-solution.ru/</a>                                   |
| 15 | ООО «ТЕСИС»                    | 364,86                          | <a href="https://tesis.com.ru/">https://tesis.com.ru/</a>                                         |
| 16 | ООО «Тор»                      | 15,72                           | <a href="https://torholding.ru/">https://torholding.ru/</a>                                       |
| 17 | ООО «Фидесис»                  | 82,65                           | <a href="https://cae-fidesys.com/">https://cae-fidesys.com/</a>                                   |
| 18 | ООО НПФ «СКАД СОФТ»            | 77,60                           | <a href="https://scadsoft.com/">https://scadsoft.com/</a>                                         |
| 19 | ООО НТП «ДИП»                  | 93,94                           | <a href="https://ntp-dip.ru/contacts.html">https://ntp-dip.ru/contacts.html</a>                   |
| 20 | ООО НТЦ «АПМ»                  | 129,02                          | <a href="https://apm.ru/">https://apm.ru/</a>                                                     |
| 21 | ООО ЦЕНТР РАЗВИТИЯ САПР «ГЕОС» | 12,99                           | <a href="https://k3info.ru/">https://k3info.ru/</a>                                               |
| 22 | ФГУП РЯЦ-ВНИИЭФ                | Н/Д                             | <a href="https://www.vniief.ru/about/vniiefmain">https://www.vniief.ru/about/vniiefmain</a>       |

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

Рассмотрим некоторых представителей российского рынка CAE-систем с высокой рыночной долей подробнее.

**Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ»)** – российское государственное научное и производственное предприятие, входящее в состав госкорпорации «Росатом». ФГУП «РЯЦ-ВНИИЭФ» разрабатывает пакет программ ЛОГОС, который предназначен для промышленного 3D-

моделирования. Он позволяет моделировать различные физические процессы для расчета характеристик изделий с высокой точностью начиная с ранних стадий проектирования. ЛОГОС – инструмент для решения широкого спектра расчетных задач: проведения поверочных расчетов, исследования оптимальных вариантов конструкции, подтверждения конструкторских решений и проведения комплексных виртуальных испытаний.

Пакет программ ЛОГОС позволяет моделировать процессы аэро-, гидро- и газодинамики, распространения тепла в твердом теле, тепловой конвекции, переноса излучения, напряжения, деформации и разрушения конструкций, а также взаимодействие перечисленных физических процессов между собой. В ЛОГОС реализованы численные методы расчетов с использованием неструктурированных и структурированных сеток. В состав пакета входит пре- и постпроцессор, предназначенный для импорта и обработки CAD/FEM/CFD-моделей, генерации поверхностных и объемных сеток, имеющий визуальную среду для подготовки и постобработки расчетной модели [41].

**ООО «ЗВ Сервис» (ООО «ЗВС»)** является разработчиком собственных программных продуктов: SimInTech и LCMS [42]. SimInTech (Simulation In Technic) – среда разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев, который предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления [43].

LCMS (Lean Construction Management System) – программный комплекс, отвечающий за подготовку и оптимизацию строительно-монтажных работ с помощью передовых инструментов планирования и моделирования, обеспечение участников строительства высокотехнологичными инструментами управления, а также за разработку документов в соответствии с потребностями тех или иных участников стройки, как бумажными, так и электронными [44].

**Компания ООО «КАДФло»** – инженерно-консалтинговая компания, на сегодняшний момент активно занимается разработкой и поставкой инженерных решений для промышленных предприятий [45]. Компания разрабатывает и поставляет на рынок продукт «CADFLO», который помогает решать задачи гидрогазодинамики, теплообмена, прочности, электромагнетизма и мультифизического инженерного анализа, использующий инновационные технологии моделирования. Программные средства линейки CADFLO позволяют решать широкий спектр задач аэрокосмической промышленности, автомобилестроения, электроники и приборостроения, добывающей, перерабатывающей промышленности и энергетики, судостроения и др. [46].

**ООО «Фидесис»** является разработчиком и вендором программного пакета для инженерного анализа Fidesys, который предназначен для инженерного анализа прочности и решения геомеханических задач. Решение позволяет проводить оценку надежности и ресурса механических конструкций, а также предиктивный анализ эффективности и безопасности проведения работ при добыче полезных ископаемых. Fidesys используется в машиностроении (авиастроение, космическая промышленность, судостроение, двигателестроение, автостроение и т. д.), нефтегазовой и горнодобывающей промышленности, медицине и других отраслях [47].

**Компания ООО «ТЕСИС»** является одним из ведущих российских разработчиков и поставщиков инженерных решений для промышленных предприятий, исследовательских организаций, вузов [48]. Разрабатывает следующие продукты:

- FlowVision – программный комплекс для моделирования задач аэро- и гидродинамики;

- KompasFlow – программный комплекс для выполнения аэро- и гидродинамических расчетов непосредственно в рабочей среде КОМПАС-3D;
- FSI – программный комплекс для решения задач взаимодействия жидкости и конструкций (Fluid Structure Interaction, FSI). Осуществляет интеграцию прочностного программного комплекса SIMULIA Abaqus и программы решения задач аэро- и гидродинамики FlowVision;
- РеВерсия – отечественное решение для обратного проектирования (реверс-инжиниринга).

Общими тенденциями развития российского рынка CAE-систем являются:

- Импортозамещение: в условиях ограничений использования зарубежного программного обеспечения, российские компании демонстрируют активное развитие собственных решений, разрабатывая аналоги широко распространенных зарубежных продуктов.
- Интеграция с технологиями информационного моделирования (ТИМ) зданий и сооружений (Building Information Modeling (Model), BIM): активно развивается интеграция CAE-систем с решениями для информационного моделирования зданий, что обеспечивает повышение точности инженерных расчетов на всех этапах жизненного цикла объектов.
- Расширение функциональных возможностей: наблюдается внедрение новых возможностей системы за счет поддержки мультифизического моделирования (механика, теплопередача, электромагнетизм и др.), что обеспечивает комплексный анализ взаимодействующих физических явлений в единой программной среде.
- Применение высокопроизводительных вычислений (HPC): для повышения эффективности вычислительных процессов широко внедряются облачные технологии и параллельные вычисления на высокопроизводительных вычислительных системах (включая суперкомпьютеры).

Данные инновации способствуют повышению конкурентоспособности российских компаний на рынке CAE-систем и снижению технологической зависимости от зарубежных решений в отраслях, имеющих критическое значение для национальной безопасности и технологического лидерства.

## ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА

Настоящая глава посвящена анализу технологических тенденции развития мирового и российского рынка систем инженерного анализа (CAE) по разделам:

- 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)

Мировая экономика находится под воздействием многочисленных долгосрочных вызовов, таких как затяжная экономическая рецессия, растущие требования потребителей в части кастомизации производимой продукции и др., влияние которых накапливалось на протяжении последних десятилетий и шоков, связанных с последствиями коронавирусной инфекции COVID-19, а также ростом геополитической напряженности и увеличению количества санкций, препятствующих передаче технологий между странами.

В таких условиях все большее значение приобретают технологические направления, способные стать основной для новой волны экономического роста, такие как искусственный интеллект, в т.ч. генеративный искусственный интеллект, распространение No-Code/Low-Code подходов, облачных технологий и сервисов, комплексных платформенных решений и гибких модульных систем во всех областях, способных, по оценкам международных консалтинговых организаций [49–51], оказать влияние на развитие совокупности отраслей за счет обеспечения создания инновационных продуктов и сервисов и (или) способствующих формированию новых рынков.

Для России развитие таких «сквозных» технологий входит в число приоритетов национального развития и закрепляется в соответствующих нормативно-правовых документах. В частности, в 2017 году перечень «сквозных» технологий закреплён в программе «Цифровая экономика Российской Федерации» [52]. По состоянию на 2024 год, актуальные технологические приоритеты Российской Федерации, направленные на обеспечения технологического суверенитета, закреплёны в Концепции технологического развития до 2030 года [53]. Среди них выделяются технологии искусственного интеллекта, новых материалов, квантовых вычислений и коммуникаций, накопления энергии, систем связи, космических систем [53].

Наиболее актуальными в контексте инженерного программного обеспечения являются такие «сквозные» цифровые технологии как:

- Искусственный интеллект.
- Квантовые технологии.
- Современные и перспективные сети мобильной связи.

- Технологии виртуальной и дополненной реальности.
- Технологии больших данных.
- Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы.

Перспективы использования вышеуказанных групп технологий имеют определенную специфику в зависимости от класса программного обеспечения, а также от степени своей готовности к промышленной реализации. 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 инженерного анализа (CAE)» (таблица 3).

Таблица 3. Перспективные направления использования «сквозных» цифровых технологий, составленные на основе тенденций технологического развития, и рыночные кейсы

| № | Сквозные / цифровые технологии                  | Основные перспективные направления использования в разрезе класса                                                                                                                                                                        | Примеры кейсов использования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Искусственный интеллект                         | Развитие ROM-моделей и суррогатных моделей в качестве дополнения к конечно-элементному моделированию; интеллектуальные помощники, встроенные в CAE-системы                                                                               | Системы компьютерного моделирования, интегрирующие функционал искусственного интеллекта от компаний Ansys и SimScale.                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2 | Квантовые технологии                            | Квантовые технологии находятся на достаточно ранней стадии развития. Тем не менее, значительный потенциал квантовых вычислений служит причиной организации ряда экспериментов по использованию квантовых вычислений для инженерных задач | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3 | Технологии виртуальной и дополненной реальности | Объединение функциональных возможностей продуктов класса CAE с программами VR, возможность коллаборации в рамках основного функционала CAE и веб-VR [54]                                                                                 | Использование системы VR Concept, позволяющей компоновать трехмерную функциональную модель изделия, используя данные из CAD-, CAE-, CAM-пакетов холдингом «Синара – Транспортные машины» [55].<br>Использование компанией Ansys решения для моделирования CAE от Hexagon MSC Software, позволяющего инженерам проверять и оптимизировать конструкции изделий с помощью виртуальных прототипов [56]. |
| 4 | Технологии больших данных                       | Создание предиктивных моделей [57]                                                                                                                                                                                                       | Использование машинного обучения и больших данных в решении EinNel позволяет с высокой точностью                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| № | Сквозные / цифровые технологии                                           | Основные перспективные направления использования в разрезе класса     | Примеры кейсов использования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                          |                                                                       | предсказывать поведение системы в начале цикла проектирования. Для принятия проектных решений учитываются как конструктивные, так и производственные ограничения, что позволяет избежать итераций на более поздних этапах цикла проектирования [58].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5 | Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы | Обеспечение доступа к мощностям для высокопроизводительных вычислений | <p>Использование облачной системы EinNel, которая позволяет валидировать сложные проекты с меньшими вычислительными мощностями [58]</p> <p>Cadence Design Systems представила платформу Cadence OnCloud, которая устраняет необходимость в дорогостоящих локальных вычислительных и серверных ресурсах, которые требуют высоких расходов на обслуживание и эксплуатацию [59].</p> <p>Облачная платформа Ansys – Ansys Cloud Direct предоставляет доступ к облачным вычислительным ресурсам по требованию, включая интерактивные рабочие станции и кластеры высокопроизводительных вычислений [60].</p> |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Среди общих технологических трендов для технологий CAE специалистами компании SIMR [57] выделяются три наиболее важных:

1. Демократизация ресурсов высокопроизводительных вычислений через облако. Облачные ресурсы высокопроизводительных вычислений устраняют необходимость инвестиций в дорогостоящее оборудование и программное обеспечение, предлагая более гибкие модели ценообразования, чем, например, обычное (и часто дорогое) лицензирование программного обеспечения.
2. Дополнение междисциплинарного полномасштабного конечно-элементного моделирования на основе фундаментальных законов физики методами машинного обучения на основе нейросетей. Традиционное конечно-элементное моделирование основано на законах физики и в этом его неоспоримое преимущество, именно так мы можем получить обоснованные оценки / предсказания (предсказательное моделирование), что характерно для процесса «экстраполяции». Однако доступ к потоковым большим данным (например, генерируемым с помощью датчиков и

индустриального интернета вещей) позволяет обучать нейронные сети, создавая прогностические имитационные модели, основанные на больших данных. Такое применение машинного обучения в среде моделирования позволяет резко сократить время решения задачи на основе эксплуатационных данных, что позволяет анализировать лишь похожие ситуации («интерполяция»).

3. Распространение технологии цифровых двойников изделий, объектов и процессов. Сегодня технологии цифровых двойников широко используются в производстве. Развитие технологий моделирования привели к расширению определения и роли цифрового двойника, которое включает в себя создание двойников не только физических объектов, но и систем, в которых эти объекты проектируются, тестируются и производятся.

Эксперты VerifiedMarketReports выделяют еще несколько трендов CAE [61]:

- Улучшенные пользовательские интерфейсы и удобство использования. Современное программное обеспечение CAE имеет интуитивно понятный интерфейс, упрощающий сложное моделирование и анализ.
- Интеграция с CAD- и PLM-системами. Бесшовная интеграция позволяет напрямую передавать проектные данные между CAD-, CAE- и PLM-системами, что оптимизирует рабочий процесс проектирования, сокращая количество ошибок и временных затрат.
- Мультифизическое и многомасштабное моделирование расширяют возможности CAE. Методы учитывают множество физических явлений, обеспечивая более полное понимание сложных систем.

### 2.1.1. Искусственный интеллект

Ключевым направлением использования технологий ИИ в сфере CAE является создание моделей пониженного порядка (ROM) и суррогатных моделей. Главным преимуществом использования таких моделей является сокращение времени на расчеты. На примере компании Estesco, решение на основе заранее построенной ROM-модели затрачивается 270 миллисекунд против 220 часов работы процессора в случае с полноценным CFD-моделированием [62]. Однако в [62] не указывается «невидимая часть айсберга» - сколько времени было затрачено на построение ROM-модели? Именно эта неопределенность типична для всех ИИ-подходов для построения ROM-моделей у всех компаний.

- Использование ROM-моделей позволяет инженерам-расчетчикам выполнять анализ моделирования в реальном времени, анализировать физические явления, такие как разделение потока, турбулентность и кавитация, изучать новые сценарии оптимизации конструкции и др [62].

#### *Кейс SimScale*

В октябре 2023 года немецкая компания SimScale [63] представила «первую полностью интегрированную и облачную систему прогнозирования на основе искусственного интеллекта в программном обеспечении для моделирования».

Система разработанная SimScale функционирует как полностью облачная платформа для

моделирования в формате SaaS. Основная идея системы, по замыслу разработчиков, заключается в использовании ИИ для получения быстрых результатов, чтобы инженеры могли проводить большее количество моделирований для решения задач разработки новых изделий и конструкций. Вместо того, чтобы проводить моделирование тысяч сгенерированных конструкций, инженеры проводят моделирование  $\approx 100$  конструкций, используют полученные данные для обучения модели машинного обучения (ML) с помощью ИИ и затем оценивают оставшиеся сгенерированные варианты. После обучения модели, ИИ может выступать в качестве частичной альтернативы анализу методом конечных элементов, вычислительной гидродинамики и другим методам анализа [64].

### *Кейс Ansys*

В 2024 году компания Ansys запустила [65] платформу Ansys SimAI для работы с суррогатными моделями с применением искусственного интеллекта. Ansys SimAI, работает в режиме SaaS и сочетает в себе точность прогнозирования моделирования Ansys и скорость генеративного ИИ. Новое решение поддерживает открытую экосистему и прогнозирует производительность в течение нескольких минут. По заявлению разработчиков, Ansys SimAI является интуитивно понятным и простым в использовании. Вместо того, чтобы полагаться на геометрические параметры для определения конструкции, Ansys SimAI использует форму самой конструкции в качестве входных данных, что способствует более широкому исследованию конструкции, даже если структура формы не совпадает с обучающими данными. Как ожидается, Ansys SimAI может повысить эффективность прогнозирования работы модели на всех этапах проектирования в 10-100 раз для проектов, требующих больших вычислений [66].

## **2.1.2. Квантовые технологии**

На сегодняшний день квантовые технологии находятся на ранней стадии развития и решения на их основе еще не внедряются в сферу CAE. Но тем не менее потенциал квантовых вычислений для инженерных расчетов представляется значительным [67]. Развитие нового класса вычислительных устройств даст возможность семейству CAD/CAE/CAM систем работать на другом уровне системных ограничений и позволит производить расчеты гораздо быстрее.

## **2.1.3. Современные и перспективные сети мобильной связи**

Перспективные технологии мобильной связи (5G и подобные) не относятся к тем решениям, которые используются на этапе непосредственно инженерного проектирования. Вместе с тем известны случаи реализации систем промышленного интернета вещей на основе передовых технологий мобильной связи, использующих данные, полученные в ходе работы систем CAE.

Так компании PTC и Ansys разработали коннектор между системами инженерных расчетов Ansys и приложениями PTC для промышленного интернета ThingWorx®. Разработанный коннектор позволяет потребителям использовать данные инженерных расчетов при эксплуатации физических изделий. Сопоставление данных инженерных расчетов с данными о состоянии реального оборудования позволит потребителям оптимизировать работу и корректировать режим технического обслуживания оборудования [68].

#### 2.1.4. Технологии виртуальной и дополненной реальности

Ключевым направлением использования технологий дополненной (AR) и виртуальной (VR) реальности в сфере CAE является оптимизация процессов проектирования и обучения. Эти технологии позволяют значительно улучшить качество работы и повысить эффективность различных этапов разработки. В частности, технологии AR/VR дают возможность инженерам получать реалистичные сценарии, а также ускоряют процесс разработки и проектирования, позволяя командам совместно исследовать и визуализировать идеи [69].

##### *Кейс VR Concept*

VR Concept – российский инструмент для виртуального прототипирования, который позволяет создавать трехмерные функциональные модели изделий, используя данные из CAD-, CAE- и CAM-систем. VR Concept предлагает инструменты для работы с виртуальным цифровым прототипом автомобилей, самолетов и судов на всех этапах их разработки [70]. Холдинг «Синара – Транспортные машины» начал использовать приложение виртуального прототипирования VR Concept для анализа конструкций и оценки удобства обслуживания и ремонта локомотивов в виртуальной реальности. У холдинга появился эффективный инструмент для демонстрации своей продукции на выставках и значимых отраслевых встречах [55].

#### 2.1.5. Технологии распределенного реестра

Применение технологий распределенного реестра (TPP) в первую очередь связано с задачами верификации и обеспечения безопасности данных. Такая специализация означает, что технологии распределенного реестра интегрируются с CAE-системами не совсем прямым образом, в частности – через пересечение в составе сложных CAD/CAE/CAM-комплексов ПО. Среди возможностей применения TPP можно указать на решения, способные безошибочно доказать авторство сложных CAD-моделей.

##### *Кейс интеграции TPP в OpenDXM GlobalX*

В 2021 году в Союзе немецких машиностроителей (Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V, VDMA) [71] был сформирован комитет по блокчейн-технологиям, целью которого является обмен информацией о технологии и более глубокое изучение ее применения в промышленности. Комитет работает во взаимодействии с ИТ-отделом VDMA и открыт для всех компаний-членов, заинтересованных в блокчейн-приложениях. Участник комитета, компания PROSTEP, показала, как с помощью технологии распределенного реестра можно безошибочно доказать авторство сложных CAD-моделей. Решение на основе технологии блокчейн в настоящий момент интегрировано в систему обмена данными OpenDXM GlobalX [72], разработанную компанией Prostep [73].

#### 2.1.6. Большие данные

В определенном смысле, CAE-системы по умолчанию работают с большими данными, учитывая размер данных, получаемых при моделировании сложных технических систем.

### *Кейс EinNel*

Разработчики EinNel's Data-Driven CAE постулируют переход от «простого» моделирования к моделированию на основе целей (Objective-Driven Engineering). Решения компании в области машинного обучения (ML) и больших данных в CAE позволяют предсказывать поведение системы в начале цикла проектирования с высокой точностью, в результате чего создается необходимое число практически ориентированных гипотез в моделировании. Дополнительным преимуществом в использовании системы является снижение требований к производительности вычислительного оборудования. Для принятия проектных решений учитываются как проектные, так и производственные ограничения, что позволяет избежать возможности итераций на более поздней стадии цикла проектирования [58].

#### **2.1.7. Облачные сервисы, платформизация, инструменты коллаборации, микросервисы**

Эксперты VerifiedMarketReports [61] выделяют тренд на переход в сторону облачных решений, что меняет способы доступа инженеров к инструментам моделирования и их использования. Облачные платформы предлагают масштабируемые вычислительные ресурсы, позволяя инженерам выполнять сложное моделирование без необходимости использования дорогостоящего локального оборудования.

### *Кейс Cadence Design Systems*

Cadence Design Systems представила платформу Cadence OnCloud, облегчающую процесс проектирования и обеспечивающую глобальное сотрудничество, значительную производительность, преимущества масштабируемости и снижение времени внедрения. Кроме того, платформа устраняет необходимость в дорогостоящих локальных вычислительных и серверных ресурсах, требующих высоких расходов на обслуживание и эксплуатацию.

Cadence OnCloud предоставляет следующие пакеты для проектирования и анализа систем:

- Программное обеспечение для базового проектирования печатных плат, на основе CADence OrCAD.
- Усовершенствованное проектирование печатных плат: предоставляет комплексные возможности проектирования схем и компоновки с помощью встроенных инструментов проверки анализа в CADence Allegro.
- Мультифизический анализ: программное обеспечение для мультифизических вычислений для электромагнитных, тепловых, электрических характеристик и анализа целостности сигналов с использованием CADence Clarity, Sigrity и Celsius.
- Стандартный и расширенный CFD: предоставляет сквозные рабочие процессы вычислительной гидродинамики (CFD) «все-в-одном» – от создания сетки всех типов областей потока до решения мультифизических задач потока и расширенной постобработки анализа потока – с использованием программного обеспечения CADence Fidelity CFD [59].

### *Кейс Ansys*

Для создания безопасного облачного решения Ansys Cloud Direct компания Ansys заключила партнерское соглашение с Microsoft Azure. Ansys Cloud Direct повышает производительность моделирования за счет предоставления доступа к высокопроизводительным вычислениям и устранения аппаратного барьера. Доступ к высокопроизводительным вычислениям в облаке доступен прямо из приложений Ansys Mechanical, Ansys Fluent, Ansys Electronics Desktop, Ansys Speos, Ansys Discovery, Ansys LS-Dyna и LST LS-dyna.

Компании Liftra, которая занимается созданием решений для подъема и транспортировки, внедрение Ansys Cloud Direct позволило создавать более сложные проекты и более полные модели до пяти раз быстрее [60].

### *Кейс COMSOL*

В шестой версии COMSOL Multiphysics® приложение было дополнено сервером Model Manager, веб-интерфейсом, где можно управлять моделями, приложениями для моделирования, а также дополнительными и вспомогательными файлами. Сервер Model Manager – это система баз данных, которой можно управлять либо из COMSOL Desktop, либо из пользовательского веб-интерфейса. Локальные установки COMSOL Multiphysics® могут подключаться к центральному серверу с помощью сервера Model Manager [74].

### **2.1.8. Общие выводы**

В качестве наиболее важных технологических тенденций для развития CAE-систем можно выделить облачные технологии и технологии искусственного интеллекта. Необходимо отметить, что в случае с облачными технологиями вопрос сводится преимущественно к продуктовой деятельности компаний по трудо- и ресурсоемкому созданию облачных предложений для потребителей, нежели по разработке каких-либо принципиально новых облачных технологий. Серьезным фактором влияния на рынок в случае с распространением облачных технологий и растущим спросом на облачные CAE-решения среди потребителей является появление возможностей для малых компаний, которые ранее не могли конкурировать с крупными компаниями, имеющими масштабные возможности по организации внедрения своих продуктов на инфраструктуре компаний-потребителей. В этом смысле облачные технологии оказывают определенное «демократизирующее» влияние на рынок и увеличивают конкуренцию. Технологии искусственного интеллекта для сферы CAE развиваются преимущественно в направлении моделей пониженного порядка (ROM-моделей), создавая новые возможности для быстрого моделирования, позволяющих сократить количество точных и ресурсоемких моделей на начальных этапах разработки.

## **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 инженерного анализа (CAE) по разделам:

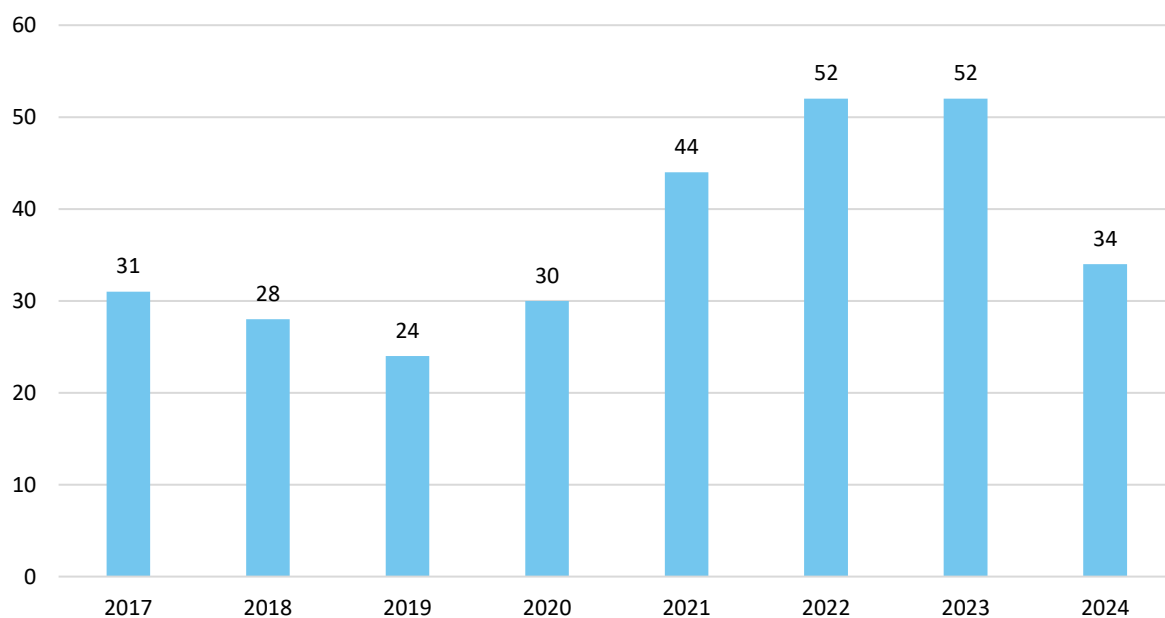
- Динамика РИД в России по направлению, ед., за период 2017-2024.
- Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД.

В ходе анализа рассматриваются программы для ЭВМ, зарегистрированные в системе Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС) [75] по следующим ключевым словам: «Computer Aided Engineering», «Computer-aided Engineering», «Computer Aided Software Engineering», «CAE Analysis», «Система инженерного анализа», «CAE», «средства инженерного анализа», «система инженерного анализа», «система инженерных расчетов», «средства для инженерных расчетов», «средства для инженерного анализа». Кроме того, в рамках работы учитываются актуальные программные продукты, включенные в Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД [76]. Однако, следует отметить, что результаты поиска чрезвычайно чувствительны к терминам, выбранным для поиска. Возможны случаи, в которых инженеры и ученые не используют перечисленные термины при описании РИД.

### 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 инженерного анализа (CAE)» является система ФИПС [75]. В данном разделе было проанализирована динамика регистрации CAE-систем в ФИПС с 2017 по 2024 гг.

Рисунок 6. Количество РИД по направлению «системы инженерного анализа (CAE)» в России в 2017-2024 гг., ед.<sup>3</sup>



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным ФИПС [75]

С 2017 по 2019 гг. наблюдался спад в количестве регистрируемых CAE-систем в ФИПС (на 23% за

<sup>3</sup> Данные по состоянию на 24.08.2024

период), с 2019 по 2022 гг. наблюдался рост (на 117%). В 2023 г., также как и в 2022 г. было зарегистрировано 52 программы ЭВМ. Данные за 2024 г. приведены на первую половину года.

### 2.2.2. Качественный анализ ключевых разработок в России в части РИД

В качестве ключевых научных разработок в области CAE-систем в рамках настоящего подраздела рассматриваются ТОП-10 последних актуальных программных продуктов, включенных в Единый реестр российских для ЭВМ и БД [76], относящихся к классу программного обеспечения по классификатору, утвержденному приказом от 22.09.2020 № 486 [77] «08.05 Средства инженерного анализа (CAE)» и зарегистрированные в системе ФИПС [75] (таблица 4).

Таблица 4. Ключевые разработки в России в части РИД в области CAE-систем

| № | Дата регистрации в базе ФИПС | Дата регистрации в реестре российского ПО | Название                                                                                                                                                                            | Правообладатели                    | Краткое описание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 02.09.2021                   | 31.10.2022                                | Программный модуль «Система обеспечения инженерных расчетов» комплекса программ в защищенном исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие» (СПЖЦ.CAE) | ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»                 | Программное обеспечение для подготовки, последующего предварительного оценочного конечно-элементного прочностного или теплового анализа трехмерной твердотельной модели (детали, сборочной единицы), расчета стандартных элементов и типовых соединений и обработки результатов расчета                                                                                                                   |
| 2 | 20.06.2016                   | 14.03.2017                                | APM StructFEM                                                                                                                                                                       | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программа позволяет проводить анализ напряженно-деформированного состояния (с помощью МКЭ) трехмерных объектов любой сложности при произвольном закреплении, статическом или динамическом нагружении в 64-разрядных операционных системах без формального ограничения степеней свободы, проводить расчет устойчивости и собственных частот, а также тепловой анализ, выполнять расчеты сварных, болтовых, |

| № | Дата регистрации в базе ФИПС | Дата регистрации в реестре российского ПО | Название                                                   | Правообладатели                    | Краткое описание                                                                                                                                      |
|---|------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                              |                                           |                                                            |                                    | заклепочных соединений, создавать документацию в соответствии с ЕСКД, использовать при проектировании базы данных стандартных изделий и материалов.   |
| 3 | 06.08.2020                   | 30.12.2020                                | TopOpt: топологическая оптимизация                         | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программное обеспечение для проведения топологической оптимизации (ТО) с целью получения оптимальной формы изделия в заданных условиях эксплуатации   |
| 4 | 11.08.2020                   | -                                         | Fatigue: расчет выносливости                               | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программное обеспечение для моделирования и инженерного анализа усталостных процессов в механических объектах при числе циклов нагружения более 10000 |
| 5 | 21.08.2020                   | 31.12.2020                                | Harmonic: гармонический анализ конструкций                 | ООО Научно-технический центр «АПМ» | В программе имеются инструменты для проведения гармонического анализа (ГА) с целью определения отклика модели на гармоническое воздействие            |
| 6 | 21.08.2020                   | 30.12.2020                                | Composite: расчет конструкций из композиционных материалов | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программное обеспечение для работы с конструкциями из композиционных материалов                                                                       |
| 7 | 21.08.2020                   | 30.12.2020                                | Pipe: расчет элементов трубопроводов                       | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программное обеспечение для моделирования трубопроводов                                                                                               |
| 8 | -                            | 23.12.2016                                | APM WinMachine                                             | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программное обеспечение для инженерных расчетов механического оборудования и конструкций в машиностроении                                             |
| 9 | -                            | 03.12.2018                                | APM Multiphysics                                           | ООО Научно-технический центр «АПМ» | Программное обеспечение для комплексного инженерного анализа конструкций                                                                              |

| №  | Дата регистрации в базе ФИПС | Дата регистрации в реестре российского ПО | Название    | Правообладатели | Краткое описание                                                                                         |
|----|------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | -                            | 23.12.2016                                | CAE Fidesys | ООО «ФИ-ДЕСИС»  | При отсутствии патента на систему в целом, в базе ФИПС присутствует 25 патентов на отдельные модули [75] |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ по данным Минцифры России [76], ФИПС [75]

Ключевые актуальные разработки в России в части РИД в области CAE-систем также регистрируются правообладателями в Едином реестре российских программ для ЭВМ и БД [76], то есть позиционируются как полноценные рыночные продукты, соответствующие стандартам Минцифры России.

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

В данной главе представлен анализ обновлений, реализованных в CAE-системах в течение 2024 года, а также основные тенденции их развития. Исследование сосредоточено на следующих аспектах:

- обновления функциональных возможностей зарубежных CAE-систем, включая улучшение методов моделирования, поддержку новых вычислительных алгоритмов и адаптацию к глобальным требованиям стандартизации и др.
- изменения в российских CAE-системах, включая развитие собственных технологий, акцент на импортонезависимость и удовлетворение потребностей отечественного рынка.
- итоговый анализ выявленных тенденций и приоритетов, определяющий основные направления развития CAE-систем в 2024 году.

3.1. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей зарубежных CAE-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 представители рынка, в числе которых Ansys Inc., Altair Engineering Inc., Siemens AG, Dassault Systemes, Hexagon AB (MSC Software) и COMSOL Inc. и др.

Результаты представлены в таблице, 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 5. Сведения об обновлениях функциональных возможностей зарубежных CAE-систем, вошедших в релизы 2024 г.

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза               | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Ansys Inc.                 | Февраль –<br>Июль<br>2024 г. | <p><b>Программный продукт:</b> <b>Ansys Mechanical</b> – программный продукт для решения задач механики сплошной среды: задач прочности, теплопроводности, линейной динамики, гидравлики, акустики [78; 79].</p> <p><b>Версия:</b> <b>2024R1</b> [79] – Февраль 2024 г.</p> <p><b>Дискретизация области:</b></p> <p>1. Разработана новая (для Mechanical) парадигма работы для дискретизации области – шаблон «рабочего процесса» (Workflow). На данный момент поддерживается выбор встроенных шаблонов для построения конечно-элементной сетки FEM (Finite Element Method, Метод конечных элементов) и BEM (Boundary Element Method,</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|----------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>Метод граничных элементов, используемого для расчетов задач акустики), сетки методом Stacker. Также доступно создание пользовательского «рабочего процесса».</p> <p>2. Добавлен новый инструмент «Morphing Region», позволяющий определить область сетки, подлежащую изменению в целях адаптации для широкого спектра частот при расчетах внешней акустики. Сетка автоматически изменяется в процессе вычислений.</p> <p>3. Метод расположения узлов конечных элементов «Patch Conforming Tetrahedrons» получил настройки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Off;</li> <li>• Program Controlled – выбор режима осуществляется программой;</li> <li>• Conservative – позволяет лишь смещение вдоль поверхности геометрии;</li> <li>• Aggressive – разрешает смещение в любом направлении, без учета геометрии;</li> <li>• Custom – положение, задаваемой пользователем.</li> </ul> <p>4. Локальные приграничные слои (Inflation Control) могут быть созданы из элементов в форме тетраэдра.</p> <p>5. Тетраэдрическая форма конечных элементов выбирается по умолчанию для явной динамики (Explicit).</p> <p>6. Метод построения пространственной конечно-элементной сетки MultiZone, кроме традиционных улучшений надежности и декомпозиции геометрии на блоки, получил поддержку «протягивания вдоль кривой» (Sweep) в режиме «Несколько-к-Одному» для неструктурированной сетки (Mapped Mesh = No).</p> <p>7. Метод Axisymmetric Sweep поддерживает сгущение конечно-элементной сетки в осевом направлении с помощью указания размеров на границах поверхностей и построение сетки для деталей, состоящих из нескольких тел с общей топологией.</p> <p>8. Инструмент Mesh Copy получил настройку допуска для слияния узлов. Допуск можно задать как абсолютную величину, так и в долях от размера элементов, что особенно полезно для тел с общей топологией.</p> <p>9. В спецификации критериев качества сетки (Mesh Quality Worksheet) появились действия в контекстном меню, позволяющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Создать именованный набор элементов, у которых нарушен один из критериев, предъявляемых к геометрии элемента;</li> </ul> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Создать именованный набор элементов, у которых геометрия близка к нарушению одного из критериев;</li> <li>Отобразить значение критерия в виде эпюры;</li> <li>Отобразить значение критерия в виде гистограммы;</li> <li>Отобразить только тела с конечными элементами, геометрия которых нарушает один из критериев.</li> <li>Восстанавливать значения измененных пользователем критериев можно для каждого критерия отдельно.</li> </ul> <p><b>Оболочечная сетка для поверхностей:</b></p> <p>10. Реализован метод Automatic (PrimeMesh). Метод может использоваться с инструментами Connect и Weld для связи пространственных и оболочечных конечных элементов.</p> <p>11. Инструмент Weld получил некоторые обновления. Для области зоны термического влияния (HAZ, heat affected zone) добавлена возможность определения характеристик для соединяемых оболочек по-отдельности, а также опция задания общего размера зон. Сварной шов, моделируемый независимо от сетки (Mesh Independent), поддерживает прерывистый тип (Intermittent).</p> <p>12. Локальная настройка построения конечно-элементной стеки типа Washer имеет настройку Quad Layer, так как появился тип Edge Loop, позволяющий создавать приграничные слои оболочечных элементов вокруг отверстий произвольной формы.</p> <p><b>Бета-опции для сеток:</b></p> <p>13. Добавлены отображение эпюры величины отклонения узлов конечно-элементной сетки от геометрии и опции отображения областей конечно-элементной сетки, отмеченных как неизменяемая (frozen), подавленная (suppressed) или попавшая под упрощение геометрии (defeaturing). Данные функции полезны для проверки качества сетки.</p> <p>14. Добавлена опция построения полуструктурированной сетки для метода MultiZone.</p> <p>15. В общих настройках сетки появилась дополнительная опция выбора перехода от гексагональной формы конечных элементов к тетраэдральной. Опция Hanging-Edge, позволит получить конформную только по узлам сетку на гранях с общей топологией без пирамид.</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>16. Метод частиц (Particle) получил ручную настройку задания расстояния между частицами, а также возможность выбора направления заполнения модели частицами.</p> <p>17. Метод построения Cartesian получил опцию, допускающую использование призматических конечных элементов, что позволит успешно построить гексагональную сетку для геометрических тел со сложной топологией.</p> <p>18. При использовании метода Axisymmetric Sweep пользователь получил возможность указать метод построения сетки в случае возникновения ошибки.</p> <p>19. Метод Stacker поддерживает построение оболочечных элементов и опцию Mesh Flow Control, позволяющую задать ориентацию формы конечных элементов вдоль глобальных осей координат.</p> <p><b>Обработка результатов:</b></p> <p>20. В настройках предпочтений можно запросить отображение номера элемента, для которого наблюдаются значения распределения величины в пространстве – минимальное (Min), максимальное (Max) и заданное пользователем (Interactive).</p> <p>21. Вычисление линеаризованных напряжений доступно для циклических и расчетов с несколькими этапами нагружения. Притом отрезок для линеаризации может пересекать как исходную сетку, так и сетку с циклической симметрией. Также доступен просмотр результатов на поверхностях.</p> <p>22. Появилась возможность отобразить на одном графике несколько зависимостей, к которым относятся: результаты стандартных вычислений или моделирования (значения по осям, например, напряжение, деформация, температура), пользовательские результаты.</p> <p><b>Математические модели материалов:</b></p> <p>23. Реализован расчет повреждения (Ductile Damage). Метод объединяет изотропное поведение материала и доступен для малых деформаций. Включает в себя:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• модель фон Мизеса (Von-Mises Model) и расширенную модель Друкера-Прагера (Drucker – Prager) для описания поверхности текучести;</li> <li>• критерий начала повреждения определяется величиной деформаций, как функцией от компонент тензора напряжений;</li> <li>• развитие повреждений по линейному и экспоненциальному закону;</li> <li>• поддержку конечных элементов семейства 18х;</li> </ul> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• учет размера элементов при вычислении значения удлинения;</li> <li>• опциональную регуляризацию введением малого слагаемого с эффективной вязкостью;</li> <li>• поддержку пространственного, плоскодеформированного, плоскогонапряженного и осесимметричного напряженно-деформированного состояния сплошного тела.</li> </ul> <p>24. Для быстрой подготовки простых осесимметричных моделей из витых композитных волокон добавлен Winding Wizard. Мастер задает ориентацию с учетом кривизны поверхности. Данный инструмент рекомендуется только для простых моделей.</p> <p>25. Функция задания укладки Lay-up Mapping для твердотельных моделей поддерживает эффективные армирующие элементы. Это позволяет задавать направление укладки в твердотельных конечных элементах любой формы для моделирования сложных пространственных композитных структур без необходимости выравнивания сетки между областями с различным направлением укладки.</p> <p>26. База данных композиционных материалов пополнилась материалами, предназначенными для применения в LS-DYNA. Примеры включают в себя MAT_054 (*MAT_ENHANCED_COMPOSITE_DAMAGE), MAT_058 (*MAT_LAMINATED_COMPOSITE_FABRIC), MAT_059 (*MAT_COMPOSITE_FAILURE) для оболочек и MAT_059 для твердых тел.</p> <p>27. Модуль ANSYS Composite PrepPost планируется к удалению, начиная с версии 2025R1.</p> <p><b>Соединения:</b></p> <p>28. Добавлена поддержка контакта типа MPC Bonded между плоскими, осесимметричными и пространственными телами.</p> <p>29. Для расчетов износа от циклической нагрузки во времени добавлена опция обновления коэффициента износа в конце каждого цикла нагружения.</p> <p><b>Формулировки элементов:</b></p> <p>30. Элементы PLANE222/223, SOLID225/226/227 получили возможность обновления коэффициента видимости (View Factor) в процессе вычислений с помощью команды VFUP. Возможно точно моделировать лучистый теплообмен между движущимися или сильно деформирующимися телами.</p> <p>31. Новая команда NSMASS позволяет добавить в модель</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|----------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>дополнительную массу, автоматически распределяемую по конечным элементам, на которые она действует. Применима к элементам 18х.</p> <p>32. Для элементов, моделирующих уплотнения, INTER194 и INTER195 доступна опция использования их в качестве тонких твердотельных элементов (Thin Solid) с линейными упругими материалами.</p> <p>33. Нестационарная связанная задача (Coupled Field Transient) – сопряжение посредством электростатической силы (Electrostatic Force Coupling). Данное сопряжение также может использоваться для связи с расчетом акустических и пьезоэлектрических эффектов.</p> <p><b>Контактное взаимодействие:</b></p> <p>34. MPC (Multi-Point Constraint) является формулировкой по умолчанию для контактов между объемными телами типа Bonded. Причинами для такого изменения стало повышение точности результатов при моделировании условий контактного взаимодействия с зазором, улучшенная сходимость численного метода и отсутствие проникновения контактируемых поверхностей. Также, данная формулировка контакта обеспечивает более равномерное распределение контактного давления.</p> <p><b>Линейная и нелинейная динамика:</b></p> <p>35. Расчет вынужденных колебаний доступен для многоэтапного расчета с учетом циклической симметрии.</p> <p>36. Расширена поддержка задания гармонических нагрузок, основывающихся на гармоническом индексе. Таблицы будут обрабатываться для приложения к модели возмущения в форме бегущей волны. Направление движения волны зависит от знака гармонического индекса.</p> <p>37. К обработке результатов задачи с циклической симметрией добавлен новый инструмент – «Mode Maximum (MAXCYCMODE)», который позволяет вычислить максимум двух выбранных форм колебаний по всем фазам.</p> <p>38. Добавлена поддержка итеративного решателя в гармоническом расчете.</p> <p>39. Добавлена возможность решения в диапазоне частот, заданных в об/мин, вместо всего диапазона частот.</p> <p>40. Добавлена поддержка приложения нагрузок (Load Mapping) с помощью Data Processing Framework (DPF) из различных источников, содержащих данные по координатам.</p> <p>41. Появилась поддержка акустического анализа для</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>плоского случая. Поддерживается в нескольких расчетах, включая сопряженные.</p> <p><b>Суперэлементы (Substructures):</b></p> <p>42. Появилась возможность добавлять геометрию напрямую в определение элемента.</p> <p>43. Добавлена возможность назначать нагрузкам номер вектора нагрузки (Load Vector Assignment), что сокращает затраты на вычисления комбинаций нагрузок.</p> <p><b>Оптимизация:</b></p> <p>44. Оптимизация с непрерывными переменными поддерживает суперэлементы. Методика совместима с методами оптимизации mix-SIMP, Level-set, Shape Optimization и Topography.</p> <p>45. Для методов Level-set, Shape Optimization и Topography доступна связка оптимизации с гармоническим анализом.</p> <p>46. Метод Mixable Density получил новый критерий, основанный на напряжениях. Поддерживаются все критерии напряжений: интенсивность напряжений по Мизесу, максимальные главные напряжения, удельная энергия деформаций.</p> <p>47. Метод Shape Optimization получил новое ограничение Extrusion Constraint. Данное ограничение позволяет двигать узлы только в плоскости нормальной к выбранной оси.</p> <p><b>Многотельная динамика твердых тел (Ansys Motion):</b></p> <p>48. Появилась возможность выстраивать одностороннее соприкосновение между расчетом Ansys Motion и решением задачи акустики. Полученные скорости проходят преобразование Фурье и передаются в качестве нагрузки для акустической сетки.</p> <p>49. Задание функций поддерживает синтаксис Python. Добавлена поддержка новых контактных функций (Contact Functions), позволяющих получить различные результаты, возвращаемые объектом Contact Region.</p> <p><b>Механика разрушения (Ansys Fracture):</b></p> <p>50. Добавлена поддержка новых аналитических форм трещин для тетраэдральной сетки (Угловая трещина – Corner Crack; Трещина по ребру – Edge Crack; Сквозная трещина – Through Crack; Цилиндрическая трещина – Cylindrical Crack).</p> <p>51. Кольцевая и эллиптическая трещины могут пересекать</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|----------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>свободные поверхности тела.</p> <p>52. Реализованный в ANSYS алгоритм роста трещин S.M.A.R.T. получил ряд новых критериев для оценки величины приращения трещины. Также, S.M.A.R.T. позволяет использовать сложную непропорциональную циклическую нагрузку и дает пользователю больше контроля над определением числа циклов. Данное нововведение предоставляет идеальную схему для применения подсчета циклов по методу «дождя».</p> <p>53. Добавлена поддержка KIII в расчет коэффициента интенсивности эквивалентных напряжений и предсказание угла отклонения трещины с помощью трех методов: Richard, Pook и EMPS.</p> <p><b>Высокопроизводительные вычисления:</b></p> <p>54. Для удаленных вычислений поддерживается платформа высокопроизводительных вычислений. Поддерживается просмотр изменения предыдущих вычислений.</p> <p>55. Итерационный решатель PCG получил крупное обновление:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Поддерживаются операции с несимметричными матрицами;</li> <li>• Поддерживаются стационарные и нестационарные расчеты, использующие конечно-разностный метод решения уравнений во времени;</li> <li>• Поддерживает любой однодисциплинарный расчет;</li> <li>• Поддерживает в полной мере распараллеливание с распределением памяти (DMP).</li> </ul> <p><b>Расширения:</b></p> <p>56. Расширение расчета усталостной прочности DesignLife получило следующие обновления:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Расчет коротковолокнистых композитов (Short Fiber Composite Analysis).</li> <li>• Расчет коэффициента запаса (Safety Factor Analysis).</li> <li>• Расчет «Gray Iron Analysis».</li> <li>• Расчет в области сварных соединений (WeldHotSpot Analysis).</li> <li>• Добавлены настройки использования градиентов напряжений (Stress Gradient):</li> <li>• Встроенные графики спектральной плотности изменения нагрузки;</li> <li>• Встроенные графики пластической, упругой и</li> </ul> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>суммарной выносливости материала:</p> <p>57. Вынужденные колебания (Forced Response) получил встроенный график усталости (Fatigue Diagram).</p> <p>58. Нелинейная динамика (LS-DYNA):</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Расчетные модели LS-DYNA в WorkBench позволяют задавать тепловые граничные условия, если тип расчета установлен на Coupled Structural Thermal Analysis:</li><li>• Расширение Keyword Manager с описанием команд LS-DYNA и др.</li></ul> <p><b>Программный продукт: Ansys Mechanical</b> [80; 81]</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> [81; 82] – Июль 2024 г.</p> <p><b>Расширенные возможности моделирования:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Давление проникающей жидкой среды на тела, находящиеся в контактном взаимодействии (fluid penetration pressure load) для моделирования взаимодействия жидкой среды и конструкции.</li><li>2. Поддержка гармонического отклика и нелинейного анализа напряженно-деформированного состояния при прогнозировании требуемых вычислительных ресурсов на основе ИИ.</li><li>3. Моделирование отверждения Ansys Composites (ACCS) с предварительно напряженным состоянием, вязкоупругостью и внутренним тепловыделением для расчета поля температур.</li><li>4. Более эффективный гармонический анализ для расчета с сопряженными полями (coupled field harmonic analyses) с новым решением по методу Крылова (mode-superposition method, MSUP) и разделенным диапазоном частот.</li></ol> <p><b>Улучшения возможностей NVH (Noise, Vibration and Harshness – Шум, вибрация и жесткость):</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>5. Калькулятор частотной характеристики (Frequency Response Function, FRF): добавлены возможности расчета напряжения и деформации и бесшовная интеграция с операциями фреймворка обработки данных.</li><li>6. Калькулятор анализа путей передачи отклика (Transfer path analysis, TPA): обработка более сложных данных, улучшенная визуализация и др.</li></ol> <p><b>Программный продукт: Ansys LS-DYNA</b> [83] – программный комплекс для анализа высоконелинейных динамических процессов</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|----------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>с использованием различных схем интегрирования по времени [84].</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Упрощение процесса изменения / извлечения определенных областей расчетной области для повторного использования в последующем моделировании.</li> <li>2. Оптимизированное моделирование шума, вибрации и жесткости (NVH) с использованием акустического анализа методом граничных элементов (BEM) и др.</li> </ol> <p><b>Программный продукт: Ansys Discovery</b> [85] – инструмент пространственного проектирования и моделирования в режиме реального времени для оценки инженерных решений с использованием технологии GPU [86].</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функция «Fast shrinkwrap» представляет более эффективный процесс обработки моделей для создания замкнутых объемов из разъединенных поверхностных моделей.</li> <li>2. Суперпозиция решения с общей топологией делает возможной визуализацию соединений для возможности отслеживания изменений в связности при внесении изменений в процессе моделирования и др.</li> </ol> <p><b>Пакет программных продуктов: Ansys Semiconductors</b> – специализированные решения для проектирования полупроводниковых интегральных схем [87].</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приложение SigmaAV технологии SigmaDVD – модифицирует инструмент «voltage drop signoff», предлагая комплексное локальное и глобальное покрытие шума.</li> <li>2. Модели пониженного порядка (ROM) позволяют проводить анализ микросхем и корпусов со значительным сокращением требований к вычислительным ресурсам.</li> <li>3. Новая поддержка источников тепловыделения для интегрированной кремниевой фотоники и др. при решении мультидисциплинарных задач.</li> </ol> <p><b>Пакет программных продуктов: Ansys Digital Twin</b> [88] – специализированные решения для системного моделирования создания, валидации и развертывания Digital Twin.</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Представлен Ansys TwinAI, новое дополнение к портфелю продуктов Ansys Digital Twin, бесшовно интегрирует точность физических моделей с данными реального</li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|----------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>мира, основанными на передовых методах ИИ/Машинного обучения. Ansys TwinAI поддерживает модели пониженного порядка (ROM) и интегрирует язык проектирования Ansys с новыми улучшениями UI/UX.</p> <p>2. Улучшения в гибридной аналитике, обработке моделей управляющего программного обеспечения (FMU) и инициализации ROM и др.</p> <p><b>Пакет программных продуктов: Ansys Autonomous Vehicle Simulation [89]</b> – специализированные решения для моделирования автономного транспортного средства.</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <p>1. Улучшение работы датчика обнаружения объектов на больших расстояниях в области усиленной защиты IP-сигналов радиолокационной цифровой связи для безопасного совместного использования данных по сетям.</p> <p>2. Усовершенствования в области проектирования операций (ODD) для обеспечения более сложного моделирования на основе сложных сценариев и др.</p> <p><b>Пакет программных продуктов: Ansys Electronics [90]</b> – специализированные решения для моделирования электромагнитного, теплового и электромеханического состояния, а также анализа прочности.</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <p>1. Новое объединение сеток для электротермического анализа в модуле Iserak.</p> <p>2. Поддержка алгоритмов Тейлора (Taylor), Дольфа-Чебышева (Dolph-Tchebychev) и биномиального сужения апертур (Binomial aperture taper).</p> <p>3. Обновленная математическая библиотека AMD для прямого решателя с разреженными матрицами и др.</p> <p><b>Пакет программных продуктов: Ansys Fluent [91]</b> – специализированные решения для моделирования вычислительной гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD).</p> <p><b>Версия: 2024R2</b> – Июль 2024 г.</p> <p>1. Улучшения в области аэрокосмической техники:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• модель виртуальной лопатки VBM совместима с решателем второго порядка точности (Density Based Solver, DBNS) и лучшими практиками Fluent Aero;</li><li>• доступны параметрическая обработка результатов;</li><li>• автоматизация выбора модели турбулентности на основе числа Рейнольдса и автоматизированная</li></ul> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>адаптация сетки по алгоритму PUMA.</p> <p>2. Динамические переменные предоставляют новый способ улучшения сходимости при моделировании установившихся течений и др.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 2 | Altair Engineering Inc     | Апрель 2024 г. | <p><b>Программный продукт: Altair HyperMesh</b> – высокопроизводительный препроцессор конечно-элементного анализа, который обеспечивает интерактивную и визуальную среду для анализа эффективности процесса проектирования изделия [92; 93].</p> <p><b>Версия: 2024.1</b> [94]</p> <p><b>Композиты:</b></p> <p>1. Зоны в «Zone View» в «Composite Browser» синхронизируются вручную по запросу. Зоны автоматически восстанавливаются при выполнении операций анализа «HyperLaminate».</p> <p>2. Добавлена возможность создания и анализа плоских композитных пластин с параметрическими размерами, заданным слоистым материалом, краевой нагрузкой и граничными условиями из одного диалогового окна.</p> <p><b>Генеративный дизайн:</b></p> <p>3. Добавлен новый рабочий процесс в Design Explorer, который можно использовать для создания и рассмотрения множества потенциальных концепций дизайна для заданной задачи. Рабочий процесс предоставляет набор инструментов набор постобработки, которые можно использовать для просмотра, фильтрации, исследования и сравнения потенциальных концепций и др.</p> <p><b>Геометрия:</b></p> <p>4. Инструменты для создания эскизов поддерживают настройку с использованием TCL и Python и др.</p> <p><b>Дискретизация области:</b></p> <p>5. Добавлена поддержка геометрии для обнаружения 2D- и 3D-отверстий.</p> <p>6. Улучшена автоматическая настройка поверхностей.</p> <p>7. Улучшена согласованность нормалей между поверхностью и элементами, особенно в таких функциях, как подавление, исправление, преобразование геометрии КЭ, обновление геометрии КЭ и др.</p> <p><b>Верификация модели:</b></p> <p>8. В разделе «Проверка пересечений» формируются</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>сводные отчеты по сборке и др.</p> <p><b>PhysicsAI:</b></p> <p>9. Появились улучшенные прогнозы контуров. Вводится новая схема сглаживания для получения более чистых выходных прогнозов. Улучшенный алгоритм улучшает прогнозы как за счет снижения шума, так и за счет повышения точности.</p> <p>10. Добавились расширенные возможности оценки качества модели. Новые метрики включают коэффициент детерминации (R-квадрат), метрику Спрага-Гирса (Sprague-Geers), а также абсолютные и процентные ошибки пиковых значений.</p> <p><b>Преобразование решателя:</b></p> <p>11. Конвертация Abaqus в OptiStruct</p> <p><b>Общие улучшения:</b></p> <p>12. Новый рабочий процесс проверки проникновений и пересечений. В рабочий процесс добавлен выбор деталей.</p> <p>13. Устранена проблема с некорректной работой сочетаний клавиш в окне моделирования и др.</p> <p>Изменения также затронули интерфейсы решателя Abaqus, Ansys, Exodus, LS-DYNA, Nastran, OptiStruct, PAM-CRASH, Radioss, CAD.</p> <p><b>Программный продукт: Altair HyperMesh CFD</b> – высокопроизводительный препроцессор для решения задач вычислительной гидродинамики (CFD) [95].</p> <p><b>Версия: 2024.1</b> [96]</p> <p><b>Геометрическое моделирование:</b></p> <p>1. Добавлена возможность создания новых сборок и переноса деталей в подсборку.</p> <p>2. Добавлен новый браузер для создания и настройки кинематического механизма на основе сетки. Возможность определения типа соединения (шаровое, цилиндрическое и др.) и задания ограничений.</p> <p>3. Добавлен новый инструмент для создания спрайтов (sprite action), позволяющий измерять расстояния между узлами, линиями, поверхностями и твердыми телами.</p> <p>4. Добавлена возможность сохранения исходной детали в инструменте «зеркалирования».</p> <p><b>Настройка конфигурации (внешняя аэродинамика):</b></p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>5. Новый выходной формат.xml на основе деталей.</p> <p>6. Улучшенные конфигурации элементов аэродинамической трубы.</p> <p>7. Рендеринг на основе граффити. В среду настройки Case был интегрирован новый графический механизм Graffiti.</p> <p>8. В контекстах определения деталей появились новые возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Теплообменник можно настроить с помощью одной детали. Вектор направления можно редактировать пользователем. Если указаны входные и выходные грани, вектор направления вычисляется автоматически.</li> <li>• Параметры разбиения на треугольники были включены для физических деталей, таких как кузова, колеса, ремни и т. д.</li> <li>• Параметры шероховатости могут быть установлены индивидуально для деталей, связанных с группой.</li> <li>• Модель вентилятора поддерживает циклы увеличения мощности и начальные параметры повышения давления.</li> </ul> <p><b>Постобработка:</b></p> <p>9. Добавлена возможность дублирования производных представлений с помощью Post-браузера.</p> <p>10. Общий уровень звукового давления и SPL, взвешенный по площади, отображаются при измерении зондов GSP/поверхности</p> <p>11. Добавлены новые инженерные величины: сопротивление/подъемная сила/боковая сила, расчет усилий в сечении</p> <p><b>Общие улучшения:</b></p> <p>12. Лента Mesh и Discrete объединена для решения Aerodynamics и Aeroacoustics для повышения удобства использования.</p> <p>13. Добавлена поддержка установки в режиме сервера.</p> <p><b>Программный продукт: Altair HyperView</b> – полноценная среда для постпроцессинга и визуализации результатов КЭ анализа, моделирования многомассовой динамики механизмов, а также для обработки инженерных данных [97; 98].</p> <p><b>Версия: 2024.1 [99]</b></p> <p>1. Добавлен коэффициент масштабирования деформации на панели инструментов «Вид».</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>2. Введены новые выражения TempIex для запроса и отображения результатов верхнего/нижнего контура в примечании и др.</p> <p><b>Программный продукт: Altair OptiStruct</b> – решатель для проведения линейного и нелинейного моделирования при статических и динамических нагрузках [100; 101].</p> <p><b>Версия: 2024.1</b> [102]</p> <p><b>Жесткость, прочность и стабильность (Stiffness, Strength and Stability):</b></p> <p>1. Контактные поверхности, которые не являются «замороженными» (FREEZE)/ «связываемыми» (TIE), могут быть отключены при линейном анализе</p> <p>2. Для нелинейных материалов (модели Johnson-Cook, Crushable Foam, Cowper-Symonds и Johnson-Holmquist), если они присутствуют в неявном анализе, используется только соответствующая линейная упругая часть.</p> <p>3. Поддерживаются температурно-зависимые материалы (когезионная связь).</p> <p>4. Контактные (скользящие) кольца (SLIPRING) для соединений (JOINTG) доступны для неявного нелинейного анализа.</p> <p>5. Кинематическое и смешанное упрочнение поддерживаются для элементов плоского напряжения (CTPSTS и CQPSTS) для нелинейного анализа как малых, так и больших смещений и др.</p> <p><b>Явный динамический анализ (Explicit Dynamic Analysis):</b></p> <p>6. Поддержка начальной температуры доступна для явного анализа.</p> <p>7. Критерий Джонсона-Кука для упругопластического деформирования материала с учетом эффекта трехмерного напряженного состояния поддерживается для явного анализа.</p> <p>8. Улучшение критерия разрушения «максимальная пластическая деформация» (Maximum Plastic Strain, PLAS) для явного анализа.</p> <p>9. Гиперупругие материалы поддерживаются для элементов оболочки в явном анализе и др.</p> <p><b>Шум и вибрация (Noise and Vibration):</b></p> <p>10. Поддержка графического процессора для прямого анализа частотной характеристики.</p> <p>11. Предварительная загрузка поддерживается для анализа спектра реакции и др.</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза                  | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                                 | <p><b>Усталость (Fatigue):</b></p> <p>12. Анализ усталости можно выполнять на основе подслучая стационарного состояния.</p> <p><b>Мультифизика (MultiPhysics):</b></p> <p>13. Электрический контакт определяется с помощью проводимости на единицу площади.</p> <p>14. Доступен полностью связанный электротермомеханический анализ</p> <p><b>Оптимизация (Optimization):</b></p> <p>15. Поддерживается вывод чувствительности для оптимизации произвольной формы (Free-Shape).</p> <p>16. Оптимизация эквивалентных статических нагрузок (Equivalent Static Loads, ESL) для анализа переходных процессов и др.</p> <p><b>Общие улучшения:</b></p> <p>17. Глобально-локальный анализ поддерживается для прямого и модального анализа переходных процессов и др.</p> <p><b>Программный продукт: Altair Radioss</b> – программное решение для проведения расчетов на прочность, предназначенный для решения нелинейных задач при динамическом нагружении [103; 104].</p> <p><b>Версия: 2024.1</b> [105]</p> <p>1. Возможность чтения нового формата LS-DYNA.</p> <p>2. Несколько модификаций и улучшений для свойств композита относительно углов ортотропии упругих свойств в КЭ оболочки</p> <p>3. Улучшения в функциях динамического анализа с учетом жидкостей, включая материалы, повреждения, контакты, SPH и выходные данные и др.</p> |
| 3 | Siemens AG                 | Февраль –<br>Декабрь<br>2024 г. | <p><b>Программный продукт: Simcenter STAR-CCM+</b> – пакет прикладных программ для решения задач гидрогазодинамики, теплообмена и прочности, включающий средства для анализа и редактирования геометрии, средства построения сеток, большое количество физико-механических моделей и соответствующих решателей, средства обработки и анализа результатов [106; 107].</p> <p><b>Версия: 2402</b> [108] – Февраль 2024 г.</p> <p>1. Улучшенное моделирование турбомашин благодаря структурированной сетке с автоматической поддержкой скруглений лопаток.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>2. Разработан новый метод стабилизации в динамических задача FSI (Fluid-Structure Interaction), который дает контроль над моделированием с помощью только одного настраиваемого коэффициента. Благодаря схеме обратного дифференцирования по времени (Backward Differentiation Time Integration) обеспечивается полная кинематическая согласованность между твердым телом и жидкостью даже для схемы интегрирования по времени 2-го порядка точности. Разработанные Dynamic FSI и схема интегрирования по времени обеспечивают согласованность движений жидкости и конструкции, улучшая сходимость и устойчивость в задачах взаимодействия жидкости с высокой плотностью и конструкциями с высокой податливостью при интенсивных динамических нагрузках. Обновленная модель Монте-Карло для переноса фотонов учитывает объемное взаимодействие излучения с участвующей средой, что позволяет точно моделировать процессы поглощения и рассеяния в различных средах. Это гибридное решение совместно с Volume of Fluids (VOF) обеспечивает высокую точность и может ускорить моделирование до 37 раз по сравнению с методом Discrete Ordinate Method (DOM).</p> <p>3. Представлена интеграция «Design Manager» в «Teamcenter Simulation».</p> <p>4. В аэродинамике транспортных средств эффективное распределение пристеночных слоев на внешних и внутренних поверхностях требует тщательного разделения зон с разными значениями <math>y^+</math> (высокие значения, низкие значения). Добавленный интерактивный инструмент классификации ускоряет создание поверхностей для сложной аэродинамической геометрии, упрощая подготовку сетки и снижая трудоемкость процесса создания качественных сеток. Инструмент также позволяет записывать макрос для еще более быстрой классификации различных вариантов дизайна.</p> <p>5. Расширенные возможности использования собственных GPU-решателей позволяют эффективнее выполнять задачи сопряженного теплообмена (Conjugate Heat Transfer, CHT) и усовершенствованные схемы интегрирования по времени (с переменными шагами по времени). Новые интерфейсы «Fluid-Solid» и/или «Solid-Solid Implicit» и «Explicit Mapped Contact Interfaces» для взаимодействия «жидкость - твердое тело» и множественных контактов «твердое тело - твердое тело» доступны для GPU с помощью явных и неявных схем интегрирования, что обеспечивает гибкость в управлении</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>процессами теплообмена и эквивалентность CPU- и GPU-решений.</p> <p>6. Ускорение моделирования реагирующих потоков благодаря возможности использования решателя «Segregated Species» в сочетании с «Coupled Flow and Energy», что сокращает время вычислений до 10 раз.</p> <p>7. Интеграция первой версии решателя гидродинамики сглаженных частиц (Smoothed-Particle Hydrodynamics, SPH) в платформу STAR-CCM+ позволяет моделировать сложные переходные течения без необходимости в объемной сетке. Это упрощает процесс моделирования, позволяя использовать один инструмент для SPH и сеточных подходов. Интеграция SPH в платформу также обеспечивает автоматизацию рабочего процесса, расширенную предварительную обработку и др.</p> <p><b>Версия: 2406 [109] – Июль 2024 г.</b></p> <p>1. Гибридный многофазный подход обеспечивает моделирование жидкостей в различных фазах, таких как струи, капли, туман и др. В новой версии платформы представлена поддержка многофазного метода с интерфейсами MMP-LSI. Основные улучшения включают переход мелких лагранжевых капель в MMP для эффективной обработки капель размером в десятки микрометров и др. Также реализовано моделирование сценариев, когда капли LMP попадают в области с высокой объемной долей соответствующей фазы.</p> <p>2. Появилась модель «Sub-grid Particle Surface Film» для оценки деградации аккумуляторных элементов, охватывающую механизмы старения, такие как рост пленки на границе раздела твердого электролита (Solid Electrolyte Interphase, SEI) и литиевого покрытия. Эта модель позволяет выявлять наиболее уязвимые зоны аккумуляторов. Она способствует более точному моделированию процессов старения и улучшает стратегии смягчения последствий деградации, предоставляя пространственные данные о механизмах старения.</p> <p>3. Новая модель агломерации частиц в гранулированном потоке заменяет предыдущую модель параллельных связей и позволяет более точно формировать связи между частицами на основе локальных и временных условий. Модель позволяет связывать частицы и границы и учитывает жесткость независимо от механических свойств.</p> <p>4. Улучшение моделирование контактов для решения задач взаимодействия жидкости и конструкций (Fluid</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|----------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>Structure Interaction). Добавлен метод решения задач ограниченной оптимизации – расширенного метода множителей Лагранжа (Augmented Lagrangian Multiplier, ALM), основанного на алгоритме Узавы (Uzawa). Метод обеспечивает точный контакт независимо от параметра штрафа, и предлагает опциональное автоматическое обновление параметра штрафа.</p> <p>5. Ускорение исследований конструкций благодаря интеллектуальной инициализации моделирования. Это достигается за счет использования данных из ранее смоделированных проектов.</p> <p>6. Появилась возможность вычислять чувствительность функции стоимости по отношению к глобальным параметрам, используемым в 3D-CAD. Это расширение позволяет быстро оценивать влияние изменений геометрических параметров на ключевые показатели производительности, такие как падение давления.</p> <p>7. Упрощено выполнение оптимизация на основе сопряженных градиентов. Введена подгруппировка по поверхности для вычисления и анализа сопряженной чувствительности. Это позволяет оптимизировать компоненты конструкции более эффективно, сосредоточив вычисления только на нужных участках, что исключает ненужные оценки за пределами интересующих областей.</p> <p>8. Улучшена эффективность работы с экземплярами тел в 3D-CAD. Используя информацию о CAD-экземплярах, можно создавать экземпляры исходного тела. Изменения, внесенные в один экземпляр, автоматически применяются ко всем экземплярам.</p> <p>9. Улучшено адаптивное уточнение сетки (Adaptive Mesh Refinement, AMR). В новой версии поддерживается анизотропное уточнение при создании пограничного (призматического) слоя.</p> <p>10. Новая опция обрезки с использованием метода лопаточных элементов обеспечивает решение для анализа неустойчивых полей потока при проектировании винтокрылых летательных аппаратов. Метод сокращает общее время моделирования и улучшает эффективность по сравнению с традиционным подходом моделирования движения жесткого тела (Rigid-Band Model, RBM).</p> <p>11. Новый межсекторальный метод на основе метрик улучшает моделирование движения твердого тела (RBM), особенно в сложных задачах, таких как аэродинамика транспортных средств и охлаждение электродвигателей. Этот подход сокращает вычислительные затраты и</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>повышает производительность при использовании скользящих сеток.</p> <p>12. Улучшено моделирование излучений для управления тепловым режимом транспортного средства с использованием графических процессоров (GPU). Доступна модель излучения Surface to Surface (S2S) на основе GPU и новый рабочий процесс для ввода свойств поверхности.</p> <p>13. Реализованы новые функции для автоматизации сложных рабочих процессов CFD. Нововведения включают поддержку нескольких физических установок и сложных расчетных цепочек в рамках одного запуска моделирования. Эти функции упрощают управление последовательностью операций, внедрение вложенных операций моделирования позволяет создавать единые шаблоны для различных сценариев.</p> <p>14. Улучшен метод гидродинамики сглаженных частиц (Smoothed-Particle Hydrodynamics, SPH). SPH поддерживает граничные условия на входе для частиц при моделировании процессов впрыскивания.</p> <p><b>Версия: 2410 [110] – Октябрь 2024 г.</b></p> <p>1. Улучшена точность прогнозирования деградации элементов аккумуляторной батареи. Введение двух моделей старения частиц подсетки решает проблему деградации аккумулятора из-за механических напряжений путем моделирования локальных эффектов деградации, включая растрескивание в циклических процессах. Добавлены опции «Потеря активного материала» (Loss of Active Material) и «Рост поверхностной трещины» (Surface Crack Growth), чтобы понять конкретное влияние механического напряжения на производительность.</p> <p>2. Введена модель поверхностного натяжения для гидродинамики сглаженных частиц (Smoothed-Particle Hydrodynamics, SPH), что позволяет точно и быстро моделировать гидрофильные и гидрофобные взаимодействия жидкости и твердого тела.</p> <p>3. Добавлен новый метод обнаружения столкновений, который использует кластеры ячеек для идентификации пар столкновений и устранения артефактов, связанных с сеткой. Благодаря динамической повторной кластеризации ячеек это решение уменьшает нереалистичные схемы распыления, вызванные зависимостями сетки, такими как артефакты «клеверного листа» (clover-leaf) и др.</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p><b>Программный продукт: Simcenter</b> – портфель программных продуктов для инженерного анализа, включающий в том числе инструменты для выполнения 1D-функционального моделирования и средства проведения натурных испытаний, обеспечения управления данными инженерного анализа, прогнозирования технических характеристик и поведения изделия на единой PDM-платформе [111].</p> <p><b>Simcenter 3D</b> – единая среда инженерного анализа, объединяющая в себе широкий набор инструментов для постановки и анализа задач моделирования механического поведения конструкций, гидрогазодинамики и теплообмена в машиностроительных отраслях [111].</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. В Simcenter 3D Space Systems Thermal обновления интерфейса совместного моделирования позволяют выбирать все источники конвективных, радиационных, тепловых нагрузок или орбитальных тепловых потоков для обмена с внешними решателями.</li><li>2. Simcenter 3D Motion представляет свой новый специализированный инструмент, оптимизацию конструкции зубчатых колес, который также использует возможности исследования пространства проектирования. В этом случае инструмент предоставляет предварительно настроенный проект оптимизации конструкции зубчатых колес, включая отраслевые возможности постобработки, которые позволяют оптимизировать конструкции зубчатых колес по нескольким атрибутам.</li><li>3. Поддержка картирования электромагнитных сил для анализа NVH (Noise, Vibration, Harshness) ступенчатых роторов в Simcenter 3D Acoustics.</li><li>4. Новая и обновленная функциональность для моделирования сложных (составных) планетарных передач (compound planetary gears), ассиметричного контакта шестерни / зубчатых передач (asymmetric gear contact) и игольчатых упорных подшипников в Simcenter 3D Motion.</li><li>5. Введен новый подход смешанной системы отсчета для эффективного моделирования анизотропного ротора внутри статора в Simcenter 3D Rotor Dynamics и др.</li></ol> <p><b>Решатель Simcenter FLOEFD</b> – пакет для решения задач гидрогазодинамики и сопряженного теплообмена; единственное, полностью интегрированное в САПР-системы (Siemens NX, SolidWorks, Solid Edge, Creo Parametric, Catia V5) программное обеспечение, позволяющее анализировать гидрогазодинамику и теплообмен в различных устройствах [112].</p> <p><b>Версия: 2406 [113] – Июль 2024 г.</b></p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Добавлены новые возможности моделирования тепловых переходов в конструкции печатной платы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Добавление тепловых переходов, определяя их под компонентом.</li> <li>• Тепловые переходы создаются как кубоидное представление массива с ортотропными свойствами материала при передаче в Simcenter FLOEFD.</li> </ul> </li> <li>2. Добавлена возможность преобразования локальных систем координат для определения местоположений параметров точек (координаты локальной системы в глобальную) и др.</li> </ol> <p><b>Решатель Simcenter Amesim</b> – интегрированная программная платформа компьютерного моделирования работы междисциплинарных мехатронных систем [114].</p> <p><b>Версия: 2410</b> [115] – Ноябрь 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Улучшена работа с крупными моделями за счет оптимизации решателя</li> <li>2. Добавлена новая функция импорта PCF (Piping Component File), которая позволяет напрямую импортировать файлы PCF в Simcenter Amesim, автоматически генерируя модель моделирования системы.</li> <li>3. Новая функция планирования миссии вождения электромобилей помогает вычислять планы миссии вождения на основе профилей водителей и остановок на зарядных станциях, учитывая мощность зарядки и управление температурой аккумулятора.</li> <li>4. Технология аккумуляторов значительно усовершенствована с улучшенной электрохимической моделью аккумулятора P2D с моделированием старения. Эта функция решает критическую проблему старения аккумулятора путем моделирования литиевого покрытия и роста слоя твердого электролита (Solid Electrolyte Interface, SEI), что позволяет точно оценить потерю емкости с течением времени.</li> <li>5. Добавлен новый инструмент в области тепловой сети электромашин, который позволяет детально настраивать параметры охлаждения электромашин непосредственно из приложения. Настройка системы охлаждения возможна с использованием воздушного, распылительного и водяного охлаждения, включая модель ребер для воздушного охлаждения.</li> <li>6. Добавлены новые расширенные уравнения состояния для реальных газов (доступ к более широкому набору</li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>уравнений: модифицированное уравнение состояния Бенедикта – Вебба – Рубина (modification of the Benedict–Webb–Rubin equation, MBWR) и уравнение состояния энергии Гельмгольца (Helmholtz energy equation).</p> <p>7. Новые тепловые векторные компоненты (thermal vectorial components) предназначены для ускорения моделирования тепловых систем за счет более эффективного отслеживания тепловых градиентов. Позволяет легко оценивать тепловые градиенты и модулировать точность модели для оптимизации времени отклика.</p> <p>8. Новая модель термически стратифицированных газовых резервуаров (thermally stratified gas tanks) позволяет оценивать температурную стратификацию вдоль вертикальной оси газовых резервуаров.</p> <p>9. Новая модель эжектора (ejector model) представляет функциональный компонент эжектора с поправочными коэффициентами, что позволяет более точно моделировать работу эжектора с использованием стандартных моделей жидкостей, воздуха, и применять их к различным газовым смесям.</p> <p>10. Новая демонстрация роторно-пластинчатого компрессора (rotary vane compressor) обеспечивает комплексный рабочий процесс для создания модели пластинчатого компрессора с использованием стандартных векторных компонентов PCD (Pneumatic Component Design). Эта демонстрация показывает оптимизированный рабочий процесс для моделирования сложных конструкций компрессоров, позволяя пользователям создавать системы из файлов CAD и исследовать такие характеристики, как пульсация внутреннего давления.</p> <p>11. Новая функция компрессоров и турбин на основе SAE (SAE-based compressors and turbines) позволяет моделировать компрессоры и турбины с фиксированной и изменяемой геометрией даже при ограниченных данных и др.</p> <p><b>Решатель Simcenter Flotherm</b> – программный пакет для решения задач гидродинамики, позволяющий прогнозировать поведение воздушного потока и теплопередачи внутри и вокруг электронного оборудования [116].</p> <p><b>Версия: 2410</b> [117] – Октябрь 2024 г.</p> <p>1. Улучшение теплового анализа печатных плат с помощью простой идентификации компонентов «pass / fail / marginal».</p> <p>2. Технология Embeddable BCI-ROM позволяет создавать</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза                           | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|----------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                                          | <p>точные тепловые модели пониженного порядка корпуса интегральной микросхемы, которые можно использовать в исследованиях по моделированию охлаждения электроники 3D CFD, включая переходные исследования. Точность Embeddable BCI-ROM [118] близка к подробной тепловой модели и, что особенно важно, все внутренние детали конструкции корпуса отсутствуют, поэтому их невозможно подвергнуть обратному проектированию. Новое в Simcenter Flotherm 2410 – отчет о тепловом потоке с поверхностей встраиваемой модели BCI-ROM и др.</p> <p><b>Решатель Simcenter Flomaster</b> – решение, основанное на ведущем инструменте моделирования 1D вычислительной гидродинамики (CFD) для проектирования жидкостей, позволяет моделировать и анализировать потоки жидкости и тепла в трубопроводных системах [119].</p> <p><b>Версия: 2410</b> [115] – Ноябрь 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Новая дозирующая труба позволяет пользователям более эффективно моделировать дозирование продуктов в системах трубопроводов.</li> <li>2. Новый менеджер сценариев позволяет сохранять сценарии для будущего повторного использования и др.</li> </ol> <p><b>Решатель Simcenter Nastran</b> – решение для инженерного анализа методом конечных элементов (FEM).</p> <p><b>Версия: 2412</b> [120] – Декабрь 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обновление инструментов аэроупругости (aeroelasticity).</li> <li>2. Выполнение динамического анализа моделей, содержащих несжимаемую жидкость.</li> <li>3. Возможность многократного наложения малых деформаций на большие деформации в модели большой деформации; элементы оболочки (CTRIA3, CTRIAR, CQUAD4, CQUADR, CTRIA6 и CQUAD8), а также пружинные элементы, элементы массы и жесткие элементы и др.</li> </ol> |
| 4 | Dassault Systemes          | Ноябрь 2023 г.<br>(релиз версии 2024 г.) | <p><b>Программный продукт: Abaqus / CAE</b> – модуль пре/постпроцессора программного комплекса Abaqus, предназначенный для моделирования и визуализации результатов расчета из модулей анализа Abaqus/Standard и Abaqus/Explicit [121].</p> <p><b>Версия: 2024</b> [122]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abaqus Python и Abaqus/CAE основан на Python 3.10 и это обновление приводит в соответствие с версией</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>Python, которая поддерживается с открытым исходным кодом.</p> <p>2. Поддержка визуализации частиц элементов (ребер) с каркасными, скрытыми, заполненными и затененными стилями рендеринга. Это дает возможность назначать различные стили рендеринга, упрощает различение элементов частиц континуума.</p> <p>3. Добавлена возможность определения общего контакта на этапах анализа для выявления более сложного контактного поведения в моделировании.</p> <p>4. Добавлено масштабирование контактной массы, чтобы сократить количество приращений, необходимых для моделирования, которое использует нестандартную штрафную жесткость.</p> <p>5. Добавлено определение профиля сечений каналов в модуле упругих свойств для упрощения спецификации общих поперечных сечений балок.</p> <p>6. Добавлено определение перемещений в сечении балки в процессе интегрирования по времени.</p> <p>7. Добавлена возможность определения типа вращательной связи в дискретных крепежах и ограничениях связи с целью лучшего контроля над поведением распределенных связей, включающих узлы с вращательными степенями свободы.</p> <p>8. Использование линеаризованного контакта для решения задач контактного взаимодействия и определения контактных напряжений</p> <p>9. Добавлена возможность задания нагрузки давления жидкости для измерения давления жидкости на поверхность.</p> <p>10. В анализе чувствительности сопряженных конструкций доступны композитные элементы оболочки, что позволяет анализировать влияние толщины и ориентации слоев композита на поведение конструкции.</p> <p>11. Улучшена возможность моделирования деградации емкости перезаряжаемых литий-ионных аккумуляторов во время повторяющихся циклов зарядки-разрядки.</p> <p>12. Добавлена возможность моделирования твердотельных аккумуляторов, которые используют твердые электролиты и имеют более высокую плотность энергии и лучшие эксплуатационные характеристики безопасности по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами с жидким электролитом.</p> <p>13. Добавлена возможность определения анизотропной вязкоупругости для более точного описания поведения композиционных материалов и др.</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза             | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Hexagon AB                 | Май –<br>Ноябрь<br>2024 г. | <p><b>Программный продукт: MSC Nastran</b> – многодисциплинарный решатель для структурного анализа, который выполняет статический, динамический и тепловой анализ в линейных и нелинейных задачах, а также автоматизированную оптимизацию конструкций и анализ усталости [123; 124]</p> <p><b>Версия: 2024.1</b> [125] – Май 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Создан инновационный метод статического сокращения внешних суперэлементов, называемый методом автоматического многоуровневого сокращения (AMSR – Automatic Multi-level Reduction). Также вводятся условия симметрии в процессе топографической оптимизации.</li> <li>Добавлена возможность проверки трения при сближении в контакте узла с сегментом, метод длины дуги в задачах контакта в новом нелинейном решателе «NLPERF» (первый выпуск).</li> <li>Версия представляет новаторскую технологию сжатия матриц с уменьшенным импедансом в моделировании модального подхода пороупругих материалов (poroelastic materials, PEM).</li> <li>Оптимизированы внутренние модули, предназначенные для расчета минимальных и максимальных выходных величин, а также значений эпсилон.</li> <li>Оптимизирован процесс определения основных путей передачи от источника к откликам, таким как возбуждение шин до уровня звукового давления в ушах водителя, обычно проводимый посредством двух отдельных запусков анализа частотной характеристики.</li> <li>Нелинейные связные элементы, обычно используемые в анализах типа столкновений, доступны в последовательностях линейных решений, что упрощает междисциплинарную координацию между моделированием столкновений и NVH, позволяя вводить сложный нелинейный анализ в линейный без изменения методологии моделирования.</li> <li>Расширены возможности поддержки внешних суперэлементов и введен новый метод вычисления остаточного вектора для повышения точности модального динамического анализа.</li> <li>Введена новая запись MDSET для решения проблемы восстановления данных в модулях с перекрывающимися идентификаторами.</li> <li>Возможность добавления полученных результатов в существующие файлы формата «HDF5» с целью обеспечения трассировки и группировки нескольких запусков</li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>каждого модульного компонента через один файл и др.</p> <p><b>Программный продукт: Cradle CFD</b> – семейство программных средств для моделирования и визуализации вычислительной гидродинамики [126].</p> <p><b>Версия: 2024.1</b> [127] – Май 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Новые возможности анализа аккумуляторов, расширенный аэроакустический анализ, улучшенное моделирование многофазного потока и турбулентности, улучшения стабильности и точности. Заметные улучшения производительности включают автоматизированное уточнение сетки для криволинейных геометрических элементов, улучшенное создание сетки пограничного слоя, извлечение модели однолопастного прохода для турбомашин.</li><li>2. Улучшения в моделировании электрохимических процессов аккумуляторов. Модель P2D, основанная на электрохимических уравнениях, поддерживается в трехмерной сетке. Эту функцию можно объединить с анализом электрического тока в масштабе ячейки, а переменные состояния батареи можно обрабатывать однородно внутри ячейки.</li><li>3. Новая методология прогнозирования шума вентилятора. Несколько дипольных источников звука, расположенных в форме кольца, создаются на основе результатов расчетов жидкости, и шум вентилятора прогнозируется на основе этих источников.</li><li>4. Многофазный поток. Модель неравновесного пристеночного кипения для кипения с недогревом позволяет моделировать переходное кипение и передачу тепла от стенки к паровой фазе. Модель неравновесного пристеночного кипения повышает точность прогнозирования тепловых характеристик теплообменников, радиаторов и систем охлаждения с прямым погружением.</li><li>5. Расширения метода дискретных элементов (Discrete Element Method, DEM). Модель Edinburgh-Elasto-Plastic-Adhesion (EEPA) была добавлена к возможностям DEM. Модель является стандартной для моделирования влажных грунтов и позволяет его выполнять с учетом как сжимаемости, так и сцепления.</li><li>6. Повышение производительности для анализа турбомашин. Моделирование центробежных насосов может создавать выходные данные турбомашин с учетом производительности непосредственно в scPOST. Это позволяет непосредственно выполнять вырезание и построение сетки одного крыла центробежных насосов на</li></ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>трехмерной геометрии CAD и исключить предварительную работу с файлами CAD; визуализировать производительность турбомашин вместе с полем потока и давлением с помощью функции отчета scPOST.</p> <p>7. Улучшения производительности препроцессора. Последняя версия scFLOWPre повышает производительность рабочих процессов генерации октантов и удобство использования больших данных CAD с тысячами деталей и др.</p> <p><b>Программный продукт: MSC Patran</b> – комплексная программная среда пре- и постобработки для анализа методом конечных элементов [128].</p> <p><b>Версия: 2024.1 [129] – Май 2024 г.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Различные роторы также можно моделировать с использованием различных методов, объединяя 1D, 2D и 3D модели. Опорный ротор можно легко идентифицировать, а роторам в общей модели можно назначить различные скорости вращения. Каждому ротору также можно назначить правильную критическую частоту.</li> <li>2. Улучшения в моделировании композитных оболочек. Добавлено автоматическое определение в каждом слое элементов, имеющих максимальные или минимальные значения напряжения, деформации или других результатов.</li> <li>3. Графические улучшения. Поддержка рендеринга на основе свойств и материалов в дополнение к рендерингу типов сущностей и групп.</li> <li>4. Поддержка новых карт Nastran: <ul style="list-style-type: none"> <li>• опции NLMOPTS, NLSSEL для NLPERF (высокопроизводительный нелинейный решатель);</li> <li>• поддержка ACCEL и ACCEL1 (статическое ускорение);</li> <li>• MDLPRM OFFDEF (смещения оболочки) и др.</li> </ul> </li> </ol> <p><b>Программный продукт: MSC Adams</b> – программное обеспечение для моделирования динамики систем, состоящих из многих тел, анализа нагрузок в механических системах [130].</p> <p><b>Версия: 2024.1 [130] – Август 2024 г.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Добавлен новый гибкий обод в сочетании с CD-шиной. Учет динамики обода шины с моделями CD-шины и влияния на силы трансмиссии.</li> <li>2. Улучшение в расчете усталости: утилита расчета потока дождя для прогнозирования долговечности компонентов.</li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <div><div><div>3.</div><div>Добавлен дополнительный тип листовой рессоры – одинарная листовая рессора без скобы.</div></div><div><div>4.</div><div>Добавлены возможности изменения геометрии зубьев в шестернях для учета наблюдаемых высокочастотных вибраций в силовых агрегатах.</div></div><div><div>5.</div><div>Расширенная конфигурация вращения для повышения устойчивости решателя при наличии больших вращений.</div></div><div><div>6.</div><div>Добавлена поддержка изменения давления в шинах во время выполнения и др.</div></div></div> <div><p><b>Программный продукт: MSC Dytran</b> – программный комплекс для моделирования и анализа конструкций подверженных высокоскоростным динамическим воздействиям с большими формоизменениями, большим числом нелинейных эффектов с применением явной схемы интегрирования по времени и методов конечных элементов и конечных объемов [131].</p><p><b>Версия: 2024.2</b> [132] – Ноябрь 2024 г.</p><div><div><div>1.</div><div>Добавлены модели для учета анизотропии в листовых металлах. Две новые модели материалов Vegter, VEGTR06 и VEGTR17, устраняют ограничения моделей BARLT89 и SHEETMAT и позволяют избежать сложного извлечения параметров из экспериментальных данных. С моделями предлагается новый метод для непосредственного получения характеристик из основных механических свойств, что позволяет точнее предсказывать двухосную плоскую деформацию и зоныдвига. Главное преимущество этого метода заключается в том, что он использует только данные испытаний на растяжение, измеренные под углами 0°, 45° и 90° к направлению прокатки.</div></div><div><div>2.</div><div>Новая пользовательская подпрограмма материалов MATEx, предназначенная для шестигранных элементов Лагранжа, позволяющая программировать и реализовывать поведение материала, если оно недоступно в текущей библиотеке моделей материалов и др.</div></div></div><p><b>Программный продукт: MSC Marc</b> – решение для проведения нелинейного анализа методом конечных элементов, позволяющее точно моделировать поведение изделий в условиях статического, динамического и мультифизического нагружения [133].</p><p><b>Версия: 2024.2</b> [134] – Ноябрь 2024 г.</p><div><div><div>1.</div><div>Улучшено моделирование проникновения давления жидкости. Новая процедура основана на контактном давлении и моделирует эффект просачивания жидкости при контакте с уплотнением. Давление жидкости может</div></div></div></div> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза             | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                            | <p>постепенно проникать под контактные поверхности для моделирования воздействия жидкости при возрастающем давлении.</p> <p>2. Поддержка многопоточности для анализа излучения. Возможность использования нескольких потоков для расчета коэффициента обзора в анализе излучения с многопоточностью методом проекции полукуба.</p> <p>3. Поддержка процесса пиролиза материала: рецессия с несколькими слоями и др.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 6 | COMSOL Inc.                | Май –<br>Ноябрь<br>2024 г. | <p><b>Программный продукт: COMSOL Multiphysics®</b> – интегрированная платформа для моделирования, включающая этапы от создания геометрии, определения свойств материалов и описания физических явлений, до настройки решения и процесса постобработки [135].</p> <p><b>Версия: v6.2</b> [136; 137] – Ноябрь 2023 г.</p> <p>1. Возможность замены сложных 3D-моделей методом конечных элементов суррогатными моделями на основе технологии машинного обучения. Это позволяет быстрее получать результаты для дальнейшей разработки цифровых двойников. COMSOL предлагает различные методы машинного обучения для построения суррогатных моделей, включая гауссовские процессы, полиномиальные хаос-расширения и глубокие нейронные сети. Релиз содержит примеры суррогатных моделей:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• трубчатого реактора;</li> <li>• термопривода;</li> <li>• емкости аккумулятора от скорости.</li> </ul> <p>2. Новый решатель периодического времени (time periodic) упрощает моделирование нелинейного поведения в трансформаторах, электродвигателях и других электрических машинах. Решатель учитывает нелинейные эффекты в двигателе. Решатель совместим с мультифизическим анализом, включая акустику, структурную механику, теплопередачу, многофакторную оптимизацию и др.</p> <p>3. Новые модели дисперсных материалов для тканей и диэлектриков.</p> <p>4. Улучшение процесса моделирования распространения света в жидких кристаллах.</p> <p>5. Новый метод фазового поля для моделирования повреждений и трещин в твердых телах.</p> <p>6. Новый метод виртуального роста трещины.</p> <p>7. Улучшение процесса моделирования коробления печатных плат.</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <div>8. Возможность моделирования процессов переноса в твердых телах с учетом электромиграции, водородного охрупчивания и других явлений.</div> <div>9. Новая вязкопластическая модель материала для моделирования лития в батареях.</div> <div>10. Новые вязкопластические модели полимерных материалов</div> <div>11. Возможность моделирования распространения акустических волн в анизотропных пористых материалах.</div> <div>12. Новый тип порта для аэроакустического анализа конструкций, например воздухозаборников турбореактивных двигателей.</div> <div>13. Расширены возможности построения сетки методом вытягивания.</div> <div>14. Новый метод регенерации поверхностной сетки для импортированных STL объектов.</div> <div>15. Усовершенствованный способ выбора ребер при настройке операции «Cap Faces» и др.</div> <div>Версия: v6.2 (сборка 6.2.0.415) [138] – Май 2024 г.</div> <div>1. Расширенная поддержка единиц измерения включает килоэрстед (кЭ).</div> <div>2. Для моделей, использующих интерфейс «Pressure Acoustics, Transient», функция «Interior Sound Hard Boundary (Wall)» обрабатывается последовательно внутри домена «Perfectly Matched Layer».</div> <div>3. Добавлена обработка неортогональных (связанных) мод условием «Port» в интерфейсе «Pressure Acoustics, Frequency Domain». Неортогональные моды могут присутствовать, если границы исследуемого волновода имеют граничные условия импеданса.</div> <div>4. Узел высокопроводящего пористого электрода в интерфейсах литий-ионной батареи и батареи с бинарным электролитом может обрабатывать анизотропную извилистость в моделях, созданных в более ранних версиях COMSOL Multiphysics®.</div> <div>5. Добавлена поддержка импорта файлов CATIA ® V5 2024 в Windows и др.</div> <div>Версия: v6.3 [139] – Ноябрь 2024 г.</div> <div>Общие улучшения:</div> <div>1. Новый модуль электрического разряда (Electric Discharge Module) для моделирования разрядов в газах, жидкостях и твердых телах.</div> <div>2. Интерактивная среда Java, позволяющая вносить изменения в модель «на лету» с помощью API COMSOL для</div> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---|----------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>использования с Java.</p> <p>3. Создание суррогатной модели с поддержкой обучения на базе графического процессора.</p> <p>4. Добавлен нелинейный решатель собственных значений.</p> <p>5. Добавлен глобальный решатель оптимизации параметров.</p> <p><b>Электромагнетизм:</b></p> <p>6. Улучшение процесса моделирования ламинированного железа в двигателях и трансформаторах.</p> <p>7. Поддержка возбуждения по продольной и поперечной оси в двигателях, что позволяет выполнять общие стратегии управления и расчеты основных параметров машины.</p> <p>8. Моделирование высокочастотных обмоточных проводов (литцендраты) с учетом количества жил, сопротивления постоянному току и высокочастотных потерь.</p> <p>9. Повышенная точность расчетов электростатической силы для микроэлектромеханических устройств (Micro-Electrochemical Systems, MEMS).</p> <p>10. Моделирование диэлектрической дисперсии в биологической ткани.</p> <p>11. Расчет параметров «сопротивление-индуктивность-проводимость-емкость» (resistance-inductance-conductance-capacitance, RLGC) для многопроводных линий передачи. Анализ линий передачи во временной области.</p> <p>12. Автоматическая настройка периодических структур в волновой оптике.</p> <p>13. Автоматическое создание точечных диаграмм и графиков частотно-контрастной характеристики (функции передачи модуляции, Modulation Transfer Function, MTF) в лучевой оптике.</p> <p>14. Точный расчет тока утечки в полупроводниковых приборах.</p> <p>15. Специализированные интерфейсы для моделирования неизотермического потока плазмы.</p> <p>16. Электромеханическое моделирование оболочек и мембран.</p> <p>17. Мультифизическое моделирование усадки и набухания под воздействием влаги.</p> <p>18. Улучшение процесса моделирования точечных сварных швов и крепежных деталей.</p> <p>19. Механические условия контакта для внутренних границ, устраняющие необходимость в контактных парах.</p> <p>20. Вязкоупругое моделирование во временной области с</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель)           | Дата<br>релиза           | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |                          | <p>частотно-зависимыми свойствами материала.</p> <p>21. Геометрическое моделирование случайных композитов из частиц.</p> <p>22. Пластичность, зависящая от давления, для пен.</p> <p>23. Более быстрое моделирование термовязкостной акустики с использованием последовательной линейаризованной модели Навье-Стокса (SLNS).</p> <p>24. Моделирование анизотропии, в т.ч. пороакустики.</p> <p>25. Модели турбулентности при напряжении Рейнольдса для вторичных потоков в каналах и потоков с сильным завихрением или средним вращением.</p> <p>26. Улучшенные моделирования потока с высоким числом Маха с новой опцией кинетической энергии.</p> <p>27. Миграция, вызванная сдвигом, для фракционирования частиц и микрофльтрации.</p> <p>28. Функциональность плоскости смешивания для эффективного моделирования насосов, турбин и вращающихся машин.</p> <p>29. Моделирование движений неньютоновских потоков (жидкостей) в пористых средах.</p> <p>30. Моделирование методом повторяющейся элементарной ячейки процессов теплопроводности в композитах и пористых средах.</p> <p>31. Новая двухэлектродная сосредоточенная модель и варианты одночастичных электродов для моделирования аккумуляторов.</p> |
| 7 | Cadence Inc. (BETA CAE Systems Inc.) | Январь – Октябрь 2024 г. | <p><b>Программный продукт: ANSA</b> – многопрофильный инструмент пре-процессинга, который обеспечивает все необходимые функциональные возможности для построения полной модели, от CAD-данных до готового к запуску файла входных данных решателя, в единой интегрированной среде [140]</p> <p><b>Версия: v23.1.4</b> [141] – Январь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе плагинов, управлении данными, реализаций соединений и др.</p> <p><b>Версия: v24.0.2</b> [142] – Февраль 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с объемной сеткой, сборкой и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.1</b> [143] – Март 2024 г.</p> <p>1. Добавлена возможность генерации модели отображения из оболочек и граней</p> <p>2. Устранение проблем в работе со слоями, видимостью контактов, скруглениями с определенным радиусом и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.2</b> [144] – Июнь 2024 г.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|----------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>Устранение проблем в работе с сетками, инструментами сравнения, графическим интерфейсом и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.3</b> [145] – Октябрь 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Улучшение качества анизотропной сетки CFD с зонами из острых краев.</li> <li>Устранение проблем в работе с объемной сеткой, сборкой и др.</li> </ol> <p><b>Версия: v25.0.1</b> [146] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с проецированием точек на объекты, чтении моделей, конвертацией и др.</p> <p><b>Программный продукт: EPILYSIS</b> – решение в области конечных элементов (решатель FEA), призван устранить разрыв между пре- и постпроцессингом для Structural, NVH, Optimization и других [147].</p> <p><b>Версия: v23.1.4</b> [141] – Январь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе топологии и др.</p> <p><b>Версия: v24.0.2</b> [142] – Февраль 2024 г.</p> <p>Устранение общих проблем в работе (работа с операциями).</p> <p><b>Версия: v24.1.1</b> [143] – Март 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с расчетами проекций, выводом значений чувствительности, производительности и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.2</b> [144] – Июнь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с расчетами и оптимизацией.</p> <p><b>Версия: v24.1.3</b> [145] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение общих проблем в работе (новый верхний предел идентификатора сетки).</p> <p><b>Версия: v25.0.1</b> [146] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с методом динамического снижения, общих проблем (новый верхний предел идентификатора сетки) и др.</p> <p><b>Программный продукт: МЕТА</b> – многоцелевой постпроцессор, удовлетворяющий расходящиеся потребности различных дисциплин CAE [148].</p> <p><b>Версия: v23.1.4</b> [141] – Январь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с графикой, аннотациями, управлении данными кривых и др.</p> <p><b>Версия: v24.0.2</b> [142] – Февраль 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с математическими операциями, анимацией, чтении файлов и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.1</b> [143] – Март 2024 г.</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей<br>(при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>Устранение проблем в работе с многогранными элементами, чтении файлов и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.2</b> [144] – Июнь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с расчетами силы сечения, энергии деформации тетраэлементов 2-го порядка, обработке изображений и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.3</b> [145] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с дополнительными цветами, аннотациями, чтении файлов и др.</p> <p><b>Версия: v25.0.1</b> [146] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с циклической симметрией, геометрией с зашифрованными включениям, чтении кривых и др.</p> <p><b>Программный продукт: FATIQ</b> – комплексная платформа для оптимизированного анализа усталости [149].</p> <p><b>Версия: v23.1.4</b> [141] – Январь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с расчетами, задачами и др.</p> <p><b>Версия: v24.0.2</b> [142] – Февраль 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с графическим интерфейсом и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.1</b> [143] – Март 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с расчетами, задачами и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.2</b> [144] – Июнь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с нагрузками, расчетами балочных элементов и др.</p> <p><b>Версия: v24.1.3</b> [145] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение общих проблем в работе с пользовательскими материалами и импорте файлов с наборами.</p> <p><b>Версия: v25.0.1</b> [146] – Октябрь 2024 г.</p> <p>Устранение проблем в работе с нагрузками и материалами (кривые сварных швов).</p> |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Результаты поиска и анализа определяют приоритетные направления развития зарубежных CAE-систем, среди которых:

- 1. Расширение функциональных возможностей для ускоренного процесса моделирования сеток (сложных геометрий), в т.ч. отверстий, ребер, тонких стенок и др.
- 2. Расширение функциональных возможностей для моделирования контактного взаимодействия, используя различные подходы, такие как линеаризованные контактные возможности, масштабирование контактной массы, и проверку трения при сближении.
- 3. Расширение функциональных возможностей для моделирования литиевых и

твердотельных аккумуляторов, которые позволяют моделировать процессы износа, такие как износ электродов, изменение сопротивления и потеря емкости. Это дает возможность предсказать, продолжительность работы аккумулятора, и какие факторы могут повлиять на его срок службы. CAE-системы моделируют поведение материалов, используемых в аккумуляторах, для более точного описания процессов диффузии, электрохимические реакции и изменения свойств в аккумуляторе.

4. Повышение точности и достоверности моделей машинного обучения, т. е. развитие новых методов оценки качества моделей, включая коэффициент детерминации (R-квадрат), метрику Спрага-Гирса (Sprague-Geers), а также абсолютные и процентные ошибки пиковых значений и увеличение доступности вычислительных ресурсов для обучения сложных моделей машинного обучения.
5. Использование суррогатных моделей для ускорения процесса моделирования (используемых в дальнейшем для разработки цифровых двойников). Функция позволяет создавать модели, обученные на данных из экспериментов / результатов проведенного моделирования, и получать быстрые результаты без запуска ресурсоемких моделей.
6. Расширение базы данных композиционных материалов за счет добавления новых материалов и возможности моделирования объектов из них, позволяя более точно анализировать и проектировать композитные конструкции и др.

Таким образом, зарубежные разработчики CAE-систем в рамках обновления своих программных продуктов уделяют внимание расширению возможностей моделирования литиевых и твердотельных аккумуляторов, ускорению процесса моделирования сеток и контактных взаимодействий, а также расширению области математического и компьютерного моделирования сложных многодисциплинарных (мультифизичных) явлений и эффектов в таких научных областях, как композиционные материалы и композитные структуры, динамика, акустика, износ, и Также активно внедряются разработки искусственного интеллекта, цифровых двойников и суррогатных моделей для ускорения процесса проектирования и оптимизации конструкции, снижения стоимости и повышения точности расчетов.

### **3.2. Анализ релизов обновлений функциональных возможностей российских CAE-систем в 2024 г.**

Российские разработчики продолжают активно внедрять инновации, расширяя функциональные возможности своих систем и укрепляя позиции на отечественном рынке. Данный раздел посвящен анализу обновлений функциональных возможностей российских систем, релиз которых состоялся в 2024 году. Исследование проводится в целях выявления основных тенденций развития отечественного программного обеспечения и определения приоритетных направлений его совершенствования.

В таблице ниже предоставлена информация о выпущенных релизах и планируемых обновлениях для ключевых российских CAE-систем, включая дату и ключевые изменения.

Для анализа обновленных функциональных возможностей были выбраны основные представители рынка, в числе которых ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», ООО «Фидесис», ООО «ТЕСИС», ООО НТЦ «АПМ», ЗАО «АвтоМеханика», ООО «КАДФЛО», ООО «Тор», ООО «Ладуга», ООО «НИИ

«АСОНИКА», ООО «ЗВС» и др. Результаты поиска и обработки данных представлены ниже.

Таблица 6. Сведения об обновлениях функциональных возможностей российских САЕ-систем, вошедших в релизы 2024 г.

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | ФГУП «РФАЦ – ВНИИЭФ»       | Июнь 2024 г.   | <p><b>Программный продукт:</b> ЛОГОС – система автоматизации инженерных расчетов, программное обеспечение для численного моделирования поведения отдельных элементов и целых конструкций в различных условиях эксплуатации [150].</p> <p><b>Версия:</b> 2024 [151]</p> <ol style="list-style-type: none"><li>Обновленный пакет программ включает модуль «Логос ЭМИ», предназначенный для расчетов эффективной поверхности рассеяния электромагнитных волн на сложных технических изделиях с учетом диэлектрических и магнитных свойств материалов, а также для расчета параметров антенно-фидерных устройств с использованием строгих и приближенных методов.</li><li>В коммерческий релиз пакета программ «Логос» добавлен модуль «Логос Ресурс» для расчетов долговечности различных конструкций.</li><li>В рамках расширения возможностей модуля Логос Аэро-Гидро одним из ключевых результатов является повышение точности определения характеристик определенных типов течений за счет реализованной возможности моделирования вязких турбулентных течений с помощью одной из модификаций стандартной модели k-ε – модели k-ε realizable two layer.</li><li>В рамках расширения возможностей модуля Логос Тепло возможно моделировать процессы взаимодействия направленного энерговыделения с поглощающими средами. Ключевой особенностью новой версии стала модель определения теплового состояния космических аппаратов при движении по орбите Земли, включающая моделирование экранно-вакуумной теплоизоляции. Помимо этого, реализована возможность моделирования теплового состояния сварных соединений (электронно-лучевая сварка), процесса 3D-печати и т. д. Важным нововведением является создание полноценной библиотеки свойств материалов с возможностями импорта, экспорта.</li><li>В новой версии модуля Логос Прочность в части решения задач нелинейной динамической прочности добавлена возможность моделирования с</li></ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>большими деформациями контактных границ (эйлеров решатель), реализованы новые модели деформирования материалов (грунтовые среды, взрывчатых вещества).</p> <p>6. В методе сглаженных частиц (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) добавлена поддержка контактного взаимодействия частиц с лагранжевой сеткой для двумерного случая, добавлена поддержка склейки с лагранжевой сеткой методом штрафа.</p> <p>7. Для начальных и граничных условий реализована возможность использования программируемых пользователем зависимостей.</p> <p>8. В части решения задач квазистатического деформирования и вибрационных типов анализа реализованы новые возможности: линейно-спектральный анализ, структурный анализ для построения редуцированных моделей с использованием обобщенного метода Крейга-Бэмптона (Craig-Bampton), добавлен элемент точечной массы с характеристиками моментов инерции для статического, модального и гармонического типов анализа.</p> <p>9. Добавлена возможность определения массово-инерционных характеристик конечно-элементной модели решателем перед проведением расчета, возможность расчета реакций опоры в гармоническом типе анализа.</p> <p>10. Добавлена новая версия трех- и четырех узловых оболочечных конечных элементов с линейной функцией формы для решения задач статической прочности с учетом физической нелинейности, а также для решения задач вибрационных типов анализа. Новая версия оболочечных конечных элементов обладает улучшенными возможностями с улучшенными свойствами сходимости.</p> <p>11. Для вибрационных типов анализа добавлена возможность расчета отклика конструкций по напряжениям для моделей, содержащих оболочечные конечные элементы.</p> <p>12. Добавлена модель упругопластического материала с мультилинейной диаграммой деформирования и кинематическим упрочнением.</p> <p>13. Добавлена реконструкция и визуализация полных собственных форм колебаний конструкций при проведении модального анализа в циклосимметричной постановке.</p> <p>14. При решении прочностных задач появилась</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель)                                                | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|---------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                           |                | <p>возможность задания, отображения, сохранения и загрузки начальных и граничных условий на геометрических сущностях. Существенно расширены возможности проведения многошаговых расчетов для неявного типа модели Логос Прочность. В частности, добавлена возможность запуска нескольких задач на расчет одновременно, реализовано отображение в дереве модели статусов расчетных шагов и задач, реализовано автоматическое копирование нагрузок в последующие шаги. При постобработке таких результатов моделирования стало доступно построение огибающих и линейных комбинаций сеточных данных.</p> <p>15. Введен специальный алгоритм постобработки результатов моделирования задач «Логос Прочность» с циклической симметрией</p> <p>16. В рамках расширения возможностей модуля Логос Платформа добавлены новые методы проведения многопараметрических оптимизационных исследований, обеспечена возможность проведения гетерогенных вычислений, когда часть связанной задачи рассчитывается на персональной ЭВМ, а другая часть – на высокопроизводительной супер-ЭВМ.</p> <p>17. В новой версии модуля Логос Препост расширен функционал, улучшена визуализация и повышена скорость обработки данных.</p> <p>18. Введена функция автоматического разрезания геометрических тел для построения в полученных блоках сетки протягиванием и функция определения в геометрических телах симметричных конструкций.</p> |
| 2 | ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина» (ООО НТП «ДИП» до 2024 г.) | н/д            | <p><b>Программный продукт: Программный комплекс Зенит для математического моделирования физических процессов</b> (ПК «Зенит», «Зенит-95») – программа расчета конструкций, механизмов, приводов методом конечных элементов (МКЭ) [152].</p> <p><b>Версия: 6.6.12.2</b></p> <p>Описание обновления функциональности продукта в открытом доступе не представлено.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3 | ООО «Фидесис»                                                             | Август 2024 г. | <p><b>Программный продукт: CAE Fidesys</b> – программный пакет, предназначенный для инженерного анализа прочности и решения геомеханических задач. С помощью пакета производится оценка надежности и ресурса механических конструкций, а также предиктивный анализ эффективности и</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза  | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                 | <p>безопасности проведения работ при добыче полезных ископаемых [47].</p> <p><b>Версия: 2024 [153]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Добавлена возможность расчета с учетом вязко-пластичности по Нортону (ползучесть по Нортону с пластичностью по Мизесу).</li> <li>2. Улучшен алгоритм автопоиска контактных пар для малых поверхностей.</li> <li>3. Улучшена скорость расчета для задач аддитивного производства с числом элементов более 1 млн.</li> <li>4. Добавлены периодические граничные условия в теплопроводности</li> <li>5. Добавлен расчет запаса прочности по теории Хука-Брауна в постпроцессоре.</li> <li>6. Добавлен расчет с учетом распухания</li> <li>7. Добавлен расчет эффективной проницаемости неоднородной среды.</li> <li>8. Улучшены функции расчета для нелинейных задач, когда используются все три вида нелинейностей.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 4 | ООО «ТЕСИС»                | Февраль 2024 г. | <p><b>Программный продукт: FlowVision</b> – программный комплекс для междисциплинарного моделирования [154].</p> <p><b>Версия: 3.14.01. [154]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Новый решатель позволяет моделировать процесс генерации звука и его распространения в расчетной области. По заданному источнику выполняется моделирование распространения звуковой волны в пространстве.<br/>Источник звука может быть задан двумя способами: <ul style="list-style-type: none"> <li>• пользователем в виде аналитической зависимости или табулированных данных.</li> <li>• с помощью расчета движения сплошной среды в вихреразрешающей постановке (DNS (“Direct Numerical Simulation”), LES (“Large Eddy Simulation”)).</li> </ul> </li> <li>2. Модель PSR (“Partially Stirred Reactor”) схожа с моделью горения EDC (“Eddy Dissipation Concept”). Модель PSR отличается выражениями для массовой доли тонких структур в ячейке и характерного времени перемешивания реагентов.</li> <li>3. В правой части уравнения переноса фаз доступен источник появления/исчезновения частиц (коэффициенты D и F), что позволит реализовать пользовательские модели массопереноса из сплошной фазы в</li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза                                    | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|----------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                                                   | <p>дисперсную.</p> <p>4. В граничном условии Вход/Выход добавлен новый тип граничного условия для уравнения движения «Массовый расход» [кг/с]. Новое граничное условие позволяет отказаться от ручного пересчета массового расхода в массовую скорость [кг/(с· м^2)]. Однако, в отличии от условия типа Массовая скорость при изменении площади границы при постоянной скорости на границе, пользователю придется вносить изменения в величину массового расхода.</p> <p>5. Для каждого физического процесса можно задать собственный шаг по времени. Эта возможность востребована для стационарной задачи сопряженного теплообмена, где задание собственного шага для металла существенно ускорит процесс выхода на решение.</p> <p>6. Добавлена новая опция, которая позволяет сохранять только N последних записей истории, удаляя предыдущие, что позволяет откатывать решения на несколько шагов назад без накопления лишних данных.</p> <p>7. В окне графиков доступны амплитудно-частотная характеристика и спектральная плотность мощности. После выбора параметров преобразования создается новое окно, аналогичное окну графиков с результатом преобразования. Данная опция необходима для задач акустики.</p> |
| 5 | ООО НТЦ «АПМ»              | Октябрь<br>2023 г. (версия актуальна на 2024 год) | <p><b>Программный продукт: APM Structure3D</b> – модуль расчета напряженно-деформированного состояния, устойчивости, собственных и вынужденных колебаний деталей и конструкций методом конечных элементов [155].</p> <p><b>Версия: v20</b> [156]</p> <p><b>Интерфейс / Редактирование модели / Сохранение / Загрузка</b></p> <p>1. Доработан механизм загрузки/сохранения расчетной модели. Значительно (до 100 раз) увеличена скорость при работе с HDD-накопителями.</p> <p>2. Добавлена опция сохранения параметров расчета, которая позволит при запуске расчета автоматически сохранять все настройки, сделанные пользователем.</p> <p>3. Добавлен динамический фильтр для выбора элементов расчетной схемы (узлы, стержни, пластины, твердотельные КЭ).</p> <p>4. Расширен перечень фильтров вида необходимых</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>для отображения номеров узлов/элементов на модели.</p> <p>5. Добавлена новая операция «Перенос модели», которая пересчитывает положение узлов конструкции относительно базового. При этом дополнительно происходит перерасчет нагрузок: ветровой, пульсации ветра, углового ускорения и скорости.</p> <p>6. Расширен функционал программы при импорте файлов формата STL. Можно распределить по слоям КЭ, попадающие внутрь и/или находящиеся вне импортируемой оболочки и др.</p> <p><b>Нагрузки / Воздействия / Расчеты</b></p> <p>7. Введен расчет инерционной разгрузки.</p> <p>8. Добавлен новый тип нагрузки на КЭ «Температурная нагрузка». Может быть задана на стержни, пластины и объемные элементы.</p> <p>9. Добавлен новый тип нагрузки «Суммарный момент» в дереве «Расчетная модель». Момент может быть задан на узлы, стержни, пластины, объемные элементы и их грани.</p> <p>10. Новые возможности в рамках гармонического анализа (ГА) конструкций:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Введен постоянный тип демпфирования, независимый от частоты.</li> <li>• Добавлена возможность управления демпфированием упругих элементов типа «упругая связь», а также «упругая опора» и «упругое основание».</li> <li>• Расширена номенклатура частотных нагрузок для различного вида кинематических воздействий. Добавлен ввод необходимых настроек и др.</li> </ul> <p>11. Новый способ задания нагрузок в дереве «Расчетная модель». Нагрузки могут быть заданы в табличной форме, которая допускает импорт/экспорт числовых данных через текстовые файлы.</p> <p>12. Новые возможности в рамках топологической оптимизации конструкций:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Добавлена возможность сохранения напряжений во время расчета.</li> <li>• Возможен запуск расчета с текущего поля объемных долей (объемные доли преобразуются в проектные переменные).</li> </ul> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|----------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Добавлены «отклики-индикаторы», которые позволяют оценить характеристики модели, не внося дополнительных ограничений в задачу.</li> <li>• Реализован учет специальных элементов связи: «жесткий», «деформируемый».</li> <li>• Появилась возможность ограничить внутреннее усилие в любом типе элементов, доступных для топологической оптимизации.</li> <li>• Добавлена возможность учета «нестрогой симметрии», которая будет реализована программой только в пространстве проектирования.</li> <li>• Добавлено «нестрогое» (агрессивное) соблюдение ограничения по напряжениям, что в некоторых случаях позволяет получить больший спектр решений.</li> <li>• Новое технологическое ограничение – «Фрезеровка». Реализовано ограничение только на минимальный диаметр отверстия.</li> <li>• Доработано технологическое ограничение «Штамповка». Встроен новый более стабильный метод учета штампуемости и др.</li> </ul> <p><b>Пост-обработка</b></p> <p>13. Добавлен новый инструмент для проведения арифметических операций с результатами расчетов. Операции выполняются на базе сформированных таблиц результатов (выборка/срез результатов расчета с интересующими пользователя параметрами). Эти таблицы также могут быть визуализированы в виде цветowych карт результатов.</p> <p>14. В дерево «Расчетная модель» добавлен новый объект «Траектория». Он хранит в себе массив узлов, выбранных пользователем на расчетной модели и образующих ломаную линию.</p> <p>15. Добавлен новый тип результатов – «Результаты по траектории». Линеаризация результатов расчета при использовании инструмента.</p> <p>16. В дерево «Расчетная модель» добавлен новый объект «Плоскость». Он может быть задан на рабочей области по 3-м точкам(узлам), по грани элемента или по опорной точке и вектору-нормали.</p> <p>17. Реализован специальный режим «пакетного» запуска расчетов (batch). Позволяет провести расчеты последовательно для нескольких файлов. Есть опциональная возможность для проведения</p> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---|----------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>верификации результатов расчетов и др.</p> <p><b>Программный продукт: APM Studio</b> – модуль геометрического моделирования с инструментами КЭ анализа.</p> <p><b>Версия: v20 [156]</b></p> <p><b>Интерфейс / Редактирование модели / Сохранение / Загрузка</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Реализовано чтение файлов формата КОМПАС-3D (m3d, a3d).</li> <li>2. Осуществлен преимущественный переход на создание расчетной модели через дерево модели и панель свойств.</li> <li>3. Добавлены новые типы виртуальных соединителей – болт и пружина. При установке болта есть возможность задать преднатяжение несколькими способами.</li> <li>4. Любую деталь в сборке можно представить абсолютно жестким (твердым) телом.</li> <li>5. Полностью переработана команда создания «Пользовательской системы координат» (ПСК).</li> <li>6. Добавлена команда ориентирования нормали для поверхностных моделей</li> <li>7. Добавлены возможности по заданию, расчету и анализу результатов конструкций, выполненных из материала типа слоистый композит (ламинат).</li> <li>8. Подключен выбор материала из ПОЛИНОМ:MDM (АСКОН).</li> <li>9. Добавлена новая команда «Позиционирование», позволяющая перемещать и поворачивать детали и сборки в модели изделия с возможностью их копирования.</li> <li>10. Переработана команда генерации КЭ сетки. Одновременно доступны все настройки для твердых тел и поверхностей. Появился выбор стратегии разбиения, разбиение с относительными шагами, а также 8-ми узловая сетка («протяжка» для простых деталей).</li> <li>11. Добавлена проверка качества КЭ-сетки.</li> <li>12. Реализована возможность назначить материал деталям сборки, выбрав тела непосредственно в дереве модели.</li> <li>13. Добавлен расчет и отображение инерционных характеристик деталей: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Объем и Масса – для поверхностных деталей;</li> <li>• Объем, Масса, Положение центра, Главные центральные моменты инерции – для</li> </ul> </li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза  | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                 | <p>твердотельных деталей.</p> <p>14. Добавлен функционал, необходимый для упрощения поверхностных деталей и др.</p> <p><b>Нагрузки / Воздействия / Расчеты</b></p> <p>15. Добавлена новая нагрузка – «Температура на деталь». Это позволит проводить статический расчет с учетом того, что деталь прогрета на определенную температуру без предварительного расчета теплопроводности.</p> <p>16. В нагрузку «Момент» добавлена опция для задания точки приложения момента.</p> <p>17. Добавлены новые типы расчетов:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• нелинейный статический;</li><li>• нелинейный динамический с заданием нагружения по шагам;</li><li>• гармонический анализ.</li></ul> <p><b>Пост-обработка</b></p> <p>18. Добавлены результаты: реакции в опоре, усилия в болте, усилия в пружине.</p> <p>19. Реализован вывод цветовой карты контактного давления.</p> <p>20. Вывод результатов в ЛСК детали и др.</p> |
| 6 | ООО «АвтоМеханика»         | Октябрь 2024 г. | <p><b>Программный продукт: Euler</b> – программный комплекс, предназначенный для моделирования кинематики и динамического поведения механических систем [157].</p> <p><b>Версия: 12.14.41</b> (демо-версия) [158]</p> <p>Полное описание доработанной функциональности в открытом доступе не представлено.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 7 | ООО «КАДФЛО»               | Январь 2024 г.  | <p><b>Программный продукт: CADFLO</b> – программное обеспечение для решения задач гидрогазодинамики, теплообмена, прочности, электромагнетизма и мультифизического инженерного анализа, использующее технологии моделирования [46].</p> <p><b>Версия: 2302</b> [159]</p> <p>1. Интеграция с «T-Flex CAD»</p> <p>2. Новые глобальные цели (Global goals) Cd, Cl, Cs, mx, my, mz позволяют сэкономить значительное время на задание целей для получения необходимых аэродинамических коэффициентов.</p> <p>3. Возможность расчета целостности питания цепей по постоянному току. Источники напряжения и значение тока задается на контактных площадках</p>                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза    | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                   | <p>выбранных компонентов выделенных цепей. Программа производит величину постоянного тока и Джоулева тепла, которые используются для общего анализа платы и устройства.</p> <p>4. Возможность визуализировать запас прочности как отношение максимально допустимых значений напряжений к полученным напряжениям. Возможна визуализация запаса прочности по пределу текучести и пределу прочности для нормальных, сдвиговых напряжений и напряжений по Мизесу.</p> <p>5. Возможность моделировать предварительное натяжение болтов. Некоторые ограничения модели:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Между цилиндрической частью болта и скрепляемыми деталями должен быть зазор.</li> <li>• Плоскость разреза не должна проходить через гайку или шляпку болта.</li> <li>• Шляпа болта может соединяться с деталью только через склейку. Сетка должна быть достаточно мелкой, чтобы область склейки была разрешена и др.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
| 8 | ООО «Тор»                  | Август<br>2024 г. | <p><b>Программный продукт:</b> ELCUT – программа для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов [160].</p> <p><b>Версия:</b> 7.0 beta (бета-версия) [161]</p> <p>1. Включение/выключение элементов картины поля, таких как цветная заливка, изолинии, семейства векторов, вынесено на панель инструментов. Программа реагирует на нажатие кнопок панели инструментов моментально.</p> <p>2. Интегральные параметры вычисляются все сразу, набор интегралов для разных типов задач оптимизирован, к списку интегральных величин добавлены минимальное, максимальное и среднее значение по контуру</p> <p>3. Улучшено редактирование контура, который задает область интегрирования. Добавлена подсветка ребер и блоков, которые можно добавить к контуру. Впервые введена возможность добавлять к контуру ребра и блоки по имени метки одним кликом.</p> <p>4. Масштабирование картины осуществляется путем простого прокручивания колесика мыши. При масштабировании программа плавно пересчитывает масштабные факторы изолиний и векторов так, чтобы восприятие картины поля оставалось</p> |

| №  | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза  | Описание обновленных функциональных возмозно-<br>стей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|----------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                            |                 | <p>наиболее информативным.</p> <p>5. Полоса прокрутки больше не используется; навига-<br/>ция по полю осуществляется путем перемещения<br/>изображения по экрану в вертикальном и горизон-<br/>тальном направлениях, аналогично интерфейсу кар-<br/>тографических приложений.</p> <p>6. Картину поля можно сохранить в файл в JPEG, PNG<br/>или BMP в натуральном или увеличенном разреше-<br/>нии.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 9  | ООО «Ладуга»               | Июль<br>2024 г. | <p><b>Программный продукт: Программный комплекс «Pradis»</b> –<br/>программа для динамических расчетов, анализа динамиче-<br/>ских процессов в механических системах и системах другой<br/>физической природы [162].</p> <p>Полное описание обновления функциональности продукта в<br/>открытом доступе не представлено.</p> <p>Среди плановых работ на 2025 год [163]:</p> <p>1. Общие улучшения программного комплекса:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>улучшение возможностей препроцессора;</li><li>улучшение возможностей постпроцессора;</li><li>модуль трансмиссии (расчет узлов + нагрузок +<br/>синтез узлов + синтез инструмента);</li><li>модуль калибровки моделей / суррогатное мо-<br/>делирование.</li></ul> <p>2. Развитие базовых (компонентных) библиотек:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>акустика;</li><li>контакт колеса и рельсы.</li></ul> <p>3. Интеграция:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>CAD-системы (импорт геометрических свойств);</li><li>интеграция в Компас3D;</li><li>интеграция с оптимизаторами (pSeven);</li><li>интеграция с CAE-системами (косимуляция).</li></ul> |
| 10 | ООО «НИИ «АСО-<br>НИКА»    | н/д             | <p><b>Программный продукт:</b> Автоматизированная система обес-<br/>печения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА) –<br/>комплексное решение для анализа и обеспечения стойкости<br/>радиоэлектронных средств (РЭС) и электронной компонент-<br/>ной базы (ЭКБ) к комплексным тепловым, механическим,<br/>электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к<br/>тепломеханическим воздействиям, создания карт рабочих<br/>режимов ЭКБ, анализа показателей надежности РЭС и созда-<br/>ния цифровых двойников РЭС и ЭКБ [164].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| №  | Игрок<br>(правообладатель)                 | Дата<br>релиза        | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                            |                       | <p><b>Версия: 14.3.5926.24329</b></p> <p>Описание обновления функциональности продукта в открытом доступе не представлено.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 11 | ООО «ГАММА Тех» (СевГУ до октября 2024 г.) | Январь – Март 2024 г. | <p><b>Программный продукт: САПР Гамма</b> – программный комплекс автоматизированного проектирования и моделирования сложных высокочастотных радиоэлектронных систем [165].</p> <p><b>Версия: v2024.01.17</b> [166] – Январь 2024 г.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Изменения в расчете поля в дальней зоне: <ul style="list-style-type: none"> <li>для двумерной, трехмерной диаграммы направленности (ДН) и параметров ДН от частоты: <ul style="list-style-type: none"> <li>исправлены ошибки в расчете напряженности электрического поля в дальней зоне (rE);</li> <li>реализован расчет X/Y/Z/LHCP/RHCP-компонент поля излучения (поляризации);</li> </ul> </li> <li>в инструменте визуализации двумерной ДН исправлена ошибка вывода отдельных компонент поля (поляризации): ранее выводился график для полного поля независимо от выбора пользователя;</li> <li>унифицирован вывод результатов расчета поля в дальней зоне в логарифмической шкале: <ul style="list-style-type: none"> <li>для всех «мощностных» величин ДН (коэффициент усиления, КНД, угловая интенсивность, эквивалентная излучаемая мощность) расчет ведется по формуле:</li> <li>значение в дБ = <math>10 * \log_{10}(\text{линейное значение})</math>;</li> <li>для напряженности электрического поля (rE), как «амплитудной» величины, используется формула: значение в дБ = <math>20 * \log_{10}(\text{линейное значение})</math>.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>Добавлены горячие клавиши.</li> <li>Исправлена ошибка, приводящая к зависанию генератора сетки при использовании директорий с русскими буквами.</li> <li>Исправлена ошибка, приводящая к отказу программы при попытке вывода нескольких результатов одновременно: все окна заказа</li> </ol> |

| № | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|----------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                            |                | <p>результатов модальные.</p> <p>4. Исправлена ошибка подстроечного анализа в режиме Схемотехнический анализ, приводящая в некоторых случаях к отказу программы при открытии файла.</p> <p>5. Временные файлы генератора сетки хранятся не в системной, а пользовательской директории.</p> <p>6. Исправлены ошибки и оптимизированы названия легенд у графиков в категории «Параметры антенны».</p> <p>7. Улучшены некоторые диалоговые окна и элементы интерфейса.</p> <p><b>Версия: v2024.02.28 [167] – Февраль 2024 г.</b></p> <p>1. Добавлена возможность импорта/экспорта файла амплитудно-фазового распределения для набора портов антенной решетки.</p> <p>2. Исправлена ошибка, препятствовавшая выводу результатов «Диаграмма направленности», «Параметры антенны» и «Сертификация SAR» в режиме «Анализ МКР» после перерасчета проекта по причине отсутствия предустановленного соответствующего сенсора.</p> <p><b>Версия: v2024.03.22 [168] – Март 2024 г.</b></p> <p>1. Исправлен расчет коэффициента эллиптичности (расчет параметров антенн).</p> <p>2. Добавлено описание диспетчера пакетного анализа. В нем осуществляется последовательный запуск расчетов моделей без использования графического интерфейса. Встроенный планировщик имеет удобный интерфейс, позволяет формировать очередь задач, следить за ходом выполнения процесса расчета и просматривать информацию о решении уже выполненных задач [169].</p> <p><b>Версия: v2024.2 [170] – Декабрь 2024 г.</b></p> <p>1. Внедрен менеджер лицензий «Guardant», обеспечивающий гибкое управление (выбор между стационарными и сетевыми лицензиями).</p> <p>2. Метод конечных элементов получил новые возможности: учитывается шероховатость металлов с использованием моделей Huray и Groiss. Реализована функциональность расчета с периодическими граничными условиями. Также в версии представлен новый решатель на основе физической оптики,</p> |

| №  | Игрок<br>(правообладатель) | Дата<br>релиза | Описание обновленных функциональных возможностей (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                            |                | <p>который позволяет выполнять расчет эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) для проводящих тел, что позволяет проводить расчеты радиолокационной заметности объектов больших электрических размеров: летательных аппаратов, кораблей и т. п.</p> <p>3. Пользовательский интерфейс стал еще удобнее благодаря кастомизации управления видом модели. Особое внимание уделено документации: в программу добавлены новые примеры проектов и обучающие материалы.</p> |
| 12 | ООО «ЗВС»                  | н/д            | <p><b>Программный продукт: Среда динамического моделирования SimInTech</b> – среда разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев [43].</p> <p><b>Версия: v15.11.2024</b></p> <p>Описание обновления функциональности продукта в открытом доступе не представлено.</p>                                                                        |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Представленные обновления свидетельствуют о том, что российские CAE-системы развиваются по нескольким ключевым направлениям:

1. Добавление новых методов расчетов для моделирования физических процессов, с учетом распухания, эффективной проницаемости неоднородной среды и др.
2. Добавление новых опций для упрощения работы пользователя: по сохранению определенного числа последних записей для возвращения решения на несколько шагов назад без накопления лишних данных, возможность сохранения настроек, которая позволит при запуске расчета автоматически сохранять все настройки, сделанные пользователем и др.
3. Добавление новых инструментов для проведения арифметических операций с результатами расчетов и улучшение функциональности расчетов для нелинейных задач, в том числе с использованием трех видов нелинейностей.
4. Реализация пакетных режимов расчетов, позволяющий запускать модели последовательно с индивидуальными настройками и приоритетами, а также отслеживать процесс расчетов и просматривать результаты.

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

Тенденции развития CAE-систем в 2024 году на мировом и российском рынках демонстрируют как совпадения, так и отличия, связанные с актуальными задачами инженерного анализа и уровнем

развития технологий. На зарубежных рынках CAE-систем главными направлениями являются повышение эффективности и точности моделирования за счет применения **цифровых двойников, искусственного интеллекта и суррогатных моделей / моделей пониженного порядка (ROM-моделей)**. Эти инструменты способствуют оптимизации процессов моделирования и ускорению инженерных расчетов. В частности, для моделирования литиевых и твердотельных аккумуляторов CAE-системы дают возможность моделировать процессы износа и рассчитывать срок службы устройств, а также анализировать потенциал новых технологий. Глобальные разработчики активно работают над улучшением описания криволинейных поверхностей и кривых для повышения точности моделирования сложных геометрических объектов, включая новые методы оценки достоверности, такие как метрики Спрага-Гирса, коэффициент детерминации и др.

Российские CAE-системы развиваются с акцентом на расширение вычислительных возможностей и оптимизацию рабочих процессов. Разработчики уделяют внимание повышению степени адекватности описания физико-механических процессов и реальных объектов, путем добавления новых методов анализа нелинейностей и расширению функциональных возможностей для контроля данных. Важное значение имеют инструменты для оптимизации управления большими объемами данных. Внедрение нейросетей и цифровых двойников пока остается на этапе постепенного развития, больший упор делается на повышение производительности за счет применения суррогатных моделей и вычислительных возможностей.

В будущем использование суррогатных моделей откроет новые возможности для решения сложных задач, обеспечивая более быстрые и эффективные методы для анализа и оптимизации физико-механических процессов. Суррогатные модели, как упрощенные модели сложных систем, способны быстро получать результаты без необходимости выполнения ресурсоемких вычислений. Их применение включает оптимизацию, предварительный анализ, исследование чувствительности и ускорение процесса моделирования, что значительно сокращает время и затраты ресурсов при проектировании высокотехнологичных изделий.

Кроме того, использование цифровых двойников открывает новые перспективы для более глубокого анализа их работы в составе конструкции. Цифровые двойники могут использоваться для прогнозирования и оптимизации работы, моделирования сложных процессов, тестирования и предсказательного обслуживания, что позволяет предотвращать внеплановые простои и повышать общую производительность.

Таким образом, развитие зарубежных и отечественных CAE-систем в 2024 году сосредоточено на создании более точных, более функциональных и более адекватных математических и компьютерных моделей, способных с высокой степенью точности описывать сложным задачи в цифровом инжиниринге. Ожидается, что дальнейшие усовершенствования в области математического и компьютерного моделирования материалов, включая композиционные материалы, моделировании междисциплинарных (мультифизических) процессов и искусственного интеллекта станут приоритетными для повышения уровня CAE-систем, что позволит решать задачи все более высокой сложности в цифровом инжиниринге.

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

В рамках настоящей главы рассматриваются инвестиции, сделки M&A и проекты кооперации в области систем инженерного анализа (CAE) в России и в мире, а также планы по развитию CAE-систем в России.

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

Настоящий раздел посвящен анализу слияний и поглощений компаний-разработчиков CAE-систем в мире по состоянию на конец 2024 г. При этом в рамках данного раздела прежде всего рассматриваются последние актуальные действия компаний – лидеров мирового рынка, отражающие их текущую стратегию. В частности, актуализируется, уточняется и дополняется описанием функциональных изменений в продуктах компании информация, приведенная в экспертно-аналитическом докладе «Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем)» [171], подготовленном специалистами Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по состоянию на март 2024 г.

Ключевая информация о слияниях и поглощениях разработчиков систем инженерного анализа (CAE) в мире по состоянию на конец 2024 г. сведена в Таблицу 7.

Также необходимо отметить 2 крупнейших планируемых слияния и поглощения на рассматриваемом рынке:

- В 2024 г. американская компания Synopsys получила одобрение на приобретение Ansys за 35 млрд долл.
- В 2024 г. компания Siemens AG выразила намерение приобрести Altair Engineering Inc. за 10 млрд долл., ожидаемый срок сделки – первая половина 2025 г.

Таблица 7. Сведения о слияниях и поглощениях разработчиков CAE-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 Design Systems [172]       | 2024 | BETA CAE [173]                      | ~1,24 млрд долл. [174] | Дополнение портфеля Intelligent System Design [175], расширение набора инструментов для анализа мультифизических систем, в т.ч. за счет таких продуктов, как ANSA [176] (передовой многопрофильный инструмент преобработки, который предоставляет в единой интегрированной среде все |

| № | Наименование компании разработчика   | Год  | Наименование приобретенной компании            | Сумма сделки          | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                        |
|---|--------------------------------------|------|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |      |                                                |                       | необходимые функции для создания полной модели, от CAD-данных до готового к запуску входного файла решателя), META [177] (универсальный многоцелевой пост-процессор) и др.                                                                                                                                      |
| 2 | Cadence Design Systems [178]         | 2024 | Invecas [179]                                  | ~71,4 млн долл. [180] | Расширение и дополнение портфеля Cadence за счет функциональных возможностей и экспертизы Invecas в части проектирования, встроенного программного обеспечения и решений системного уровня, в том числе – интеграция EDA-решений Invecas                                                                        |
| 3 | Cadence Design Systems [181; 182]    | 2022 | Future Facilities (FFG Holdings Limited) [183] | ~100 млн долл. [184]  | Расширение портфеля решений Cadence в части мультифизического системного анализа и вычислительной гидродинамики (CFD), а также анализа охлаждения электроники и оптимизации энергопотребления при проектировании и эксплуатации центров обработки данных с использованием цифровых двойников на базе 3D-моделей |
| 4 | Cadence Design Systems [185] – [186] | 2021 | NUMECA [187]                                   | ~200 млн долл. [188]  | Расширение портфеля Cadence в части системного анализа за счет решений в области вычислительной гидродинамики (CFD), в частности дополнение и расширение возможностей инструментов Cadence для системного анализа интегральных схем (ИС), электронных подсистем и полных системных конструкций                  |
| 5 | Cadence Design Systems [189]         | 2021 | Pointwise [190]                                | ~31,4 млн долл. [191] | Расширение портфеля Cadence в части системного анализа, дополняющее возможности NUMECA и мультифизические продукты Cadence, такие как Clarity™ 3D Solver для электромагнитного моделирования, Clarity 3D Transient Solver для моделирования ЭМ на                                                               |

| № | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|------------------------------------|------|-------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                    |      |                                     |              | уровне системы с конечными разностями во временной области (FDTD) и Celsius™ Thermal Solver для совместного электротермического моделирования. Технологии Pointwise обеспечивают генерацию сеток и предварительную обработку данных, в т.ч. поддерживают импорт данных ключевых CAD-форматов и экспорт данных в более 40 форматов CAE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 6 | Altair Engineering                 | 2024 | Research in Flight                  | Н/Д          | <p>Приобретение компании Research in Flight, позволит интегрировать в портфель Altair систему FlightStream®, которая предоставляет программное обеспечение для вычислительной гидродинамики (CFD) с большим присутствием в аэрокосмическом и оборонном секторе и растущим присутствием в морских, энергетических, турбомашинных и автомобильных приложениях</p> <p>FlightStream® – это удобный в использовании и мощный решатель потоков, который устраняет разрыв между высокоточным моделированием CFD и потребностями инженеров и конструкторов. Исключительно высокая скорость вычислений и малая занимаемая площадь оборудования в сочетании с оптимизированным пользовательским интерфейсом и надежным аэродинамическим решателем делают его бесценным инструментом для быстрых проектных и глубоких аэродинамических исследований на ранних стадиях для аэрокосмической и оборонной промышленности и не только. FlightStream® может описывать потоки от дозвуковых до сверхзвуковых, включая сжимаемые эффекты</p> |

| № | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|------------------------------------|------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                    |      |                                     |              | и уникальную функцию поверхностного вихря. Он использует сильные стороны решателей потоков панельного метода и усиливает их с помощью современных вычислительных технологий, чтобы обеспечить быстрый решатель, способный обрабатывать сложные аэродинамические явления [192]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 7 | Altair                             | 2023 | OmniQuest                           | Н/Д          | <p>Приобретение компании OmniQuest, специализирующейся в сфере ИИ, позволит компании Altair включить в портфель своих продуктов разработанную OmniQuest систему Genesis – передовое программное обеспечение для структурного анализа и оптимизации, которое использует метод конечных элементов для решения задач с большим количеством переменных и ограничений</p> <p>Возможности анализа Genesis включают статический, нормальный режимы, прямой и модальный частотный анализ, случайный отклик, теплопередачу, акустический и усталостный анализ. Типы оптимизации конструкций включают оптимизацию размеров, формы, топологии, топографии, топографии и свободной формы. Genesis также поддерживает метод эквивалентных статических нагрузок (Equivalent Static Load Method, ESLM) для анализа нелинейного поведения конструкций, способный работать вместе с популярными сторонними решателями для анализа FEA [193]</p> |
| 8 | Altair                             | 2022 | Gen3D                               | Н/Д          | Приобретенная Altair компания Gen3D, стартап из Университета Бата (Великобритания) –                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| №  | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------|------|-------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                    |      |                                     |              | <p>специализируется на описании очень сложных геометрических структур, таких как решетчатые структуры в аддитивном производстве (Additive Manufacturing, AM).</p> <p>Технология Gen3D использует методы неявного моделирования нового поколения для быстрого создания сложной геометрии, которая не может быть реализована с помощью традиционных подходов к твердотельному представлению границ (Boundary Representation, BREP). Это позволяет проектировать компоненты, просто указав функциональные требования к детали (нагрузки, отверстия для крепежа, зоны удержания, каналы для потока жидкости и т. д.). Кроме того, технология автоматически отсеивает геометрии компонентов, которые могут вызвать проблемы при последующем производстве [194]</p> |
| 9  | Altair                             | 2020 | M-Base                              | Н/Д          | <p>Приобретение M-Base Engineering + Software GmbH, ведущего международного поставщика баз данных материалов и информационных систем по материалам со специализацией в сфере пластмасс, позволит Altair предложить наиболее полную, высокоточную базу данных по пластмассам, доступную на рынке, которая будет напрямую связана с мощными решателями Altair [195]</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 10 | Ansys                              | 2023 | ESSS/Rocky DEM                      | Н/Д          | <p>Программное обеспечение Rocky DEM, включенное в состав портфеля продуктов Ansys, может моделировать широкий спектр отраслевых приложений, связанных с сыпучими материалами и</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| №  | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании              | Сумма сделки          | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|------------------------------------|------|--------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                    |      |                                                  |                       | процессами обработки твердых тел, позволяя пользователям оценить динамическое поведение частиц и соответствующего оборудования на ранней стадии проектирования. Более глубокая интеграция с экосистемой Ansys расширяет возможности механики частиц до приложений, в которых используются инструменты анализа структуры и жидкости в Ansys [196]                                                                                                                                  |
| 11 | Ansys                              | 2022 | DYNAmore's                                       | \$140 млн долл. [197] | Ansys добавит опыт DYNAmore в области маркетинга и разработки к своим существующим командам по продажам, проектированию, исследованиям и разработкам. В DYNAmore также работает команда разработчиков, которые помогают в разработке ядра LS-DYNA, а также моделей манекенов и человеческих тел. После закрытия сделки Ansys добавит опыт DYNAmore в области маркетинга и разработки к своим существующим командам по продажам, проектированию, исследованиям и разработкам [198] |
| 12 | Ansys                              | 2022 | CRTech                                           | Н/Д                   | Включение Thermal Desktop от CRTech в портфель продуктов Ansys поможет совместно решать задачи с решениями Ansys по вычислительной гидродинамике (CFD) с помощью Ansys System Coupling [199]                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 13 | Ansys                              | 2019 | Livermore Software Technology Corporation (LSTC) | 775 млн долл. [200]   | Приобретение Livermore Software Technology Corp. с базовым продуктом LS DYNA позволит пользователям Ansys решать новый класс инженерных задач, включая разработку более безопасных автомобилей, самолетов и поездов, сокращая или даже исключая                                                                                                                                                                                                                                   |

| №  | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки        | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|------------------------------------|------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                    |      |                                     |                     | необходимость в дорогостоящих физических испытаниях [201]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 14 | Ansys                              | 2019 | Dynardo                             | 779 млн долл. [202] | В результате приобретения Dynardo, ведущего поставщика технологий интеграции процессов моделирования и оптимизации проектирования (Process Integration and Design Optimization, PIDO), специализирующегося на передовых алгоритмах для оптимизации, количественной оценки неопределенности, обеспечения надежности, анализа чувствительности, построения рабочих процессов моделирования и поиска данных, пользователи Ansys получают доступ к полному набору инструментов для интеграции процессов и надежного проектирования [203]                                                                                                                   |
| 15 | Hexagon                            | 2021 | CADLM SAS                           | Н/Д                 | Приобретение компании CADLM SAS, пионера в области внедрения автоматизированного проектирования с искусственным интеллектом и машинным обучением, позволит Hexagon интегрировать в свой портфель продуктов программную платформу ODYSSEE, применяющую данные технологии к данным датчиков реального мира и данным физического моделирования для создания точных, прогностических моделей продукта. Такое сочетание позволяет быстрее и эффективнее моделировать динамические, мультифизические явления, такие как дорожно-транспортные происшествия и безопасность автомобилей, которые отображают поведение реальных изделий с высокой полнотой [204] |

| №  | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------------------------------------|------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16 | Hexagon                            | 2020 | Romax Technology Limited            | Н/Д          | <p>Приобретении компании Romax Technology Ltd., ведущего поставщика программного обеспечения для автоматизированного проектирования электромеханических трансмиссий позволит компании Hexagon включить в свой портфель продуктов платформу Romax Nexus.</p> <p>Платформа Romax Nexus, основанная на облачных технологиях модели-ориентированного системного инжиниринга (Model Based System Engineering, MBSE), обеспечивает полный рабочий процесс для проектирования и моделирования следующего поколения энергоэффективных систем привода и выработки электроэнергии, позволяя инженерам взаимодействовать и оптимизировать электрические и механические конструкции одновременно.</p> <p>Моделирование работы всей системы (двигателя, зубчатых передач, подшипников и корпусов) позволяет улучшить эффективность двигателей автомобилей и аэрокосмической техники, а также силовых агрегатов ветроэнергетических установок [205]</p> |
| 17 | Siemens                            | 2022 | ZONA Technology, Inc                | Н/Д          | <p>Покупка компании ZONA Technology, Inc., известного специалиста в области решений для аэроупругого моделирования, позволит компании Siemens добавить технологии ZONA Technology, Inc. в портфель Xcelerator, что поможет пользователям увеличить эффективность работы с данными, ускорить внедрение инновационных решений и обеспечить своевременную и экономически эффективную разработку более надежных</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| №  | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------------------------------------|------|-------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                    |      |                                     |              | продуктов в аэрокосмической сфере [206].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 18 | Siemens                            | 2022 | Avery Design Systems                | Н/Д          | Приобретение Avery Design Systems расширит корпоративную платформу верификации Siemens, за счет добавления продуктов Avery's Verification Protocol и Compliance Test Suite. С использованием решения Siemens для верификации в циклах моделирования и прототипирования при разработке электроники пользователи смогут оптимизировать качество и сократить время выхода на рынок [207]                                                                                      |
| 19 | Siemens                            | 2021 | OneSpin                             | Н/Д          | Приобретение Siemens OneSpin Solutions дополняет портфель Siemens решениями для проверки целостности микросхем, исключительным ноу-хау и широким портфелем приложений для автоматизированной формальной проверки микросхем [208]                                                                                                                                                                                                                                           |
| 20 | Siemens                            | 2021 | Fractal Technologies                | Н/Д          | Приобретение Fractal Technologies добавляет в портфель технологий Siemens возможности по высококачественной проверке микросхем на производстве, для помощи пользователям в повышении качества полупроводников и сокращения времени выхода на рынок. Технология Fractal будет интегрирована в семейство продуктов Solido компании Siemens; функциональные возможности EDA, основанные на машинном обучении, будут расширены на область проверки целостности микросхем [207] |
| 21 | Siemens                            | 2021 | Nextflow Software                   | Н/Д          | Приобретение Nextflow Software, независимого поставщика передовых решений в области вычислительной гидродинамики (CFD) на                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| №  | Наименование компании разработчика | Год  | Наименование приобретенной компании | Сумма сделки | Описание функционального изменения (дополнения) в продуктах компании, возникшего после заключения сделки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|------------------------------------|------|-------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                    |      |                                     |              | основе частиц, позволят расширить портфель программного обеспечения Simcenter™, входящий в портфель программного обеспечения и услуг Siemens Xcelerator™, возможностями быстрого CFD для автомобильной, аэрокосмической и морской промышленности [209]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 22 | Siemens                            | 2020 | Avatar Integrated Systems           | Н/Д          | <p>Приобретение Avatar Integrated Systems Inc. расширяет возможности продукта Xcelerator компании Siemens, увеличивая текущие предложения по проектированию интегральных схем за счет новаторского программного обеспечения для размещения и маршрутизации для передового узлового проектирования.</p> <p>Avatar была интегрирована с существующими лидирующими на рынке продуктами компании Mentor, подразделения Siemens, включая платформу Calibre®, программное обеспечение Tessent™ и программное обеспечение Catapult™ HLS, чтобы помочь пользователям разрабатывать решения для текущих и перспективных задач [210].</p> |
| 23 | AspenTech                          | 2020 | OptiPlant                           | Н/Д          | <p>Покупка OptiPlant, поставщика решений для владельцев-операторов и ЕРС-компаний в перерабатывающей промышленности, позволит AspenTech включить в свой портфель решения OptiPlant для ускорения разработки концептуальных и фронтальных инженерных проектов [211].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Корпоративные поглощения в сфере технологий CAE демонстрируют стремление лидеров рынка к построению максимально широкого предложения, включающего узкоспециализированные

решения, внимание к технологиям ИИ и ROM и растущее значение проектирования электроники для европейских и американских компаний.

#### 4.2. Проекты кооперации российских разработчиков

Настоящий подраздел посвящен анализу проектов кооперации российских разработчиков CAE-систем по состоянию на конец 2024 г. В этом подразделе в первую очередь анализируются кооперации компаний, являющихся лидерами на российском рынке. В частности, актуализируется, уточняется и дополняется информация, приведенная в экспертно-аналитическом докладе «Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем)» [171], подготовленном специалистами Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по состоянию на март 2024 г. Сведения о проектах кооперации российских разработчиков систем инженерного анализа (CAE) по состоянию на конец 2024 г. приведены в Таблице 8.

Таблица 8. Перечень проектов кооперации российских разработчиков

| № | Наименование консорциума                                                       | Год создания | Участники                                                                                                                                                              | Цель                                                                                                                                                                                                                                          | Результаты (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Консорциум разработчиков инженерного программного обеспечения «РазВИТие» [212] | 2015         | Команда: ГК АС-КОН, ООО «ТЕСИС», ООО «ЭРЕМЕКС», ГК АДЕМ, ООО НТЦ «АПМ», ЗАО «СИГМА Технологии».<br>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. PLM-комплекс подразумевает тесную интеграцию CAD-, EDA-, CAE-, CAM- и PDM-систем. | Консорциум «РазВИТие» планомерно реализует стратегию создания тяжелого PLM-решения, развивая функциональность программных продуктов. Дорожная карта развития PLM-комплекса предполагает путь от работы с общим машиностроением к проектированию сложных конечных изделий и решению задач авиа- и судостроения.<br><b>FlowVision</b> [213]<br>CAE-пакет для междисциплинарного моделирования устройств и физических процессов.<br>Решатель, пре- и постпроцессор – все компоненты работают на отечественных операционных системах.<br>Подтверждена совместимость с ОС «Альт», РЕД ОС и Astra Linux [214].<br>3D-визуализация обеспечивается российским программным компонентом C3D Vision. |

| № | Наименование консорциума | Год создания | Участники | Цель | Результаты (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|--------------------------|--------------|-----------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                          |              |           |      | <p>Позволяет моделировать:</p> <p>Внутренние течения и внешнее обтекание.</p> <p>Излучение и теплообмен, в том числе сопряженный.</p> <p>Химические реакции и горение.</p> <p>Многофазные течения (с частицами или с поверхностью раздела фаз).</p> <p>Взаимодействие жидкости и конструкции (FSI).</p> <p>Электромагнитные гидродинамические процессы.</p> <p><b>APM WinMachine [215]</b></p> <p>CAE-система автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения.</p> <p>Работает на российских операционных системах на базе Linux через приложение WINE [214].</p> <p>Вертикально-интегрированная структура компоновки продукта, что позволяет разработчикам организовывать бесшовные связи между расчетными модулями для решения сложных производственных задач.</p> <p>Продукт построен по модульной схеме, что обеспечивает удобство его использования под узконаправленные отраслевые задачи машиностроения.</p> <p><b>Платформа IOSO [216]</b></p> <p>Масштабируемое решение для организации оптимизационных инженерных расчетов в смешанной вычислительной сети.</p> |

| № | Наименование консорциума                               | Год создания | Участники                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Цель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Результаты (при наличии)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                        |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>Эффективно работает в смешанных вычислительных сетях, что позволяет максимизировать вычислительные возможности многопроцессорных систем [216].</p> <p>Предлагает простой трехшаговый алгоритм работы, который облегчает интеграцию математических моделей и автоматизацию процесса поиска оптимальных решений [217].</p> <p>Легко интегрируется с различными CAD-системами, что позволяет пользователям эффективно управлять процессом проектирования и оптимизации в одном рабочем пространстве [217].</p>                                                                                                                                                                              |
| 2 | Консорциум разработчиков и потребителей CAD/CAE-систем | 2021         | <p>ИТ-компании, предприятия атомной отрасли, ОПК, авиастроения, машиностроения, аэрокосмической отрасли, а также институты Российской академии наук и университеты.</p> <p>Инициатор: госкорпорация «Росатом».</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ООО «Русатом – Цифровые решения»</li> <li>2. ФГУП «РФЯЦ «ВНИИЭФ»</li> <li>3. АО «Инженерно-технический центр «Джэт»</li> </ol> | <p>Цель: обеспечение технологической независимости российской промышленности в области систем суперкомпьютерного (математического) моделирования и инженерного анализа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-создание Национальной CAD/CAE-платформы путем взаимной интеграции программных решений;</li> <li>-объединение научно-технических знаний, навыков и</li> </ul> | <p>Участники консорциума формируют функционально-технические требования и создают вычислительную платформу для математического моделирования режимов работы оборудования, на которую любой отечественный разработчик может интегрировать либо фрагмент программного обеспечения, либо полноценное ПО классов CAD и CAE.</p> <p>Базой для интеграции является вычислительная платформа «Логос Платформа» [218].</p> <p>Консорциум сосредоточен на разработке и внедрении отечественного программного обеспечения CAD/CAE, что является частью более широкой государственной стратегии по поддержке промышленных потребителей и разработчиков в условиях санкционного давления [219; 220]</p> |

| № | Наименование консорциума | Год создания | Участники                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Цель                                                                                                              | Результаты (при наличии) |
|---|--------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|   |                          |              | 4. ЗАО «Топ системы»<br>5. ООО «ЗВ Сервис»<br>6. ООО «Фидесис»<br>7. АО «ОКБ «Аэрокосмические системы»<br>8. АО «Цифровая мануфактура»<br>9. ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова»<br>10. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН<br>11. АО ГНЦ «Центр Келдыша» (Роскосмос)<br>12. АО «КБСМ» (Алмаз-Антей)<br>13. ООО «Датадванс»<br>14. ООО «НИИ «АСОНИКА»<br>15. ООО «НТЦ «ДИП»<br>16. АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»<br>17. ООО «АвтоМеханика»<br>18. ООО «Оптименга-777»<br>19. Институт теплофизики имени | компетенций для достижения и превосходства функциональных возможностей над зарубежными вычислительными системами. |                          |

| № | Наименование консорциума | Год создания | Участники                                                                                                                                                                                                                    | Цель | Результаты (при наличии) |
|---|--------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------|
|   |                          |              | С. С. Кутателадзе<br>Сибирского отделения РАН<br>20. АО «ЦКБ МТ «Рубин»<br>21. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е. И. Забабахина» (Росатом)<br>22. Иркутский государственный университет путей сообщения<br>23. ООО «Адванс Инжиниринг» |      |                          |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

В настоящее время в области систем инженерного анализа в России действует два консорциума:

- Консорциум разработчиков и потребителей CAD/CAE-систем – профильное масштабное объединение, призванное мобилизовать представителей рынка для решения государственной задачи по обеспечению цифровой независимости российской экономики в области инженерного ПО (прежде всего, предприятий стратегических отраслей промышленности);
- Консорциум разработчиков инженерного программного обеспечения «РазВИТие» – объединение вендоров – лидеров российского рынка инженерного ПО, совместно формирующих сквозную платформу для управления жизненным циклом продукта, включающую блок-систем инженерного анализа.

Основная деятельность консорциумов сфокусирована на разработке и внедрении отечественных CAD/CAE-систем и выступает основой государственной стратегии по поддержке промышленных потребителей и разработчиков в условиях санкционного давления.

### 4.3. Планы по развитию CAE-систем в России

Настоящий подраздел посвящен анализу планов по развитию CAE-систем в России. В этом подразделе анализируются дальнейшие планы компаний, являющихся лидерами на российском рынке. В частности, актуализируется, уточняется и дополняется информация, приведенная в экспертно-аналитическом докладе «Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем)» [171], подготовленном специалистами Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по состоянию на март 2024 г. Сведения о планах развития систем инженерного анализа (CAE) отечественными разработчиками по состоянию на конец 2024 г. приведены в Таблице 9.

Таблица 9. Планы по развитию систем отечественными разработчиками

| № | Наименование разработчика                                            | Сроки     | Описание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|----------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Консорциум разработчиков и потребителей CAD/CAE-систем, ГК «Росатом» | 2021-2030 | <p>Основные планы консорциума включают:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Создание Национальной CAD/CAE-платформы для интеграции программных решений.</li> <li>Разработка высококласного программного обеспечения, способного конкурировать на международном рынке [221].</li> <li>Устранение зависимости от зарубежных CAE-систем, с целью снижения их доли до 20% к 2027 году и полного исключения импорта к 2030 году. [222; 223].</li> <li>Занять треть доступного международного рынка CAE-систем, объем которого к 2030 году прогнозируется в 19,2 млрд долл. [224].</li> </ul> <p>Заданные планы по годам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>К 2024 году обеспечить замену 60% функционала зарубежных CAE-решений.</li> <li>К 2027 году заместить 80% функционала.</li> <li>К 2030 году достичь 100% импортозамещения и выйти на мировое лидерство в этом сегменте.</li> </ul> <p>Таким образом, ГК «Росатом», объединив усилия с ведущими ИТ-компаниями, ставит амбициозную цель стать мировым лидером на рынке CAE-систем к 2030 году за счет полного импортозамещения и экспансии на международные рынки.</p> |
| 2 | ГК АСКОН, Консорциум «РазВИТие»                                      | 2021-2025 | ГК АСКОН вместе с партнерами по консорциуму «РазВИТие» работает над переводом своих решений на импортонезависимые программно-аппаратные платформы. В первую очередь речь идет о совместимости с отечественными операционными системами, базирующимися на ядре Linux. План миграции на новую платформу был разработан в 2021 году, с подробной дорожной картой выхода Linux-версий по годам. Сейчас ряд продуктов консорциума уже напрямую поддерживают Linux, другие работают в среде Wine или проходят этап тестирования. В 2025 году планируется перенести APM FEM для Компас-3D [225].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 3 | ГК АСКОН, Консорциум «РазВИТие»                                      | 2021-2025 | Решение для проектирования сложных головных изделий было выпущено в 2021 году. В планах до 2023-2025 года – работа над отраслевыми версиями для авиации и судостроения [226].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

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

- ГОСТ 19.202-78 «ЕСКД. Спецификация. Требования к содержанию и оформлению».

- ГОСТ 19.401-78 «ЕСКД. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению».
- ГОСТ 2.103-2013 «ЕСКД. Стадии разработки».
- ГОСТ Р 51904-2002 «Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию».
- ГОСТ Р 70201-2022 «САПР электроники. Оптимальное сочетание натурных и виртуальных испытаний электроники на надежность и внешние воздействующие факторы. Требования и порядок проведения при выполнении технического задания на НИОКР».
- ГОСТ Р 70290-2022 «САПР электроники. Термины и определения».
- ГОСТ Р 70291-2022 «САПР электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной аппаратуры».
- ГОСТ Р 70292-2022 «САПР электроники. Подсистема автоматизированного создания карт рабочих режимов электронной компонентной базы».
- ГОСТ Р 70293-2022 «САПР электроники. Подсистема автоматизированного анализа показателей надежности электронной аппаратуры».
- ГОСТ Р 70607-2022 «САПР электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования печатных узлов».
- ГОСТ Р 70608-2022 «САПР электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной компонентной базы».
- ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 «Роботы и робототехнические устройства. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехники на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла. Роботы и робототехнические устройства. Метод математического моделирования показателей надежности и виртуализации испытаний на надежность базовых элементов робототехнических комплексов при проектировании».
- ГОСТ Р 60.0.7.4-2020 «Роботы и робототехнические устройства. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на электромагнитные воздействия при проектировании».
- ГОСТ Р 60.0.7.5-2020 «Роботы и робототехнические устройства. Методы построения баз данных электрорадиоизделий и конструкционных материалов для математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла» [171].

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

Развитие систем инженерного анализа (CAE) и расширение их использования при проектировании высокотехнологичной продукции – долгосрочный технологический тренд, поддерживаемый как новыми технологическими возможностями CAE-систем, так и возрастающим спросом на компьютерное моделирование. В данной главе рассматриваются новые крупные проекты в области CAE-систем в России и мире.

5.1. Проекты в России

В настоящее время работы по развитию российских CAE-систем, несмотря на тенденции, связанные с государственной политикой импортозамещения, находятся на относительно ранней стадии. Значительная часть предприятий использует иностранные средства CAD/CAE, закупленные с бессрочной лицензией, что позволяет вести высокотехнологические разработки, до появления российских продуктов аналогичного класса. В то же время, в рассматриваемой области разворачивается ряд крупных проектов, основная информация о которых сведена в Таблицу 10.

Таблица 10. Обзор крупных проектов в области CAE-систем в России

| № | Наименование проекта                                                                  | Участники проекта                      | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                    | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Переход на отечественное программное обеспечение Fidesys                              | ПАО «Аэрофлот», Fidesys                | 2024            | Задача: переход на инновационное отечественное программное обеспечение для проведения прочностного анализа и инженерного обоснования конструкторских решений в части ремонтов и модификаций самолетов отечественного и зарубежного производства [227]                           | Н/Д                           |
| 2 | Проект внедрения IT-решения на базе пакета программ инженерного анализа «Логос» [228] | ГК «Росатом», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева | 2023            | Цель: обеспечение технологической независимости предприятия от зарубежных информационных систем, сокращение сроков и стоимости экспериментальной отработки изделий ракетно-космической техники, снижение количества доработок на ранних этапах проектирования за счет получения | Грант РФРИТ – 23,7 млн руб.   |

| № | Наименование проекта                                                              | Участники проекта                          | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Суммы привлеченных инвестиций      |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|   |                                                                                   |                                            |                 | дополнительной информации с помощью математического моделирования [228]                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                    |
| 3 | Внедрение САЕ-системы «Логос» в «Центре Келдыша» [229]                            | ГК «Росатом», АО ГНЦ «Центр Келдыша»       | 2023            | Цель: создание на предприятиях ракетного двигателестроения единой среды математического и суперкомпьютерного моделирования, автоматизации вычислений и решения оптимизационных задач посредством внедрения отечественных решений, сокращение объемов экспериментальной отработки, уменьшение сроков разработки изделий и парирование аварийных и нештатных ситуаций [229] | Общая сумма – 398,4 млн руб. [230] |
| 4 | Внедрение программ компании T-FLEX в учебный процесс кафедры КиПДЛА.              | T-FLEX, КиПДЛА                             | 2022            | Цель: освоение программного комплекса T-FLEX Анализ для моделирования поршневого ДВС на базе одной группы студентов в рамках летней ознакомительной практики [231]                                                                                                                                                                                                        | Н/Д                                |
| 5 | Стратегическое партнерство компаний «Моделирование и цифровые двойники» и Фидесис | Моделирование и цифровые двойники, Fidesys | 2022 – н.в.     | Совместное развитие программных продуктов Fidesys, разработка прикладных вертикальных решений на его основе, интеграция разрабатываемых решений с другими отечественными САЕ-системами для решения инженерно-физических задач                                                                                                                                             | Н/Д                                |
| 6 | Внедрение системы виртуального моделирования на базе пакета программ              | ГК «Росатом», ФГУП «Крыловский             | 2022 – н.в.     | Цель: внедрение в научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Общая сумма – 126 млн. руб.        |

| № | Наименование проекта                                                                                                                                                                                                                                  | Участники проекта                                          | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|   | инженерного анализа «Логос»                                                                                                                                                                                                                           | государственный научный центр»                             |                 | ФГУП «Крыловский государственный научный центр» импортонезависимого конкурентоспособного отечественного программного обеспечения инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования (CAE) в интересах судостроительной отрасли                                                                                                                                   |                               |
| 7 | Внедрение системы динамического моделирования технических систем на базе программного комплекса SimInTech с адаптацией программного обеспечения для решения задач создания энергетических установок объектов морской техники с электродвижением [232] | SimInTech, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» | 2023 – н.в.     | Цель: внедрение в судостроительную отрасль импортонезависимого конкурентоспособного отечественного программного обеспечения для динамического моделирования технических систем на базе программного комплекса SimInTech, адаптированного под задачи создания энергетических установок объектов морской техники с электродвижением [232]                              | Общая сумма – 160 млн. руб.   |
| 8 | Внедрение программно-аппаратного комплекса виртуального моделирования на базе отечественных суперкомпьютерных решений в обеспечение деятельности приоритетного технологического направления                                                           | ФАУ «ЦАГИ»                                                 | Н/Д-2025        | Внедрение на предприятиях ОПК программно-аппаратного комплекса виртуального моделирования на базе отечественных суперкомпьютерных решений в обеспечение деятельности приоритетного технологического направления. Единая экосистема CAD-CAE анализа, позволяющая в замкнутом цикле проводить разработку и определение характеристик изделий аэрогидросредной техники. | 210 млн руб.                  |

| № | Наименование проекта                                                                                    | Участники проекта                                                                                     | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|   |                                                                                                         |                                                                                                       |                 | <p>В рамках данного проекта планируется тиражирование ПАК ПТН на предприятиях, работающих по приоритетному технологическому направлению, развитие его функциональных возможностей в части пре-, постпроцессинга и согласованного управления расчетными и инженерными данными, что позволит обеспечить переход на отечественные программные решения и как следствие технологический суверенитет при разработке изделий аэрогидросредной техники.</p> <p>Снижение финансовых затрат, рисков и сроков при разработке изделий аэрогидросредной техники, выбор оптимальных, достаточно проработанных технических решений при проектировании изделий аэрогидросредной техники и повышение эффективности разработки путем согласованного использования форматов инженерных данных в процессе CAD-CAE анализа.</p> |                               |
| 9 | Внедрение и доработка средств математического моделирования на предприятиях ракетного двигателестроения | <p>АО ГНЦ «Центр Келдыша»</p> <p>ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»</p> <p>ООО «ЗВ Сервис»</p> <p>ООО «Датадванс»</p> | Н/Д-2025        | <p>Снижение количества конструкторских ошибок при выборе технических решений на ранних этапах разработки</p> <p>Снижение аварийных ситуаций при отработке и эксплуатации изделий</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 398,4 млн руб.                |

| № | Наименование проекта | Участники проекта                                                                                 | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|   |                      | АО «Конструкторское бюро химавтоматики»<br>АО «КТРВ»<br>АО «НПО Энергомаш»<br>АО «ТРВ-инжиниринг» |                 | Исключение срыва сроков разработки изделий<br>Создание на предприятиях ракетного двигателестроения единой среды математического и суперкомпьютерного моделирования, автоматизации вычислений и решения оптимизационных задач на базе отечественных решений.<br><br>Расширение функциональных возможностей «Логос» для решения специализированных задач ракетного двигателестроения, расширение базы данных по свойствам материалов.<br><br>Расширение функциональности «SimInTech» по моделированию элементов ракетных двигателей, расширение баз данных веществ и материалов. |                               |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Ключевые отечественные проекты в области систем инженерного анализа (CAE) направлены на обеспечение перехода к отечественному промышленному программному обеспечению в критически значимых отраслях, таких как энергетика, в т.ч. атомная энергетика, авиационная промышленность, судостроение, двигателестроение и др.

## 5.2. Проекты за рубежом

В международном пространстве проекты развития и внедрения CAE-систем реализуются в основном в двух форматах. Во-первых, проекты технологических альянсов между крупными ИТ-компаниями, специализирующимися на разработке CAD/CAE/CAM и PDM-систем и компаниями, обладающими специализированной экспертизой в сфере визуализации, искусственного интеллекта. Во-вторых, проекты альянсов между разработчиками CAE-систем и крупными промышленными компаниями, специализирующимися на продукции высокотехнологичного машиностроения. Обзор крупных зарубежных проектов в рассматриваемой области представлен в Таблице 11.

Таблица 11. Обзор крупных проектов в области CAE-систем в мире

| № | Наименование проекта                                                                          | Участники проекта    | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Партнерство Siemens и BAE Systems с целью ускорения цифровых инноваций [233]                  | Siemens, BAE Systems | 2024-2029       | Планы: пятилетнее соглашение направлено на изучение и разработку стратегического плана развития инженерных возможностей будущего и фабрик будущего в рамках проектных и производственных дисциплин в компании BAE Systems с использованием CAD/CAE/CAM системы Siemens NX                                                 | Н/Д                           |
| 2 | Партнерство между корпорациями Siemens и Sony для создания иммерсивной инженерной среды [234] | Siemens, Sony        | 2023-2024       | Цель: Создание интегрированного решения, объединяющее программное обеспечение NX от Siemens и технологии Sony, для иммерсивного дизайна и совместного проектирования изделий, интегрированное во флагманское решение Siemens для проектирования изделий                                                                   | Н/Д                           |
| 3 | Партнерство между компаниями Ansys и NVIDIA [235]                                             | Ansys, NVIDIA        | 2024 – нв       | Цель: развитие решений для моделирования на основе передовых технологий, таких как вычислительные технологии и генеративный искусственный интеллект; поддержка разработки систем связи 6G, цифровых двойников, симуляторов нового поколения, автономных транспортных средств, улучшенной графики и визуального рендеринга | Н/Д                           |
| 4 | Партнерство между                                                                             | LG Innotek, Ansys    | 2024            | Цель: внедрение компанией LG Innotek                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Н/Д                           |

| № | Наименование проекта                                                        | Участники проекта    | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|   | корпорациями LG Innotek и Ansys в области создания цифровых двойников [236] |                      |                 | технологий цифровых двойников во всех своих процессах производства и проектирования электрических компонентов, с использованием решений компании Ansys в сфере инженерного моделирования                                                                                                                                                                                                  |                               |
| 5 | Партнерство между корпорациями Ansys и Microsoft [237]                      | Ansys, Microsoft     | 2024            | Цель: перенос моделирования ANSYS непосредственно в облачную платформу Microsoft, что должно позволить пользователям выполнять сложные моделирования без использования мощного локального оборудования, используя вычислительные мощности Azure. Также в сотрудничестве с Microsoft компанией Ansys был создан свой генеративный ИИ Ansys GPT                                             | Н/Д                           |
| 6 | Партнерство между компаниями Autodesk и Modulworks [238].                   | Autodesk, Modulworks | 2022            | Цель: предоставление продуктам Autodesk постоянного доступа к передовым алгоритмам расчетов CAD/CAM, разработанным специалистами ModuleWorks. Интегрированные в Fusion 360 от Autodesk, компоненты ModuleWorks дополняют существующие возможности Fusion 360 и будут использоваться для постоянного повышения производительности, качества и функциональности рабочих процессов цифрового | Н/Д                           |

| № | Наименование проекта                                                                                          | Участники проекта         | Годы реализации | Цель и планы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Суммы привлеченных инвестиций |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|   |                                                                                                               |                           |                 | производства, сохраняя при этом привычный пользовательский опыт                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                               |
| 7 | Партнерство между Hexagon и JSOL Corporation в области проектирования силовых агрегатов электромобилей [239]. | Hexagon, JSOL Corporation | 2023 – н.в.     | Цель: Ускорение создания виртуальных прототипов электрифицированных силовых агрегатов с помощью мультифизического моделирования.<br>Партнерство будет развиваться по нескольким ключевым направлениям, чтобы улучшить стратегии проектирования электромобилей и обеспечить более эффективную и гармоничную разработку продукции. Основное внимание будет уделено решению проблемы шума, вибрации и жесткости, что позволит инженерам улучшить комфорт продукта и снизить уровень шума благодаря инновационным корректировкам конструкции на основе моделирования | Н/Д                           |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Можно утверждать, что внедрение и развитие CAE-систем в целом следуют общим для рынка инженерного программного обеспечения тенденциям: формированию кросс-отраслевых партнерств с целью применения технологий искусственного интеллекта, совершенствованию CAE-продуктов за счет внедрения новых технологий визуализации и виртуальной реальности и развитию узконаправленных CAE-решений под отраслевые задачи, при наличии крупных проектов в технологической промышленности, способной окупить подобные инвестиции.

## **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 инженерного анализа (CAE).

### **6.1. Анализ нормативно-правовой базы регулирования в России**

В последние годы развитие информационных технологий в целом и промышленного программного обеспечения в частности относится к числу высоких государственных приоритетов. Внимание к сфере промышленных ИТ-технологий дополнительно усиливается с увеличением геополитической напряженности и необходимостью преодолевать последствия санкционных ограничений. Развитие российских систем инженерного анализа (CAE) мирового уровня и их доступность для российской промышленности можно отнести к числу ключевых условий достижения технологического суверенитета. В данном контексте нормативно-правовая база, регулирующая рассматриваемую область, дополняется и обновляется с целью стимулирования разработки и внедрения отечественных решений. При анализе нормативно-правовой базы регулирования сферы промышленного программного обеспечения в России в контексте поддержки развития систем инженерного анализа, необходимо учитывать, что промышленное (индустриальное) программное обеспечение (ППО), регулируется нормативно-правовыми актами (НПА) общими для всей сферы программного обеспечения.

В частности, среди верхнеуровневых НПА, регулирующих сферу промышленного программного обеспечения (в том числе – сферу CAE-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 наукоёмких 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 CAE-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 CAE-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, образующим 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.)).
- 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.)).

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

- ГОСТ Р 57412-2017. «Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий». Стандарт устанавливает общие требования к компьютерным моделям, их классификации и применению на всех стадиях жизненного цикла промышленной продукции. На основе настоящего стандарта допускается, при необходимости, разрабатывать стандарты, учитывающие особенности выполнения компьютерных моделей конкретных видов изделий в зависимости от их специфики.
- ГОСТ Р 57700.22-2020. «Компьютерные модели и моделирование. Классификация». Настоящий стандарт устанавливает требования к классификации компьютерных моделей, которые используются для численного моделирования физическо-механических и физико-химических процессов, а также для моделирования процессов взаимодействия объектов сложных систем.
- ГОСТ Р 57700.24-2020. «Компьютерные модели и моделирование. Валидационный базис». Настоящий стандарт устанавливает общие требования к структуре, содержанию и наполнению валидационного базиса, предназначенного для проведения процедур валидации компьютерных моделей и программного обеспечения компьютерного моделирования.
- ГОСТ Р 57700.25-2020. «Компьютерные модели и моделирование. Процедуры валидации». Настоящий стандарт устанавливает общие требования к процедурам валидации физико-механических и физико-химических компьютерных моделей и рекомендуется при организации процедур подтверждения соответствия результатов компьютерного моделирования объектам реального мира.
- ГОСТ Р 57700.37-2021. «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий». Настоящий стандарт устанавливает общее понятие цифрового двойника изделия, а также общие положения и требования по разработке и применению цифровых двойников изделий. Стандарт распространяется на изделия машиностроения. На основе настоящего стандарта допускается, при необходимости, разрабатывать стандарты, устанавливающие требования к цифровым двойникам изделий различных отраслей промышленности с учетом их специфики.
- ПНСТ 928-2024. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники авиационных газотурбинных двигателей. Общие положения» (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 22.08.2024 N 44-пнст)
- ГОСТ Р 59853-2021. «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения». Настоящий

стандарт распространяется на автоматизированные системы, используемые в различных видах деятельности (исследования, проектирование, управление и т. п.), включая их сочетания. Настоящий стандарт не распространяется на системы, предназначенные для обработки (изготовления, сборки, транспортирования) любых изделий, материалов или энергии. Настоящий стандарт устанавливает термины и определения основных понятий в области автоматизированных систем. Термины, установленные настоящим стандартом, обязательны для применения во всех видах документации и литературы по автоматизированным системам, входящих в сферу работ по стандартизации и использующих результаты этих работ, и рекомендуются для применения в научно-технической, справочной и учебной литературе.

- Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 г. № 187-ФЗ. Настоящий Федеральный закон регулирует отношения в области обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации в целях ее устойчивого функционирования при проведении в отношении ее компьютерных атак.
- Распоряжение Правительства РФ от 06.11.2021 г. № 3142-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности». Целью цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности является обеспечение технологической независимости государства, возможности коммерциализации российских исследований и разработок, а также ускорение технологического развития российских компаний и обеспечение конкурентоспособности разрабатываемых ими продуктов и решений на глобальном рынке путем достижения «цифровой зрелости» при помощи модернизации управления производственными процессами, что должно привести к значительному повышению производительности труда и росту валового внутреннего продукта в производственном секторе и, следовательно, к росту уровня благосостояния граждан страны.
- ГОСТ 34.602-2020. «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы». Настоящий стандарт распространяется на автоматизированные системы, предназначенные для автоматизации различных видов деятельности (управление, проектирование, исследования и т. п.), включая их сочетания, и устанавливает требования к составу, содержанию, правилам оформления документа «Техническое задание на создание (развитие или модернизацию) автоматизированной системы».
- ГОСТ 19.201-78. «Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению». Настоящий стандарт устанавливает порядок построения и оформления технического задания на разработку программы или программного изделия для вычислительных машин, комплексов и систем независимо от их назначения и области применения.
- Постановление Правительства РФ от 06.07.2015 г. № 676 «О требованиях к порядку создания, развития, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации государственных информационных систем и дальнейшего хранения содержащейся в их базах данных информации». Настоящий документ определяет требования к порядку реализации мероприятий по созданию, развитию, вводу в эксплуатацию, эксплуатации и выводу из эксплуатации государственных информационных систем и дальнейшему хранению

содержащейся в их базах данных информации, осуществляемых органами государственной власти, в том числе федеральными органами исполнительной власти, исполнительными органами субъектов Российской Федерации, органами управления государственными внебюджетными фондами, иными государственными органами в целях повышения эффективности реализации полномочий государственных органов в результате использования информационно-коммуникационных технологий, либо государственными органами, выступающими от имени публичных партнеров, и частными партнерами в соответствии с соглашениями о государственно-частном партнерстве в целях реализации указанных соглашений, либо государственными органами, выступающими от имени концедентов, и концессионерами в соответствии с концессионными соглашениями в целях реализации указанных соглашений, а также публично-правовыми компаниями, государственными корпорациями, уполномоченными на осуществление мероприятий по созданию, развитию, эксплуатации государственных информационных систем в иных установленных федеральными законами целях.

В последние годы по мере нарастания санкционных рисков и внешнего экономического давления активизировались разработка и обновление нормативно-правовых актов, направленных на поддержку и регулирование сферы программного обеспечения в России. В этой связи также происходит актуализация «дорожных карт» Национальной технологической инициативы, ориентированных на развитие новых перспективных отраслей и механизмов их поддержки. Большая часть усилий в области развития прикладного инженерного программного обеспечения ведется в рамках национальной программы «Цифровая экономика».

Среди инициатив по развитию нормативной базы промышленного программного обеспечения, включая средства инженерного анализа, необходимо отметить обновление нормативных (законодательных) «дорожных карт» НТИ по направлению «Технет» [240]. Совершенствование нормативных актов и устранение административных барьеров, являющиеся задачей нормативной ДК НТИ по направлению «Технет», должны ускорить развитие и продвижение новых технологий, продуктов и услуг, в том числе на внешних рынках. Обновленная нормативная база должна учитывать специфику новых производственных технологий, а также удешевление и нарастающую децентрализацию процессов разработки и производства продукции.

К числу ожидаемых результатов нормативной «дорожной карты» по направлению «Технет» можно отнести снятие технических барьеров для использования документации в цифровом виде, облегчение взаимодействия с надзорными органами для проектировщиков, производителей и эксплуатантов, появление возможности предъявления уполномоченным органам вычислительных результатов испытаний вместо 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**

Количество мер государственной поддержки ИТ-технологий, в том числе инженерного программного обеспечения в сфере CAE, увеличивается по мере того, как задачи обеспечения технологического суверенитета выходят на первый план. При этом большинство мер государственной поддержки рассчитано либо крупных вендоров, способных привлечь значительный объем

внебюджетного софинансирования, либо на малые команды, разрабатывающие первые решения – для чего предоставляется грантовая поддержка.

Сфера разработки систем инженерного анализа обладает достаточно высоким порогом входа – для создания нового продукта требуются значительные усилия и время. В связи с вышесказанным, ориентация на «точечные» меры поддержки, координируемые Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фондом Бортника), может подойти компаниям или научным организациям, разрабатывающим относительно небольшие программные элементы (например – на основе ИИ) для использования в крупных CAE-продуктах. В условиях разрастания функционала систем CAE и включения в них подсистем, использующих технологии искусственного интеллекта, данные форматы поддержки также могут сыграть свою роль в обеспечении технологического суверенитета страны.

Как уже было сказано выше, государственная поддержка ИТ-компаний и внедрения ИТ-решений на предприятиях отечественной промышленности осуществляется преимущественно в рамках национальной программы «Цифровая экономика» через входящие в ее состав национальные проекты «Цифровые технологии» и «Искусственный интеллект» (таблица 12).

Таблица 12. Обзор основных мер государственной поддержки

| № | Название                                                                                          | ПП РФ <sup>4</sup>      | 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 г. | ЦТ/ЦЭ <sup>5</sup>      | Мин-пром-торг | Субсидия      | Субсидия предоставляется разработчикам цифровых платформ и программных продуктов в целях дальнейшего внедрения на промышленных предприятиях, осуществляющих деятельность в обрабатывающих | Разработчики цифровых платформ | Объем финансирования не обозначен, мера действует для ранее отобранных проектов. Софинансирование – не менее 50% |

<sup>4</sup> ПП – Постановление Правительства Российской Федерации

<sup>5</sup> Федеральный проект «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

| № | Название                                                                                                                                                                                                                              | ПП РФ <sup>4</sup>                           | Нац. проект / программа                                     | Оператор      | Тип поддержки                       | На что направлена мера поддержки                                                                            | Тип получателя меры поддержки                                                            | Основные условия                                                                                                                                     |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                                                                                                                                                       |                                              |                                                             |               |                                     | отраслях экономики                                                                                          |                                                                                          |                                                                                                                                                      |
| 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» отраслей промышленности | 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 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%                          |
| 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 <sup>6</sup>                                          | 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 |

<sup>6</sup> Федеральный проект «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

| № | Название                                                                                                                                                                             | ПП РФ <sup>4</sup>      | Нац. проект / программа | Оператор        | Тип поддержки         | На что направлена мера поддержки                                                                                                                                                               | Тип получателя меры поддержки                                                                                    | Основные условия                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                                                                                                      |                         |                         |                 |                       |                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                  | 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 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 –                                                                           |

| № | Название                                                                                                                       | ПП РФ <sup>4</sup>      | Нац. проект / программа                                                                                                                                                                | Оператор | Тип поддержки         | На что направлена мера поддержки                                                                                                                                                                                                                | Тип получателя меры поддержки                                                                                    | Основные условия                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                                                |                         |                                                                                                                                                                                        |          |                       |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                  | 5 млрд руб.<br>Размер кредита для реализации программы(совокупности проектов): минимальный – 500 млн руб., максимальный – 10 млрд руб.<br>Софинансирование: не обязательно.<br>Сроки – определяются банком                                                                                  |
| 6 | Льготное кредитование (субсидируемое) системообразующих организаций в сфере ИТ, а также аккредитованных организаций в сфере ИТ | № 754 от 26.04. 2022 г. | Федеральный проект «Развитие цифровых и информационных проектов на территории субъектов Российской Федерации» государственной программы Российской Федерации «Информационное общество» | Минцифры | Льготное кредитование | Сохранение потенциала динамичного развития отрасли информационных технологий в сложных экономических условиях посредством льготного кредитования системообразующих ИТ-организаций и ИТ-организаций, входящих в группу лиц указанных организаций | Разработчики (получатели льготных кредитов) и коммерческие банки, финансирующие ИТ-проекты (получатели субсидий) | Процентная ставка по кредиту: до 11%;<br>Размер кредита: одного заемщика до 10 млрд руб., для группы лиц одной системообразующей организации (включая эту системообразующую организацию) до 30 млрд руб.<br>Срок кредитования: до 12 месяцев.<br>Максимальный объем кредита, для группы лиц |

| № | Название                                   | ПП РФ <sup>4</sup>     | Нац. проект / программа | Оператор                   | Тип поддержки    | На что направлена мера поддержки                                                                           | Тип получателя меры поддержки                                                                                                                                                            | Основные условия                                                                                                                            |
|---|--------------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                            |                        |                         |                            |                  |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                          | 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 6 000 млн руб. Срок проекта – от 6 до 60 месяцев; Софинансирование – не менее 50% сметы реализации проекта |
| 8 | Конкурс «Цифровизация-Цифровые технологии» | № 554 от 03.05.2019 г. | ЦТ/ЦЭ                   | Фонд Бортника <sup>7</sup> | Гранты           | Поддержка предприятий, планирующих применение российских ИТ решений и стимулирование цифровизации отраслей | Разработчики. В конкурсном отборе могут принимать участие организации, соответствующие критериям отнесения к субъекту малого предпринимательства в соответствии с Федеральным законом от | Объем гранта – до 20 млн руб. Софинансирование – не менее 25% от суммы гранта. Срок выполнения проекта – до двух лет                        |

<sup>7</sup> Полное название: «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере»

| №  | Название                              | ПП РФ <sup>4</sup>                                                      | Нац. проект / программа | Оператор      | Тип поддержки | На что направлена мера поддержки                                                                                                                                        | Тип получателя меры поддержки                                                                      | Основные условия                                                                                                                                        |
|----|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                       |                                                                         |                         |               |               |                                                                                                                                                                         | 24 июля 2007 г. № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» |                                                                                                                                                         |
| 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 развить 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 Правительства Российской Федерации от 03.05.2019 г. № 554 | ЦТ/ЦЭ                   | Фонд Бортника | Гранты        | Создание новых и поддержку существующих малых инновационных предприятий, стремящихся разработать и освоить производство новых продуктов, имеющих значительный потенциал | Разработчики – малые предприятия                                                                   | Объем предоставляемого Фондом гранта составляет до 4 млн руб. Срок выполнения НИОКР – 1 год. Требования по софинансированию не обозначены               |

| №  | Название                                       | ПП РФ <sup>4</sup>     | Нац. проект / программа | Оператор      | Тип поддержки | На что направлена мера поддержки                                                                                                                                        | Тип получателя меры поддержки     | Основные условия                                                                                                                                       |
|----|------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                |                        |                         |               |               | коммерциализации                                                                                                                                                        |                                   |                                                                                                                                                        |
| 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  |
| 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                                                                               | Разработчики – малые предприятия  | Объем предоставляемого Фондом гранта составляет до 20 млн руб. Софинансирование – не менее 25%                                                         |

| №  | Название                                      | ПП РФ <sup>4</sup>     | Нац. проект / программа | Оператор      | Тип поддержки                      | На что направлена мера поддержки                                                                        | Тип получателя меры поддержки                                                              | Основные условия                                                                                                                                                                                                                                          |
|----|-----------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                               |                        |                         |               |                                    | решений, продуктов или платформ и вывод собственной продукции на новые рынки.                           |                                                                                            | 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-Искусственный интеллект» | № 456 от 27.03.2021 г. | ИИ/ЦЭ                   | Фонд Бортника | Гранты + акселерационная программа | Поддержка малых предприятий, целью которых является разработка и освоение производства новой продукции, | Разработчики – малые предприятия, участвующие в аккредитованных акселерационных программах | Размер гранта, а также стоимости акселерационной программы не может превышать 800 тыс. руб.                                                                                                                                                               |

| №  | Название                                   | ПП РФ <sup>4</sup>     | Нац. проект / программа | Оператор      | Тип поддержки | На что направлена мера поддержки                                                                                                                                         | Тип получателя меры поддержки                                     | Основные условия                                                                                                                                                                                   |
|----|--------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                            |                        |                         |               |               | сервисов и (или) решений с использованием технологий искусственного интеллекта                                                                                           |                                                                   | 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                                                                                                                                     | Разработчики – малые предприятия                                  | Размер гранта не может превышать 30 млн руб.                                                                                                                                                       |

| №  | Название                                           | ПП РФ <sup>4</sup>     | Нац. проект / программа | Оператор      | Тип поддержки | На что направлена мера поддержки                                                                                                                                  | Тип получателя меры поддержки    | Основные условия                                                                                                                 |
|----|----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                    |                        |                         |               |               | положительную 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      | Разработчики – малые предприятия | Размер гранта – до 30 млн руб. Софинансирование проекта – не менее 20% от суммы гранта. Сроки выполнения проекта – до 18 месяцев |

| №  | Название                 | ПП РФ <sup>4</sup>                          | Нац. проект / программа | Оператор | Тип поддержки    | На что направлена мера поддержки  | Тип получателя меры поддержки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Основные условия                                                                                                                                                                           |
|----|--------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|----------|------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                          |                                             |                         |          |                  | области искусственного интеллекта |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                            |
| 20 | Комплекс налоговых льгот | Федеральный закон от 14.07.2022 г. № 323-ФЗ | Не обозначено           | ФНС      | Налоговые льготы | Поддержка российских ИТ-компаний  | Компании, получающие доходы от:<br>услуг по доработке, внедрению и поддержке любого российского ПО;<br>продажи онлайн рекламы на своих платформах;<br>размещения объявлений на классифайдах;<br>предоставления платного доступа к контенту (фильмам и музыке), в том числе по подписке;<br>оказания образовательных услуг с использованием онлайн платформ;<br>разработки и продажи российских программно- | Налог на прибыль установлен на уровне 0% до 31.12.2024 г.<br>Страховые взносы – 7,6%.<br>Количественный критерий по доле ИТ-выручки, который позволяет получить налоговые льготы, – до 70% |

| № | Название | ПП РФ <sup>4</sup> | Нац. проект / программа | Оператор | Тип поддержки | На что направлена мера поддержки | Тип получателя меры поддержки | Основные условия |
|---|----------|--------------------|-------------------------|----------|---------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
|   |          |                    |                         |          |               |                                  | аппаратных комплексов         |                  |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных Минпромторга России [241], ФНС России [242]

Меры поддержки, ориентированные на проведение НИР/НИОКР в области разработки систем инженерного анализа, преимущественно реализуются через Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Значительную роль в финансировании НИР/НИОКР по теме САЕ также играют Министерство науки и высшего образования Российской Федерации и средства коммерческих организаций, заказывающих работы данного вида у научных организаций и вузов.

В рамках раздела для более подробного анализа значимых проектов в сфере САЕ, на которые распространяются меры поддержки, по ключевым словам «САЕ», «САЕ-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» [243].

Ключевые сведения о поддержанных проектах, относящихся к области САЕ-систем, приведены в таблице 13.

Таблица 13. Сведения о поддержанных проектах

| № | Наименование проекта                                                                                         | Заказчик           | Исполнитель                                                | Описание проекта, цель                                                                                                                                                                                                                                                                              | Год начала работы | Объем финансирования, млн руб. |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | Разработка CAD/CAE решения для проектирования и оценки свойств композиционных и сложноструктурных материалов | Минобрнауки России | ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный Университет» | Исследование направлено на создание CAD/CAE программного продукта для проектирования и оценки свойств композиционных и сложноструктурных материалов. Цель работы – усовершенствование разработанных методов описания сложных негетерогенных сред; разработка программных продуктов и комплексов для | 2023              | 39,6                           |

| № | Наименование проекта                                                                                                                                                                                          | Заказчик                                                                   | Исполнитель     | Описание проекта, цель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Год начала работы | Объем финансирования, млн руб. |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
|   |                                                                                                                                                                                                               |                                                                            |                 | проектирования и моделирования изделий из таких материалов; создание новых аппаратно-программных комплексов для исследования образцов из сложных негетерогенных материалов; в частности применение разработанных методов, программ и аппаратно-программных комплексов к композиционным материалам, сетчатым структурам, мета материалам.                                                                                                                                                                                                                        |                   |                                |
| 2 | Разработка и тестирование прототипа программного обеспечения для имитационного моделирования эффективных показателей двигателя внутреннего сгорания с учетом механических потерь в основных узлах и агрегатах | Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере | ООО «Альбея»    | Цель – разработка программного обеспечения для проектирования и доводки двигателей внутреннего сгорания для прогнозирования индикаторных, эффективных и удельных показателей двигателя, его систем и механизмов. Предполагается создание и интеграция в разрабатываемое программное обеспечение моделей для расчета кинематики и динамики кривошипно-шатунного механизма, расчет механических потерь в подшипниках кривошипно-шатунного механизма, поршневых кольцах, юбке поршня, газораспределительном механизме, осевом вентиле, водяном и масляном насосах. | 2023              | 4                              |
| 3 | Разработка прототипа программного обеспечения для контроля                                                                                                                                                    | Фонд содействия развитию малых                                             | ООО «Ингорсофт» | Цель работы – создание программного продукта для контроля и прогноза развития опасных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2022              | 4                              |

| № | Наименование проекта                                                                                                                            | Заказчик                                                                   | Исполнитель     | Описание проекта, цель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Год начала работы | Объем финансирования, млн руб. |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
|   | опасных инженерно-геологических и техногенных процессов                                                                                         | форм предприятий в научно-технической сфере                                |                 | инженерно-геологических и техногенных процессов по данным непрерывного дистанционного сейсмического сканирования горного массива из подземных сооружений на основе метода спектральных элементов<br>Программный продукт будет строить модель напряженно-деформируемого состояния горного массива с учетом влияния на параметры механической прочности проводимых горнотехнических работ. ПО будет иметь встроенный модуль перевода массива точек горных пород, полученных из сейсмических данных в массив элементов модели пре-процессора пакета CAE Fidesys, модуль для учета различных граничных условий системы, а также модуль для оценки вероятности возникновения опасных ситуаций во время проведения проходческих работ |                   |                                |
| 4 | Разработка САЕ-системы для расчета молочного сырья, основных и вспомогательных материалов, оборудования для предприятий молочной промышленности | Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере | ООО «МБ-Систем» | Цель – создание программного продукта для автоматизации решения ряда технологических задач в молочной и соковой промышленности, предназначенного для повседневного их использования менеджментом и технологическим персоналом                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2022              | 20                             |
| 5 | Разработка алгоритмов и программного                                                                                                            | Минобрнауки России                                                         | УрФУ            | Цель – разработка научно-обоснованных методик применения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2022              | 8,1                            |

| № | Наименование проекта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Заказчик | Исполнитель           | Описание проекта, цель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Год начала работы | Объем финансирования, млн руб. |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
|   | обеспечения для решения интегрированной задачи оптимального раскроя и маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |          |                       | «мульти-контурной резки» заготовок на машинах термической резки с числовым программным управлением (ЧПУ) для решения интегрированной задачи 2D раскроя и маршрутизации инструмента (Integrated Nesting and Routing Problem, INRP)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                |
| 6 | Государственная поддержка центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций. Проекты: «Разработка оборудования и технологии создания объемных преформ методом укладки ровинга, алгоритмов оптимального проектирования и аддитивных технологий изготовления методами трехмерной печати изделий из углеволоконных композитов с рациональными криволинейными траекториями укладки волокон»; «Разработка цифровой модели течения связующего при формовании изделий из ПКМ методами пропитки»; | Фонд НТИ | МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА | Фактически под единым регистрационным номером (и с единой суммой выделяемого финансирования) учтены три связанных проекта. Соответственно, цели:<br>1. Разработка оборудования и технологии создания объемных преформ методом укладки ровинга, алгоритмов оптимального проектирования и аддитивных технологий изготовления методами трехмерной печати изделий из углеволоконных композитов с рациональными криволинейными траекториями укладки волокон;<br>2. Разработка цифровой модели течения связующего при формовании изделий из ПКМ методами пропитки;<br>3. Создание программного комплекса, обеспечивающего получение композиционных материалов с прогнозируемыми свойствами с использованием методов оптимизации параметров составного компонента на базе анализа | 2021              | 42                             |

| № | Наименование проекта                                                                                                                                                            | Заказчик                                                                   | Исполнитель          | Описание проекта, цель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Год начала работы | Объем финансирования, млн руб. |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
|   | «Разработка системы автоматизированного принятия решений по оптимальному выбору композиционных материалов под заданные условия»                                                 |                                                                            |                      | физико-механических характеристик, его составляющих, и с учетом технологических процессов их получения.<br>К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относятся следующие РИД:<br>1. Модуль взаимодействия с САЕ-системой;<br>2. Модуль визуализации многомерных данных.                                                                                                                                |                   |                                |
| 7 | Разработка цифровой лаборатории для оценки механических характеристик полноразмерных образцов с учетом преднагруженного состояния на основе результатов компьютерной томографии | Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере | ООО «Фидесис»        | Цель – создание программного обеспечения, которое позволит рассчитать эффективные механические характеристики образца по данным компьютерной томографии. Создаваемое ПО позволяет прогнозировать поведение породы во время разработки месторождения полезных ископаемых, механические свойства зубных протезов в стоматологии, изделий из метаматериалов и композитов, а также определить остаточный ресурс изделий и элементов конструкций. | 2021              | 20                             |
| 8 | Цифровое проектирование и управление интеллектуальными роботизированными системами для реализации стратегии Индустрия 4.0 в сфере машиностроения и биомедицинских технологий    | Минобрнауки России                                                         | БГТУ им. В.Г. Шухова | Цель – разработка высокопроизводительных вычислительных методов и алгоритмов для оптимального синтеза, управления и цифрового проектирования интеллектуальных роботизированных систем с повышенными характеристиками по точности, компактности и управляемости для реализации стратегии                                                                                                                                                      | 2021              | 2,8                            |

| № | Наименование проекта                                                                                                                    | Заказчик | Исполнитель           | Описание проекта, цель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Год начала работы | Объем финансирования, млн руб. |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
|   |                                                                                                                                         |          |                       | Индустрия 4.0 в области производственных технологий, машиностроения и биомедицины. Ожидаемые результаты включают высокоэффективные методы цифрового проектирования с использованием CAD, CAM, CAE-систем, позволяющие получать полноценные 3D цифровые двойники реальных объектов (роботов).                                                                                                                                                                                                                                                                       |                   |                                |
| 9 | Разработка системы обратной связи на основе бесконтактного измерения деформаций для управления процессом пластического формообразования | ИИФ СО   | Самарский университет | Цель – разработка методики интеграции системы бесконтактного измерения деформаций с процессами обработки металлов давлением. Разрабатываемая система позволит в реальном времени определять деформации, возникающие в процессе формообразования заготовки, и сравнивать их с расчетными значениями, полученными на основе цифрового двойника технологического процесса. К результатам проекта, зарегистрированным в системе домена «Наука и инновации», относится РИД «Программа для экспорта траектории движения деформирующего инструмента из CAM в CAE систему» | 2020              | 4                              |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе домена «Наука и инновации» [243]

Как показывает анализ, НИР/НИОКР по тематике CAE-систем преимущественно носят характер разработки узкоспециализированных решений под конкретные запросы машиностроительной, приборостроительной и нефтегазодобывающей отраслей. Лидеры отечественной разработки CAE-систем и крупнейшие машиностроительные предприятия, такие как ПАО «Камаз» в ряде

случаев выступают заказчиками на научно-конструкторские разработки, выполняемые университетами и небольшими компаниями-разработчиками. При этом общий объем финансирования НИР/НИОКР в сфере САЕ относительно невелик в сравнении с крупными государственными грантами на внедрение российских ИТ-решений.

## ГЛАВА 7. БАРЬЕРЫ И РИСКИ, ПРИСУТСТВУЮЩИЕ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

В рамках настоящей главы рассматриваются барьеры и риски развития систем автоматизации инженерных расчетов:

- 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. 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, которую отметили 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%).

В рамках подготовки к конференции «Цифровая индустрия промышленной России» (31 мая – 2 июня 2023 года) Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» и Инфраструктурным центром НТИ по направлению «Технет» СПбПУ совместно с АНО «ЦКИТ» был проведен опрос отечественных разработчиков САЕ-систем [171]. Данное исследование позволило выявить ключевые барьеры и проблемы, препятствующие развитию систем на российском рынке как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе.

В ходе анализа полученных данных были выделены основные барьеры, которые необходимо преодолеть к 2024 году. Наиболее острой проблемой, отмеченной 28% респондентов, является зависимость от иностранного программного обеспечения. Организации продолжают использовать зарубежное ПО, в том числе нелегальное, что создает серьезные риски для информационной безопасности и технологической независимости страны. Вторым по значимости барьером, указанным 24% опрошенных, является недостаточность мер государственной поддержки. В частности, отмечается недостаток финансирования закупок программного обеспечения для университетов, а также необходимость упрощения условий закупки у единственного поставщика, включая увеличение соответствующих лимитов. Эти факторы существенно замедляют процесс внедрения отечественного ПО в образовательные и производственные процессы. Третьей по важности проблемой, на которую указали 13% респондентов, является недостаточный уровень подготовки инженерных кадров в сфере разработки программного обеспечения. Это свидетельствует о необходимости совершенствования образовательных программ и усиления взаимодействия между вузами и индустрией.

Среди прочих краткосрочных барьеров были отмечены отсутствие частных инвестиционных

программ по развитию САПР, недостаточный спрос на российское ПО со стороны промышленности, а также сильно завышенные зарплаты программистов. Кроме того, наблюдается отсутствие заинтересованности университетов в обучении на базе отечественного ПО, что, в свою очередь, приводит к недостаточному уровню подготовки кадров.

В долгосрочной перспективе (2023–2028 гг.) респонденты выделили ряд барьеров, требующих системного подхода к их преодолению. Наиболее существенной проблемой, отмеченной 28% опрошенных, является недостаточный уровень подготовки инженерного персонала на предприятиях. Это выражается в низком уровне применения CAE-технологий и использовании устаревших практик проектирования новых изделий на предприятиях. Второй по значимости долгосрочной проблемой, указанной 24% респондентов, является несовершенство нормативно-правового обеспечения. Устаревшие отраслевые нормы и противоречия между вновь принятыми и действующими стандартами создают значительные трудности для развития отрасли и внедрения инновационных решений. Третьей ключевой проблемой, отмеченной 19% опрошенных, остается недостаточный уровень подготовки инженерных кадров в сфере разработки ПО. Это указывает на необходимость долгосрочных инвестиций в образование и развитие человеческого капитала в данной области. Среди прочих долгосрочных барьеров были выделены нежелание предприятий формулировать требования к разрабатываемому российскому ПО, малые объемы промышленного производства и отсутствие инженерных сообществ. Также отмечаются недостаточность мер государственной поддержки, высокая стоимость инженерного ПО для предприятий и малая осведомленность потребителей о российском инженерном программном обеспечении.

Информация о барьерах и рисках развития CAE-систем, присутствующих на отечественном рынке была дополнена на основе открытых источников информации. Полученный перечень представлен в таблице 14.

Таблица 14. Перечень барьеров и рисков развития CAE-систем на отечественном рынке

| № | Барьеры и риски развития систем                                                                                                                                         |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Высокая зависимость от импортного ПО [244]                                                                                                                              |
| 2 | Недоверие заказчиков к возможностям отечественного ПО [244]                                                                                                             |
| 3 | Отсутствие полноценных отечественных аналогов для всех продуктов CAE-систем [244]                                                                                       |
| 4 | Риски для технологического суверенитета и информационной безопасности предприятий [244]                                                                                 |
| 5 | Аналитические модели и формулы, как правило, либо слишком обобщены и не учитывают особенностей конструкции конкретных изделий, либо, наоборот, слишком специфичны [245] |
| 6 | Сложность представления результатов и необходимость специальных инструментов для системного моделирования [245]                                                         |
| 7 | Сложность освоения и довольно долгий процесс препроцессинга и постпроцессинга [245]                                                                                     |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Ниже представлено подробное описание перечисленных барьеров и рисков развития САЕ-систем на отечественном рынке.

1. Высокая зависимость от импортного ПО: по данным Единой информационной системы в сфере закупок [246], зарубежные вендоры занимают 78% отечественного рынка систем CAD/CAE. Ситуация особенно критична в области САЕ-систем, где доля иностранных решений превышает 90%. При этом зарубежные аналоги в десятки раз дороже отечественных решений, что создает дополнительную финансовую нагрузку на российские предприятия. Эта зависимость несет в себе риски отключения файлов лицензий, отказа в поставке ПО, несанкционированного доступа и удаленного контроля над программным продуктом и оборудованием, что особенно критично для предприятий оборонно-промышленного комплекса [244].
2. Недоверие заказчиков к возможностям отечественного ПО. Как отмечает Алексей Петухов, директор по развитию новых направлений ООО «ЗВ Сервис», многие потенциальные потребители не готовы менять привычный набор рабочих инструментов. Сложившиеся стереотипы и привычка приобретать дорогое импортное ПО, ориентируясь на рекламные материалы иностранных производителей, создают психологический барьер. Заказчики с подозрением относятся к возможностям отечественных разработок несмотря на то, что САЕ-системы постоянно совершенствуются, существуют проекты с открытым исходным кодом, а на самих предприятиях функционирует большое количество наработок, которые можно модернизировать. Преодоление этого недоверия и изменение устоявшихся представлений является сложной задачей, поскольку, как подчеркивает Петухов, «основные трудности в головах» потенциальных пользователей [244].
3. Отсутствие полноценных отечественных аналогов для всех продуктов САЕ-систем. Как отметил заместитель главы Министерства промышленности и торговли Российской Федерации Василий Шпак, в России пока нет полных аналогов всем продуктам САЕ-систем. Это создает серьезную зависимость от импортного ПО, особенно в стратегически важных отраслях промышленности [244].
4. Риски для технологического суверенитета и информационной безопасности предприятий. Как отмечает Дмитрий Фомичев, ГК «Росатом», тотальное использование иностранного программного обеспечения несет в себе серьезные угрозы для стратегических отраслей. Это может привести к сужению собственных компетенций страны в критически важных областях. Максим Богданов, генеральный директор АСКОН, подчеркивает реальность таких рисков, приводя примеры отказа в поставке или продлении лицензий ПО предприятиям российского оборонного комплекса. Таким образом, зависимость от иностранного ПО создает уязвимость в стратегически важных секторах экономики, что делает вопрос технологического суверенитета критически важным для национальной безопасности [244].
5. Аналитические модели и формулы, как правило, либо слишком обобщены и не учитывают особенностей конструкции конкретных изделий, либо, наоборот, слишком специфичны: их применение сталкивается с определенными барьерами. Во-первых, многие из этих моделей слишком обобщены, что приводит к значительным погрешностям в расчетах и, как следствие, к недостаточной надежности проектируемых объектов. С другой стороны, существуют модели, которые, наоборот,

- слишком специфичны и предназначены для узкого круга задач, что ограничивает их практическую ценность для более широкого спектра задач. Таким образом, выбор между обобщенностью и специфичностью моделей является сложной задачей, требующей глубокого понимания как теоретических основ, так и практических требований конкретного проекта [245].
6. Сложность представления результатов и необходимость специальных инструментов для системного моделирования. Инженерные расчеты, выполняемые с использованием современных CAE-технологий, генерируют обширные объемы данных, которые могут быть трудными для интерпретации без должной визуализации. Результаты расчетов, такие как распределение напряжений, температуры или потоков, часто требуют сложной графической интерпретации, чтобы быть понятными для инженеров и проектировщиков. Без специализированного программного обеспечения для визуализации, которое может преобразовывать эти данные в наглядные форматы, пользователи могут столкнуться с трудностями в анализе и оценке результатов, что снижает эффективность процесса проектирования. Более того, отсутствие таких инструментов может ограничить возможности для оптимизации конструкций и принятия обоснованных решений, что в конечном итоге может привести к увеличению времени разработки и снижению конкурентоспособности [245].
  7. Сложность освоения и довольно долгий процесс подготовки задачи (препроцессинга), решения и обработки результатов (постпроцессинга). Препроцессинг, включающий создание геометрической модели, задание свойств материалов, граничных условий и нагрузок, может занимать значительное время даже у опытных инженеров. Сам процесс решения, особенно для сложных многофазных задач, может длиться часами или днями. Постпроцессинг, связанный с визуализацией, анализом и интерпретацией результатов, также требует времени и глубокого понимания физики моделируемых процессов. Для эффективного использования CAE-инструментов необходимы специальные знания в области вычислительной механики, гидродинамики, теплофизики и других дисциплин, а также навыки работы с конкретным программным обеспечением. Это создает высокий порог входа для новых пользователей и требует значительных инвестиций в обучение персонала. Кроме того, даже после освоения базовых принципов, инженеру требуется накопить существенный опыт для корректной постановки задач, выбора подходящих моделей и критической оценки получаемых результатов [245].

В заключение, эффективное внедрение и поддержка систем автоматизации инженерных расчетов требуют комплексного подхода. Отечественным компаниям следует с особым вниманием подходить к оценке и управлению возможными рисками для минимизации возникновения проблем и обеспечения результативного функционирования CAE-систем.

## **7.2. Необходимые действия для преодоления барьеров и решения проблем**

Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» совместно с Передовой инженерной школой СПбПУ «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 [171]. 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.

В период с 12 по 18 мая 2023 года был проведен опрос, организованный Центром компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии», Инфраструктурным центром НТИ по направлению «Технет» СПбПУ и АНО «ЦКИТ» [171]. Целью исследования стало выявление ключевых направлений действий для развития сферы программного обеспечения цифрового проектирования и моделирования в России.

По итогам опроса было установлено, что системная государственная поддержка российских разработчиков программного обеспечения является наиболее важной мерой, на которую указали 28% респондентов. Это включает в себя субсидирование 50% затрат на приобретение отечественного программного обеспечения, а также необходимость направлять не менее 50% государственного финансирования новых разработок в сфере информационных технологий на поддержку малых предприятий. Кроме того, респонденты отметили важность субсидирования организаций при переходе на отечественное прикладное ПО. Запрет на использование нелицензионного иностранного программного обеспечения был выделен как следующая по значимости мера, на которую указали 24% участников опроса. Это касается как учебного процесса в вузах, так и выполнения

научно-исследовательских работ, финансируемых государством, а также подрядных работ с использованием государственных средств. Также респонденты выделили несколько равнозначных мер, каждая из которых получила 13% поддержки. К ним относятся создание благоприятного инвестиционного климата для отечественного ПО, развитие нормативно-правовой базы по применению технологий цифрового проектирования и моделирования, а также внедрение образовательных курсов по работе с российским программным обеспечением в учебные заведения.

В дополнение к основным мерам, опрос выявил ряд дополнительных рекомендаций. Среди них стоит отметить необходимость ограничения параллельного импорта зарубежного ПО, признание результатов компьютерного моделирования в качестве промежуточных и приемочных испытаний, развитие инженерных сообществ, финансирование закупок лицензий в университетах, а также обеспечение свободного доступа к российскому геометрическому ядру. Кроме того, создание бесплатных площадок для продвижения российского ПО было обозначено как важная задача.

В целом, результаты исследования подчеркивают необходимость акцента на государственной поддержке и регулировании, включая финансовые меры стимулирования и ограничение использования иностранного ПО. Образовательные инициативы и развитие нормативной базы также играют важную роль в дальнейшем развитии сектора.

Информация о действиях, необходимых для преодоления барьеров и решения проблем, была дополнена на основе открытых источников информации. Полученный перечень представлен в таблице 15, после каждое решение описано подробно.

Таблица 15. Перечень барьеров развития систем на российском рынке и предлагаемые решения для их преодоления

| № | Барьеры и риски развития систем                                                                                                                                   | Предлагаемые решения для преодоления барьеров                                                                             |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Высокая зависимость от импортного ПО                                                                                                                              | Развитие консорциума отечественных разработчиков САЕ-систем; объединение ресурсов и компетенций российских компаний [244] |
| 2 | Недоверие заказчиков к возможностям отечественного ПО                                                                                                             | Проведение масштабной информационной кампании, государственная поддержка спроса на отечественные IT-решения [244]         |
| 3 | Отсутствие полноценных отечественных аналогов для всех продуктов САЕ-систем                                                                                       | Объединение усилий российских разработчиков; использование существующих наработок предприятий [244]                       |
| 4 | Риски для технологического суверенитета и информационной безопасности предприятий                                                                                 | Создание программно-аппаратных комплексов полностью отечественного производства [244]                                     |
| 5 | Аналитические модели и формулы, как правило, либо слишком обобщены и не учитывают особенностей конструкции конкретных изделий, либо, наоборот, слишком специфичны | Внедрение методов, которые обеспечивают баланс между универсальностью и адаптивностью [245]                               |

| № | Барьеры и риски развития систем                                                                           | Предлагаемые решения для преодоления барьеров                                                                      |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | Сложность представления результатов и необходимость специальных инструментов для системного моделирования | Внедрение современных графических интерфейсов и мощных инструментов визуализации [245]                             |
| 7 | Сложность освоения и довольно долгий процесс препроцессинга и постпроцессинга                             | Использование специализированных инструментов для автоматизации процессов подготовки и обработки результатов [245] |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Ниже представлено подробное описание перечисленных барьеров и рисков развития САЕ-систем на отечественном рынке, а также предлагаемые решения для их преодоления.

1. Высокая зависимость от импортного ПО. Ключевым шагом стало создание консорциума российских разработчиков, инициированное государственной корпорацией «Росатом». Это объединение позволит консолидировать усилия и ресурсы отечественных компаний для создания конкурентоспособных продуктов. Важную роль играет государственная поддержка в виде программ Минпромторга России и Российского фонда развития информационных технологий, предоставляющих субсидии на внедрение отечественного ПО. Постепенное планомерное импортозамещение, подкрепленное политической волей, позволит снизить долю зарубежных САЕ-систем к 2027 году, а к 2030 году ориентироваться на полное импортозамещение в этом сегменте. Кроме того, создание открытой платформы для размещения цифровых продуктов участников консорциума ускорит процесс замещения требуемого функционала предприятиями и поможет разработчикам быстрее находить заказчиков [244].
2. Недоверие заказчиков к возможностям отечественного ПО: проведение масштабной информационной кампании, демонстрирующей реальные возможности и преимущества российских разработок. Организация тестовых внедрений и пилотных проектов позволит потенциальным пользователям на практике оценить функциональность отечественных решений. Необходимо также активно работать с системой образования, обновляя учебные программы в вузах, и начать переквалификацию преподавателей для обучения студентов на отечественном ПО. Это поможет сформировать новое поколение специалистов, привычных к работе с российскими продуктами. Важную роль играет и государственная поддержка в виде программ, мотивирующих предприятия к закупке и внедрению отечественного инженерного программного обеспечения. Постепенное накопление успешных кейсов использования российских САЕ-систем на крупных предприятиях будет способствовать росту доверия со стороны других потенциальных заказчиков [244].
3. Отсутствие полноценных отечественных аналогов для всех продуктов САЕ-систем: для решения проблемы необходимо объединение усилий российских разработчиков, что и было реализовано созданием консорциума. Это позволит эффективно распределить задачи по разработке различных компонентов САЕ-систем между участниками, избегая дублирования усилий. Важным аспектом является

- обеспечение совместимости и интеграции разрабатываемых решений, что достигается путем выработки общих норм и правил с точки зрения интерфейсов и протоколов. Необходимо также активно использовать существующие наработки предприятий и проекты с открытым исходным кодом, производя реинжиниринг. Государственная поддержка в виде инвестиций в разработку критически важных компонентов САЕ-систем ускорит процесс создания полноценной линейки отечественных продуктов [244].
4. Риски для технологического суверенитета и информационной безопасности предприятий: для минимизации данных рисков необходимо комплексное решение, включающее не только разработку отечественного ПО, но и создание полностью независимых программно-аппаратных комплексов. Это подразумевает развитие собственных аппаратных платформ и инфраструктуры разработки и функционирования ПО. Важным шагом является переход стратегических отраслей промышленности, особенно оборонно-промышленного комплекса, на отечественные решения, что исключит риски отказа в поставке или продлении лицензий, несанкционированного доступа и удаленного контроля со стороны зарубежных вендоров. Необходимо также развивать собственные компетенции в области разработки и поддержки инженерного ПО, что предотвратит сужение технологических возможностей страны [244].
  5. Аналитические модели и формулы, как правило, либо слишком обобщены и не учитывают особенностей конструкции конкретных изделий, либо, наоборот, слишком специфичны: для преодоления данного барьера современное программное обеспечение для инженерных расчетов внедряет методы, которые обеспечивают баланс между универсальностью и адаптивностью. Например, метод конечных элементов (МКЭ) позволяет создавать детализированные модели, которые учитывают специфические характеристики конструкции, такие как геометрия, материалы и нагрузки. Кроме того, современные инструменты для топологической оптимизации позволяют исследовать множество вариантов конструкций, находя оптимальные решения по минимизации массы и максимизации прочности. Это достигается благодаря использованию алгоритмов, которые анализируют распределение нагрузок и деформаций, что позволяет находить эффективные решения, которые не были бы очевидны при использовании традиционных аналитических методов. Таким образом, интеграция адаптивных моделей и мощных вычислительных методов обеспечивает более точные и надежные результаты, что особенно важно в сложных инженерных задачах [245].
  6. Сложность представления результатов и необходимость специальных инструментов для системного моделирования можно решить через внедрение современных графических интерфейсов и мощных инструментов визуализации. Эти инструменты обеспечивают возможность представления данных в виде наглядных графиков, диаграмм и анимации, что значительно упрощает анализ и интерпретацию результатов. Более того, интеграция различных физических доменов в одной модели позволяет проводить многопараметрические исследования и анализировать взаимодействие различных систем. Это особенно важно в сложных проектах, где необходимо учитывать множество факторов. Применение таких методов, как системное моделирование и многослойный анализ, позволяет инженерам не только

визуализировать результаты, но и принимать обоснованные решения на основании комплексного анализа данных, что приводит к улучшению качества проектирования и снижению рисков [245].

7. Сложность освоения и довольно долгий процесс подготовки задачи (препроцессинга), решения и обработки результатов (постпроцессинга): сложность освоения современных САЕ-систем и длительность подготовки задач могут быть значительно снижены благодаря внедрению автоматизированных инструментов и обучающих платформ. Современные программные решения предлагают интуитивно понятные интерфейсы, которые облегчают процесс обучения и минимизируют время на освоение новых функций. Например, использование шаблонов для распространенных задач позволяет инженерам быстро начать работу, не тратя время на создание моделей с нуля. Кроме того, многие компании предлагают онлайн-курсы, вебинары и документацию, что позволяет пользователям обучаться в удобном для них темпе. Интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы подготовки и обработки данных также способствует ускорению работы, позволяя программам автоматически анализировать данные и предлагать оптимальные решения. В результате, применение современных подходов и технологий не только сокращает время на подготовку задач и обработку результатов, но и повышает общую эффективность работы инженерных команд, позволяя им сосредоточиться на более сложных и творческих аспектах проектирования [245].

В заключение отметим, что внедрение систем автоматизации инженерных расчетов – это комплексный процесс, который требует тщательного планирования: анализ деятельности предприятия, обучение сотрудников и даже объединение усилий российских разработчиков. 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

Настоящий раздел сфокусирован на прикладных направлениях аналитических исследований, необходимых для достижения технологией создания ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей УГТ 6. В рамках раздела проведено аналитическое исследование функциональных возможностей и особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах по блокам (подразделам):

- Характеристика ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей.
- Анализ функциональных возможностей CAE-систем и особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах, в т.ч.:
  - Анализ функциональных возможностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в CAE-системах.
  - Анализ особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в CAE-системах.
- Разработка предложений для достижения 6-го уровня готовности технологий, развиваемых в рамках научных исследований.

### 8.1. Характеристика ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей

Основная идея суррогатного моделирования заключается в работе с относительно простыми интерполяционными или регрессионными моделями, построенными на основе значений целевой функции в ограниченном количестве точек выборки, и итеративном обновлении этих моделей. Такие быстро вычисляемые аппроксимации целевой функции называются суррогатными моделями [247]. В современном проектировании суррогатные модели используются для ускорения или уточнения вычислительно дорогих расчетов, получить решение для которых классическими методами за требуемое время сложно или невозможно [248].

ROM-модели (Reduced Order Models) – модели сокращенной размерности, модели пониженного порядка или сокращенного порядка – часть исследователей [249] определяет как один из классов суррогатных моделей. Такие модели обычно выводятся с использованием проекционной схемы, то есть управляющие уравнения прямой модели проецируются на подпространство пониженной размерности. Это уменьшенное подпространство определяется через набор базисных векторов, которые для общих нелинейных задач могут быть вычислены с помощью правильного ортогонального разложения или методов сокращенного базиса [250]. В настоящее время уменьшение порядка или размерности является одним из наиболее широко используемых инструментов для создания эффективных суррогатных моделей [251] и на практике такие категории как «ROM-модели» и «суррогатные модели» (а также «метамодели») часто используются как синонимы [252].

Базой современного проектирования является компьютерное моделирование, при этом критическое значение имеет анализ характеристик изделия при различных параметрах конструкции. Компьютерные модели используются для формирования виртуальных прототипов изделий и прогнозирования поведения физических и технологических систем в различных условиях за счет решения математических уравнений, описывающих соответствующие процессы [253]. Адекватность и

надежность конечного результата проектирования зависит, в частности, от:

- анализа чувствительности – моделирования влияния изменения параметров конструкции на итоговые характеристики продукта;
- оптимизации параметров – обоснованного выбора из множества вариантов конфигурации продукта, обеспечивающей заданные требования (среди них может быть максимизация производительности или попадание в границы целевого интервала, минимизация стоимости и др.);
- количественной оценки неопределенности или анализа рисков, в частности – оценки рисков возникновения отказов и неисправностей.

Упомянутые выше направления анализа и проведения расчетов требуют значительного числа итераций моделирования с различными комбинациями входных параметров, общее число которых может достигать сотен и тысяч [254]. Прогон высокоточных FEA/CAE/CFD-моделей может занимать часы, а иногда и дни. Кроме того, в данном случае может оказаться невыполнимым или представлять значительные вычислительные трудности программно-аппаратное моделирование (предназначенное для отладки и тестирования отдельных элементов сложных технических систем) [255].

Основной мотивацией – актуальными приоритетами – компаний-поставщиков и пользователей инженерного программного обеспечения при применении технологий компьютерного моделирования сейчас являются качество и функциональные характеристики продукции, а также снижение стоимости самой продукции и сокращение затрат на проектирование. В то же время, по результатам опроса 176 экспертов – представителей компаний-поставщиков и пользователей инженерного программного обеспечения, – проведенного в 2023 году международной консалтинговой организацией McKinsey совместно с ассоциацией NAFEMS (International Association for the Engineering Modelling, Analysis and Simulation), объединяющей международное сообщество специалистов в области инженерного моделирования и анализа, в т.ч. компьютерного моделирования, все более значимым становится срок выхода продукции на рынок [256].

В данных условиях особую ценность приобретают ROM и суррогатные модели на базе подхода, основанного на данных (машинного обучения), представляющие собой результат упрощения высокоточных статических или динамических моделей, отражающий поведение исходных моделей и позволяющий существенно сокращать время и затраты на проведение инженерных разработок [257]. Суррогатное моделирование используется в аэродинамике, при анализе прочности, в химической кинетике, прогнозировании свойств материалов и в других инженерных и научных областях для решения широкого спектра проблем и задач [115, 121] (таблица 16).

Таблица 16. Типы ROM и суррогатных моделей, применяемые для решения инженерных задач

| № | Типы задач                      | Типы применяемых моделей | Примеры                                                                   |
|---|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Прямая и глобальная оптимизация | Метод опорных векторов   | Определение области допустимых решений с помощью машинного обучения [258] |
|   |                                 | Полиномиальные функции   | Оптимизация каталитического эфформинга и изомеризации легкой нефти [259]  |

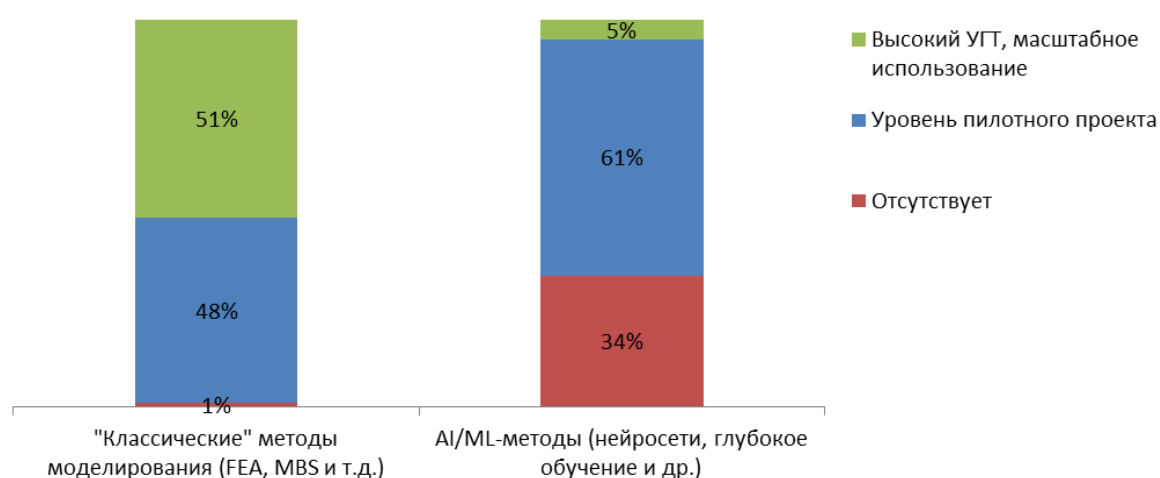
| № | Типы задач                     | Типы применяемых моделей    | Примеры                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                | Кригинг                     | Определение оптимальной структуры и рабочих параметров процессов для минимизации суммы эксплуатационных и капитальных затрат [260]; оптимизация рабочих условий процесса гидрокрекинга [261]                                                                                               |
|   |                                | Радиальные базисные функции | Определение оптимальной производительности процесса сжижения природного газа на основе одного смешанного хладагента [262]                                                                                                                                                                  |
|   |                                | Нейросети                   | Определение оптимальной структуры и рабочих параметров процессов для минимизации суммы эксплуатационных и капитальных затрат [260]; оптимизация работы криогенной установки для переработки природного газа в жидкие углеводороды [263]; глобальная оптимизация мембранных процессов [264] |
| 2 | Многокритериальная оптимизация | Метод опорных векторов      | Многоцелевая оптимизация направляющих лопаток [265]                                                                                                                                                                                                                                        |
|   |                                | Полиномиальные функции      | Оптимизация проектирования энергетических систем [266]                                                                                                                                                                                                                                     |
|   |                                | Кригинг                     | Оптимизация установки по очистке кислой воды [267]                                                                                                                                                                                                                                         |
|   |                                | Нейросети                   | Многокритериальная оптимизация управления сельскохозяйственными ландшафтами [267]                                                                                                                                                                                                          |
| 3 | Проектирование / разработка    | Кригинг                     | Разработка многоразовой ракеты-носителя [268] оптимизация процесса производства мономера винилхлорида [269]; разработка микрофлюидных генераторов градиента концентрации [270]                                                                                                             |
|   |                                | Нейросети                   | Оптимизация технологических условий процесса гидроформирования [271]                                                                                                                                                                                                                       |
| 4 | Планирование                   | Линейная регрессия          | Интеграция планирования и управления, оптимизация предприятия воздухоразделительных установок [272]                                                                                                                                                                                        |
|   |                                | Сегментная регрессия        | Интегрированная оптимизация задач планирования и динамической оптимизации для последовательного пакетного процесса [273]                                                                                                                                                                   |
|   |                                | Полиномиальные функции      | Анализ надежности пластиковых композитов, армированных однонаправленным стекловолокном [274]                                                                                                                                                                                               |

| № | Типы задач                             | Типы применяемых моделей        | Примеры                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                        | Нейросети                       | Интеграция планирования и управления, оптимизация предприятия воздухооразделительных установок [272]                                                                                                                                              |
| 5 | Управление технологическими процессами | Степенные ряды                  | Одновременное проектирование и управление в модели Tennessee Eastman Process (TEP) [275]                                                                                                                                                          |
|   |                                        | Нечеткие модели                 | Интеграция проектирования и управления в условиях неопределенности для ряда стационарных процессов [276]                                                                                                                                          |
|   |                                        | Модели в пространстве состояний | Интеграция проектирования, планирования и управления технологическими процессами, проиллюстрированная на двух примерах: система из двух реакторов непрерывного действия с мешалкой и небольшая сеть теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) в жилом доме [277] |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных [252]

ROM-модели и суррогатные модели выступают основой для создания инструментов моделирования, которые в маркетинговом контексте позиционируются как «AI/ML-технологии» – технологии моделирования на базе искусственного интеллекта и машинного обучения [278] – [279]. По данным совместного исследования McKinsey и NAFEMS [278], несмотря на абсолютное лидерство в области проектирования и моделирования «традиционных» методов (таких как анализ методом конечных элементов (FEA) и моделирование многотельных систем (MBS)), две трети опрошенных организаций используют инструменты моделирования на базе искусственного интеллекта и машинного обучения как пилотные проекты (рисунок 7).

Рисунок 7. Использование «классических» и AI/ML-методов моделирования, % респондентов

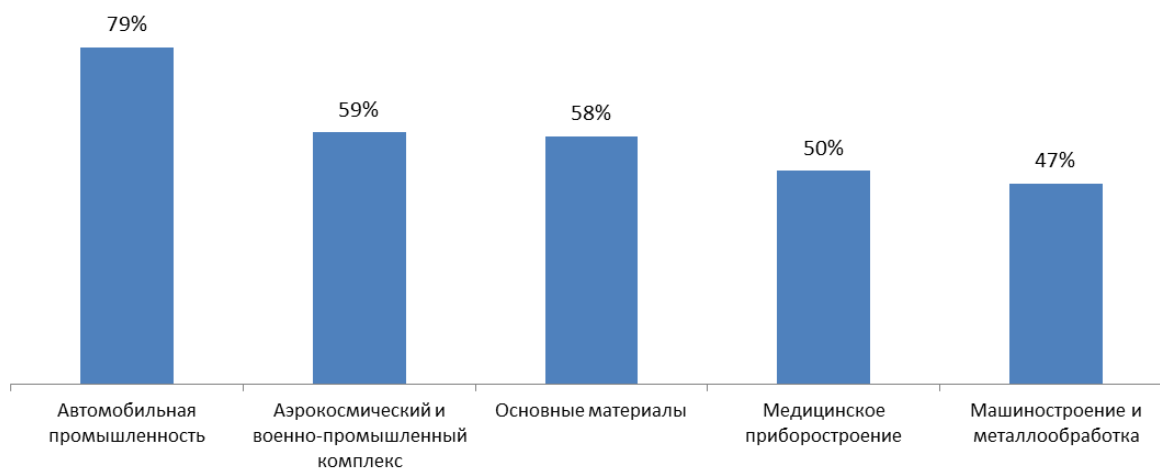


Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных [278]

В отраслевом разрезе, по данным опроса [278], лидером по применению инструментов

моделирования на базе искусственного интеллекта и машинного обучения является автомобильная промышленность – 76% респондентов, отметивших наличие в их организациях, как минимум, отдельных пилотных проектов в сфере AI/ML применительно к моделированию и проектированию (рисунок 8).

Рисунок 8. Использование AI/ML-методов моделирования по отраслям, % респондентов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных [278]

В остальных рассмотренных отраслях об использовании инструментов моделирования на базе искусственного интеллекта и машинного обучения в том или ином виде сообщает около половины опрошенных (при этом важно учитывать, что фактически «ROM-модели и суррогатные модели» и «AI/ML-технологии» являются пересекающимися областями).

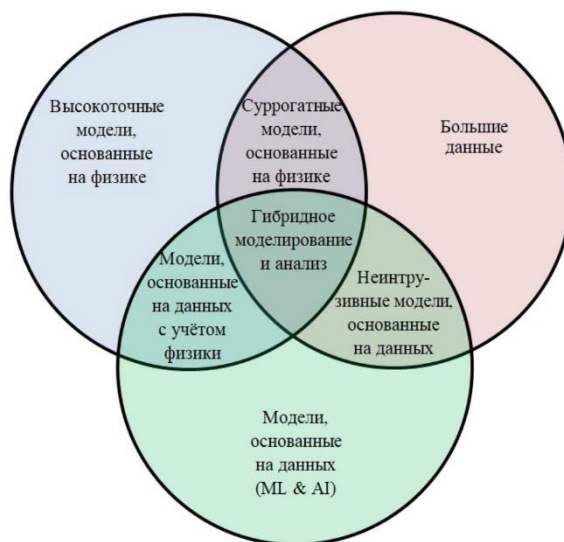
Как было сказано выше, основными областями успешного применения ROM и суррогатных моделей в инженерной практике являются решение задач оптимизации (прямая, глобальная и многокритериальная оптимизация), непосредственно проектирование, планирование, а также управления технологическими процессами. Соответственно, ROM и суррогатные модели могут рассматриваться как важные элементы при создании цифровых [280] [281]. Исследователи [282] – [283] выделяют три основных подхода к созданию цифровых двойников сложных киберфизических систем: модели, основанные на физике (physics-based); модели, основанные на данных (data-driven) и гибридные модели.

Модели, основанные на физике, выстраиваются на базе наблюдений за поведением физических объектов (математического выражения результатов этого наблюдения), при этом неизбежно делается ряд допущений [282].

В последнее время (за счет относительного снижения стоимости высокопроизводительных вычислений и роста эффективности методов машинного обучения) все большую популярность начинают приобретать модели, основанные на данных [284]. Подобный подход позволяет обновлять и дополнять модели новыми данными даже после развертывания [283]. Однако, как уже было сказано выше, итерации высокоточного моделирования требуют существенных мощностей и временных затрат, в этом случае баланс между необходимой точностью и доступными мощностями способны обеспечить ROM-модели [252].

Гибридные модели, как следует из названия, объединяют два подхода, рассмотренных выше, позволяя увеличивать точность и сложность моделей. В частности, к гибридным моделям относятся суррогатные модели, основанные на данных, построенные на базе исходных, основанных на физике (суррогатные модели, основанные на физике). Основные сочетания моделей, основанных на физике, и моделей, основанные на данных, отражены на схеме (рисунок 9).

Рисунок 9. Основные сочетания моделей, основанных на физике, и моделей, основанные на данных



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных [281]-[282]

В таблицу 17 сведены ключевые преимущества и недостатки суррогатных моделей, основанных на физике в сравнении с «классическими» моделями, основанными на физике и моделями, основанными на данных.

Таблица 17. Ключевые преимущества и недостатки суррогатных моделей, основанных на физике в сравнении с «классическими» моделями, основанными на физике и моделями, основанными на данных

| Критерий     | Модели, основанные на физике                     | Модели, основанные на данных                                                                                                                                                                                                                                                 | Суррогатные модели, основанные на физике                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Преимущества | Прочный фундамент, основанный на физике и логике | После того как модель обучена, она становится достаточно устойчивой в формировании выводов о поведении моделируемой системы / процесса и в прогнозировании, естественно, в рамках того датасета, на котором она проходило обучение нейросетей, следовательно, как правило из | После того как модель обучена, она становится достаточно устойчивой в формировании выводов о поведении моделируемой системы / процесса и в прогнозировании, естественно, в рамках того датасета, на котором она проходило обучение нейросетей, |

| Критерий   | Модели, основанные на физике                                   | Модели, основанные на данных                                                                                                                                                | Суррогатные модели, основанные на физике                                                                                                                                                                  |
|------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |                                                                | рассмотрения выпадают нарушения нормальных условий работы и аварийные ситуации, так как эти ситуации уникальны, не повторяются, и понятно, что далеко не все уже произошли. | следовательно, как правило из рассмотрения выпадают нарушения нормальных условий работы и аварийные ситуации, так как эти ситуации уникальны, не повторяются, и понятно, что далеко не все уже произошли. |
|            | Погрешности могут быть ограничены и оценены                    | Учитывает долгосрочные исторические данные и опыт                                                                                                                           | Погрешности могут быть ограничены и оценены                                                                                                                                                               |
|            | Менее подвержены систематическим ошибкам метода                | -                                                                                                                                                                           | Менее подвержены систематическим ошибкам метода                                                                                                                                                           |
|            | Существует возможность обобщения задач с аналогичной «физикой» | -                                                                                                                                                                           | Несмотря на то, что модели данного типа представляют собой «черный ящик», они отражают отдельные физические закономерности                                                                                |
| Недостатки | Сложность учета долгосрочных исторических данных               | Большинство передовых алгоритмов представляют собой «черные ящики»                                                                                                          | Сложность учета долгосрочных исторических данных                                                                                                                                                          |
|            | Чувствительны, подвержены численной неустойчивости             | Сложно ограничить и оценить ошибки / неопределенность                                                                                                                       | Ограниченные возможности обобщения непредвиденных проблем / задач                                                                                                                                         |
|            | -                                                              | Систематические ошибки метода сказываются на предсказательных способностях моделей                                                                                          | -                                                                                                                                                                                                         |
|            | -                                                              | Незначительные возможности обобщения непредвиденных проблем / задач                                                                                                         | -                                                                                                                                                                                                         |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных [281]

Суррогатные модели, основанные на физике, обладают преимуществами, присущими как решениям, основанным на физике, так и решениям, основанным на данных. Вышеуказанные преимущества связаны, прежде всего, с тем, что данная разновидность моделей может описывать поведение системы в тесной связи с исходной моделью, что обеспечивает стабильность. В то же время,

ошибки / неопределенность могут быть «унаследованы» от исходной модели. Погрешность суррогатной модели зависит от типа суррогатной модели и числа вычислительных экспериментов, используемых для ее обучения. Кроме того, для качества суррогатной модели критическое значение имеет качество и объем выборки входных и выходных параметров [283].

В целом ROM и суррогатные модели применяются для решения таких задач, как оптимизация различных типов (прямая, глобальная и многокритериальная); проектирование / разработка; планирование; управление технологическими процессами. Рассматриваемые модели также являются базой для создания «продуктовых» AI/ML-решений в области компьютерного проектирования и моделирования, основой для создания цифровых двойников сложных технологических систем, а также физико-технических и производственных процессов. Кроме того, инструменты, разрабатываемые на основе данных решений не требующие непосредственно написания программного кода, могут использоваться не только специалистами-инженерами.

## 8.2. Анализ функциональных возможностей CAE-систем и особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах

### 8.2.1. Анализ функциональных возможностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в CAE-системах

В рамках настоящего раздела основное внимание уделяется CAE-системам, лидирующим на мировом рынке инженерного программного обеспечения. Важно отметить, что компании – лидеры рынка преимущественно являются держателями платформ, предоставляющих комплексные решения CAD/CAM/CAE и PDM/PLM. Примеры расширения функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM-моделей и суррогатных моделей представлены в таблице 17.

Таблица 18. Функциональные возможности CAE-систем при реализации ROM и суррогатных моделей

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы    | Характеристика функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Siemens Digital Industries Software  | Simcenter 3D software [285] | <p>Преобразование подробных данных, полученных в результате моделирования или испытаний, в инструменты прогнозирования, позволяющие быстрый ввод входных параметров и мгновенное получение результатов.</p> <p>Отдельный инструмент в портфеле Simcenter – <b>Simcenter Reduced Order Modeling</b> [286] – платформа для построения, проверки и экспорта моделей сокращенной размерности / моделей пониженного порядка или сокращенного порядка.</p> <p>Может использоваться для решения широкого спектра инженерных задач – теплового, механического моделирования или моделирования физических испытаний и др.</p> |

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы                          | Характеристика функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |                                                   | <p>Работает с широким спектром методов – от линейной алгебры до нейронных сетей и моделей на основе машинного обучения (ML) и искусственного интеллекта (AI).</p> <p>В Simcenter 3D также используются подходы машинного обучения для создания суррогатных моделей, которые имеют значительные преимущества в производительности по сравнению с детальными, основанными на физике. Такие модели могут быть особенно полезны для приложений, работающих в режиме реального времени, или в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.</p> <p>В Simcenter 3D на базе Simcenter Reduced Order Modeling предусмотрена функция «развертки модели», которая обучает несколько моделей и оценивает их пригодность по различным показателям эффективности.</p> <p>«На входе» могут использоваться данные из любых источников, том числе – в режиме реального времени для задач управления и мониторинга.</p> <p>Система одинаково работает как с форматами данных, принятых в экосистеме ПО Siemens, так и с вендор-нейтральными форматами данных.</p> <p>Возможен экспорт моделей в открытые форматы (FMI, ONNX и Amesim).</p> <p>Экспортируемые модели не зависят от ПО и не требуют лицензий или проприетарных решателей для запуска.</p> <p>Единый интерфейс для всего процесса работы с ROM-моделями и суррогатными моделями – от импорта данных, выбора, обучения и проверки моделей до экспорта результатов.</p> <p>Имеется no-code-интерфейс, обеспечивающий доступ специалистов, не являющихся инженерами, к следующему функционалу компьютерного моделирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Импорт данных</li> <li>• Выбор, обучение и проверка моделей</li> <li>• Экспорт результатов в требуемом формате [287] – [288]</li> </ul> |
| 2 | Ansys                                | Ansys Workbench [289]<br>Ansys Twin Builder [290] | <p>В экосистеме Ansys ROM-модели создаются и используются в ряде программных подсистем в течение многих лет. В последние годы компания в основном размещает материалы по ROM-моделям в разделах, связанных с продуктом Ansys <b>Twin Builder</b></p> <p>Twin Builder работает в связке с другими технологиями моделирования физических процессов Ansys, за счет чего</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы | Характеристика функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |                          | <p>становится возможным создание эффективных моделей системного уровня, причем, как заявляется, создание подобных моделей занимает несколько секунд</p> <p>Основным средством создания ROM-моделей выступает Ansys 3D ROM Builder, используемый в составе Ansys <b>Workbench</b></p> <p>Ansys Twin Builder также может импортировать ROM-модели из сторонних приложений и экспортировать в вендор-нейтральные форматы данных</p> <p>Создание ROM-моделей является специфичным в каждом из продуктов Ansys (в зависимости от физических процессов), но процедура работы с полученным результатом является универсальной [290] – [291] – [292].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 3 | MathWorks                            | MATLAB                   | <p>Расширение Simulink для создания моделей пониженного порядка (ROM) подсистем, смоделированных в Simulink, включая полномасштабные, высокоточные модели сторонних производителей.</p> <p>Редуцированные модели можно использовать для моделирования на уровне системы, тестирования аппаратных средств в контуре управления (hardware-in-the-loop), расчета систем управления и моделирования виртуальных датчиков.</p> <p>Основными возможностями расширения Simulink для ROM:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Настройка дизайна экспериментов и генерация входных-выходных данных для обучения из полномасштабной подсистемы высокой точности</li> <li>• Обучение и сравнение моделей пониженного порядка на основе ИИ, с использованием предварительно настроенных шаблонов</li> <li>• Экспорт суррогатных моделей на основе ИИ в Simulink для моделирования на уровне системы, проектирования управления и тестирования аппаратных средств в контуре управления.</li> <li>• Экспорт ROM-моделей в виде функциональных макетов (FMU) для использования вне MATLAB и Simulink (с помощью Simulink Compiler) [255]</li> </ul> |
| 4 | Hyperworks                           | Altair® romAI™           | <p>Altair® romAI™ позиционируется как революционная технология искусственного интеллекта в составе пакета Altair® Twin Activate™. Использование ROM-моделей для оценки систем ускоряет дорогостоящие вычислительные моделирования, такие как метод дискретных элементов (DEM), вычислительная гидродинамика (CFD) и анализ методом конечных элементов (FEA), оставляя больше возможностей</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы | Характеристика функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |                          | <p>для проверки идей и оптимизации работы системы. Такой оптимизированный подход помогает организациям сократить время выхода на рынок и снизить затраты.</p> <p>В качестве конкурентных преимуществ системы заявляются:</p> <p>Простота использования – Altair® romAI™ является приложением «по code» с интуитивно понятным интерфейсом. Возможности ROM и рабочие процессы на основе искусственного интеллекта облегчают внедрение любых изменений в модели с большой скоростью.</p> <p>Совместимость, открытость и гибкость – Altair® romAI™ оптимизирован для выполнения междисциплинарного анализа и поддерживает популярные стандарты FMI и DLL.</p> <p>Способность к подготовке данных – предварительная обработка и фильтрация исходных данных при необходимости, а также понимание корреляции между переменными.</p> <p>Равные возможности к статическому и динамическому моделированию – широкая гибкость в определении входных и исходных данных и дополнительных переменных для динамических моделей.</p> <p>Возможности по повторному использованию, ускорению междисциплинарного анализа и развертыванию цифровых двойников; экспорт моделей в форматах FMI, C-код и DLL для использования в программном или аппаратном обеспечении сторонних производителей [293].</p> |
| 5 | Comsol                               | COMSOL Multiphysics®     | <p>В документах компании COMSOL говорится практически исключительно об использовании суррогатных моделей, без упоминания ROM-моделей [294].</p> <p>COMSOL Multiphysics® версии 6.2 представляет новую мощную функциональность для создания и использования суррогатных моделей. Эта функциональность доступна через решатели, основанные на моделировании экспериментов (Design of Experiments, DOE), а также через определения функций.</p> <p>Скорость вычислений в приложении может быть значительно увеличена за счет использования суррогатной модели вместо полноценной конечно-элементной модели.</p> <p>Для создания суррогатной модели в COMSOL Multiphysics®, необходимо провести предварительный запуск полной имитационной модели для сбора всех необходимых исходных данных.</p> <p>Компания рекомендует сбор данных, в рамках моделирования экспериментов (DOE), управляемого методом</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы | Характеристика функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |                          | <p>выборки из латинского гиперкуба (LHS), вместо случайной или равномерной выборки по сетке.</p> <p>Полученные в результате анализа данные затем вводятся в инструмент Surrogate Model Training – обучающее исследование машинного обучения, которое строит модель, имитирующую результаты полного моделирования на всем диапазоне входных данных. Другими словами, суррогатные модели хорошо подходят для интерполяции, линейных и нелинейных приложений. Однако их не следует использовать для экстраполяции.</p> <p>Для построения суррогатных моделей в COMSOL Multiphysics® можно использовать три метода машинного обучения: регрессия гауссовского процесса (GP), разложение полиномиального хаоса (PCE) и глубокие нейронные сети (DNN) [294].</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 6 | SimScale и Navasto                   | SimScale                 | <p>В конце 2023 году две небольшие немецкие компании SimScale и NAVASTO объявили о создании первой облачной платформы прогнозирования физики на основе искусственного интеллекта, предоставляющей инженерам мгновенные результаты моделирования. В основе этого решения лежит использование ROM-моделей для быстрого моделирования.</p> <p>По заявлениям разработчиков, облачное решение на основе моделей пониженного порядка и ИИ позволит демократизировать высококачественное инженерное моделирование. [295]</p> <p>Роль NAVASTO в этом сотрудничестве заключается в предоставлении решений на основе искусственного интеллекта, которые ускоряют инженерные процессы.</p> <p>Использование моделей сокращенного порядка рассматривается разработчиками в одном ряду с методами, обычно рассматриваемыми как подвиды технологий искусственного интеллекта – таких как графовые нейронные сети (GNN), преобразователи облаков точек (Point Cloud Transformers, PCT), сверточные нейронные сети (CNN) – выбор которых определяется спецификой каждого конкретного случая использования [296].</p> <p>Использование технологий искусственного интеллекта и ROM-моделей позволяет обеспечивать обратную связь в реальном времени для быстрого принятия решений и проектных итераций, а также осуществлять проверку прогнозов поведения моделей для обеспечения достоверности при принятии решений.</p> |

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы | Характеристика функциональных возможностей CAE-систем при реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | Xccelerate AI                        | Pearl CAE                | <p>В декабре 2023 года компания Xccelerate AI вывела на рынок собственную систему Pearl CAE, важнейшим компонентом которой является использование суррогатных моделей для быстрого инженерного моделирования [297].</p> <p>Pearl CAE обучает суррогатные модели на основе накопленных данных моделирования, которые уже есть у многих организаций. Ключевая концепция заключается в том, что, используя внутренние корпоративные данные CAE, пользователь получает индивидуальную модель, оптимизированную для его собственных случаев использования.</p> <p>Xccelerate AI отмечает, что при наличии правильных данных обучение алгоритма может занять несколько дней.</p> <p>Хотя изначально инструмент был разработан для инженеров, занимающихся структурным анализом в автомобильной промышленности, Xccelerate AI расширила сферу применения Pearl CAE на всех инженеров, использующих цифровое моделирование для проектирования промышленных изделий [298].</p> |
| 8 | Astraea Soft                         | Aries 3D-Surrogate-Model | <p>Японская компания Astraea Soft продвигает на рынке собственный модуль для построения суррогатных 3D-моделей. По заявлениям разработчиков, основная задача для 3D-суррогатных моделей – автоматизация рутинных процессов в 3D-проектировании. Основным рынком для компании являются небольшие инженерные компании и отдельные проектировщики – чаще всего решающие задачи ограниченной сложности [299].</p> <p>Ключевыми преимуществами своей технологии разработчики называют способности к качественному ИИ-моделированию трехмерных моделей за счет использования технологий на основе сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN), изначально ориентированной на работу с трехмерными объектами.</p> <p>По заявлению разработчиков, использование сверточных нейронных сетей и суррогатного моделирования позволило компании получить уникальные способы классификации, оценки и синтеза 3D-моделей [300].</p>                               |
| 9 | Dassault Systèmes                    | Solidworks, ABAQUS       | Не заявлено                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

Необходимо также отметить, что о реализации работы с функционалом ROM заявляется в

некоторых SPDM-системах, работающих непосредственно с данными CAE-систем. По утверждению разработчиков, ROM-решения программного обеспечения компании Esteco позволяют снижать размерность задачи без ущерба для точности и способны работать с относительно небольшими наборами данных для моделирования, что является ценным конкурентным преимуществом для специалистов по CAE, далеко не всегда обладающих необходимыми вычислительными мощностями.

Использование ROM в системе Esteco позволяет разработчикам реализовать концепцию «объяснимого искусственного интеллекта», в котором легко выстраиваются взаимосвязи между переменными модели и физическими принципами, и каждое «решение», принятое искусственным интеллектом, может быть легко объяснено человеком – в отличие от простого использования нейронных сетей для подобных задач.

Применение решений Esteco позволяет демократизировать использования AI/ML решений при работе с SPDM-системой Esteco, обладающих как сложным интерфейсом для создателей ИИ-моделей на основе данных CAE, так и упрощенным интерфейсом для работы с суррогатными моделями, предварительно подготовленными экспертами [301].

### 8.2.2. Анализ особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в CAE-системах

В рамках настоящего раздела особенности реализации ROM-моделей и суррогатных моделей также рассматриваются на примере компаний – мировых лидеров CAE-систем (таблица 19).

Таблица 19. Особенности реализации ROM и суррогатных моделей в CAE-системах

| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы                          | Особенности реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в системе                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Siemens Digital Industries Software  | Simcenter 3D software [285]                       | Отдельный инструмент в портфеле Simcenter – Simcenter Reduced Order Modeling [286] – платформа для построения, проверки и экспорта моделей сокращенной размерности / моделей пониженного порядка или сокращенного порядка. Особенности: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Интеграция с продуктами экосистемы Siemens.</li> <li>• Вендор-нейтральные форматы.</li> <li>• Открытая архитектура.</li> <li>• Единый интерфейс для всего процесса работы с ROM-моделями и суррогатными моделями.</li> <li>• No-code-интерфейс (как доступная опция).</li> <li>• Коробочное решение [287] – [288]</li> </ul> |
| 2 | Ansys                                | Ansys Workbench [289]<br>Ansys Twin Builder [290] | Отдельный инструмент – Ansys 3D ROM Builder. Особенности: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Глубокая интеграция с продуктами экосистемы Ansys.</li> <li>• Вендор-нейтральные форматы.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

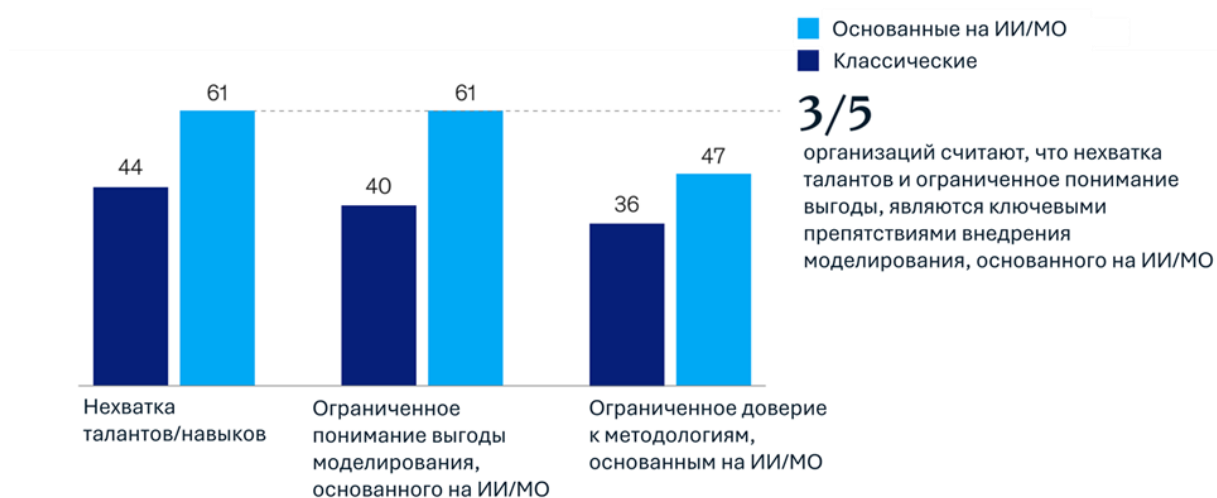
| № | Наименование компании – разработчика | Наименование CAE-системы       | Особенности реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в системе                                                                                         |
|---|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                      |                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Коробочное решение [290] – [291] – [292]</li> </ul>                                                                               |
| 3 | MathWorks                            | MATLAB, Simulink               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Широкие возможности настройки.</li> <li>Коробочное решение [255]</li> </ul>                                                       |
| 4 | Hyperworks                           | Altair® romAI™                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Гибкость, простота использования [293]</li> </ul>                                                                                 |
| 5 | Comsol                               | COMSOL Multiphysics            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Глубокая интеграция с продуктами экосистемы Comsol и узкоотраслевыми расчетами.</li> <li>Коробочное решение [294]</li> </ul>      |
| 6 | SimScale и Navasto<br>SimScale       | SimScale и Navasto<br>SimScale | <ul style="list-style-type: none"> <li>Легкий доступ.</li> <li>Низкая стоимость.</li> <li>Облачное решение [295] – [296]</li> </ul>                                      |
| 7 | Xccelerate AI                        | Pearl CAE                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ориентация на работу с собственными корпоративными данными.</li> <li>Низкая стоимость.</li> <li>Облачное решение [297]</li> </ul> |
| 8 | Astraea Soft                         | Aries 3D-Surrogate-Model       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ориентация на 3D-модели.</li> <li>Специализированные нейронные сети для работы с суррогатными моделями [299]</li> </ul>           |
| 9 | Dassault Systèmes                    | Solidworks                     | -                                                                                                                                                                        |

Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе открытых данных

### 8.3. Разработка предложений для достижения 6-го уровня готовности технологий, развиваемых в рамках научных исследований

Для создания технологий высокого уровня готовности, разработчикам необходимо обратить внимание на ключевые вызовы и технологические проблемы, стоящие перед будущими пользователями систем, использующих ROM и суррогатные модели, для заблаговременного учета потенциальных барьеров внедрения в реальный сектор экономики и ориентации на коммерческий спрос.

Рисунок 10. Ключевые препятствия для широкого внедрения «классических» и AI/ML-методов моделирования, % респондентов



Источник: Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ на основе данных [278]

Согласно обзору [278] перспектив моделирования на основе ИИ – на более «инженерном» языке сводящихся к использованию упрощенных ROM и суррогатных моделей, выполненном компанией McKinsey, основные вызовы для сферы проектирования сводятся к трем:

- Еще большое значение приобретает фактор профессиональных навыков на стороне заказчика – извечный барьер на пути интеграции новых технологий. Без освоения новых методов инженерами и менеджерами проектных организаций (в том числе менеджерами высокого звена), какое-либо развитие проблематично, и поставщики новых технологических решений должны приложить усилия по преодолению нехватки квалифицированных кадров. Они могут привлечь клиентов, предоставив им услуги по обучению и поддержке, а также способствовать более широкому пониманию ценности передового моделирования с помощью более широких коммуникационных усилий.
- Эффективность становится ключевым фактором, определяющим внедрение подходов к моделированию и выбор инструментов. Пользователи могут оптимизировать и ускорять процессы разработки продукции, решив проблемы, препятствующие более широкому внедрению моделирования, и оценив потенциальные преимущества высокоскоростных инструментов на основе ИИ и ML. Разработчики новых программных средств со своей стороны должны выстраивать свою деятельность и архитектуру собственных решений в соответствии с меняющимися приоритетами пользователей, – обеспечив плавную интеграцию своих инструментов в рабочие процессы и цифровые потоки компаний-заказчиков, с отдельным акцентом на возможностях, предоставляемых ИИ моделирование на основе упрощенных моделях, для вывода новой продукции на рынок.
- Следующим рубежом для передовых технологий моделирования является масштабируемость. Несмотря на то, что в разных отраслях применяются разные технологии, две трети респондентов опроса McKinsey уже экспериментируют с передовыми инструментами моделирования на основе ИИ. Переход от пилотных проектов к полномасштабному внедрению – это не только технологическая, но и культурная задача. Разработчики должны

сопровождать клиентов, уделяя особое внимание промышленным секторам с высоким потенциалом воздействия – автомобильной и аэрокосмической промышленности и высокой вероятностью инвестиций.

Российским компаниям, развивающим новые решения в проектировании с использованием ROM и суррогатных моделей необходимо учитывать акценты в продуктовых предложениях глобальных лидеров рынка.

Многие относительно новые малые компании (такие, например, как SimScale, Pearl CAE) концентрируются на относительно недорогих облачных решениях. Учитывая задачи импортозамещения в «среднетехнологических» предприятиях российской экономики, общую дороговизну вычислительных мощностей и относительно малые ИТ-бюджеты российских проектировщиков, облачное CAE-решение на основе ROM-моделей, может стать достаточно перспективным для российского рынка в ряде отраслей.

В высокотехнологичных секторах, на которых концентрируют свое продуктивное предложение крупнейшие участники рынка (Siemens, Ansys и др.) исключительную важность приобретают возможности работы с различными вендор-нейтральными форматами данных (что особенно важно для российской экономики в условиях санкционного давления), возможность эффективной работы с накопленными массивами данных и ранее созданными полноразмерными моделями и ROM, а также решения «no-code», позволяющие использовать проектировочные решения менее квалифицированным инженерам и менеджерам компаний. В условиях кадрового кризиса во многих высокотехнологичных отраслях российской экономики можно утверждать о высоком потенциале спроса на «демократизирующие» решения для проектирования, при наличии должных систем верификации создаваемых моделей.

На мировом рынке в последние несколько лет реализация проектов моделирования на основе ROM и суррогатных моделей позиционируется как использование методов искусственного интеллекта в моделировании. Такое позиционирование позволяет новым компаниям находить себе рыночную нишу, а зрелым игрокам создавать себе пространство под новые проекты – но вместе с этим восприятие таких методов как инновационных создает определенные подозрения со стороны заказчиков. По общей экспертной оценке, внедрение таких методов в проектирование и моделирование в мировом масштабе находится на относительно ранней стадии, что будет требовать от разработчиков решений на основе ROM и суррогатных моделей с одной стороны знакомства с передовой практикой использования, а с другой – глубокого знакомства с традиционными методами компьютерного моделирования и связанных с ними бизнес-процессами, для лучшего понимания продуктовых задач компаний-заказчиков и их корпоративной культуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании были проанализированы различные аспекты развития рынка систем инженерного анализа (CAE-систем).

Современные системы инженерного анализа (CAE-системы, Computer-Aided Engineering, CAE) представляют собой 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.

В первой главе представлен анализ мирового и российского рынка, а именно емкость рынков и темпы роста, характеристики основных игроков и их доли на рынке. По данным компании IMARC объем рассматриваемого рынка в 2023 г. достиг 10,20 млрд долл., темпы роста (CAGR) в период 2023-2032 гг. составят 9,10%. На основе экспертной оценки объем российского рынка CAE в 2023 г. составил 0,06 млрд долл., ожидаемый рост рынка (CAGR) составит 5% в период 2022 – 2024 г.

Для мирового рынка подробно рассмотрены географические сегменты и факторы развития, такие как высокий спрос на облачные/SaaS-решения, распространение технологии 3D-печати, растущее внедрение вычислительной гидродинамики (CFD) в проектировании аккумуляторов 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. В качестве наиболее важных технологических тенденций для развития CAE-систем можно выделить облачные технологии и технологии искусственного интеллекта.

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 зарубежных систем были отобраны ведущие представители рынка, в числе которых Ansys Inc., Altair Engineering Inc., Siemens AG, Dassault Systemes SE, Hexagon AB (MSC Software) и COMSOL Inc. и др. Для анализа российских систем – ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», ООО «Фидесис», ООО «ТЕСИС», ООО НТЦ «АПМ», ЗАО «АвтоМеханика», ООО «КАДФЛО», ООО «Тор», ООО «Ладуга», ООО «НИИ «АСО-НИКА», ООО «ЗВС» 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 CAE-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 CAE-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, применяемых при инженерном анализе, в 2024 году, а именно: представлена характеристика ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей; проведен анализ функциональных возможностей CAE-систем и особенностей реализации ROM (Reduced Order Model) и суррогатных моделей в эффективных и востребованных на рынке CAE-системах; представлены предложения для достижения 6-го уровня готовности технологий, развиваемых в рамках научных исследований.

Таким образом, доклад формирует комплексное представление о развитии рынка систем инженерного анализа (CAE-систем), в том числе о направлениях развития современных технологий, составляющих рассматриваемые системы.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ РОССИЙСКИХ САЕ-СИСТЕМ<sup>8</sup>

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                                                                       | Класс ПО                                                                                                                                                                                                                                         | Дата внесения | Правообладатель                                 | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 24268      | Программное обеспечение для расчета радиолокационных характеристик объектов сложной формы                                             | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                                                                                                               | 04.10.2024    | АО «НЦ ПЭ»                                      | 7839498284 | 2022684772         | 16.12.2022        |
| 23608      | SimCrack                                                                                                                              | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                                                                                                               | 12.08.2024    | ООО «СИНЦ»                                      | 5216017060 | 2023668700         | 31.08.2023        |
| 23373      | 2Drill: Цифровая платформа для проектирования и моделирования строительства скважин                                                   | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD); Средства технологической подготовки производства (CAPP); Программное обеспечение для решения отраслевых задач в области энергетики и нефтегазовой отрасли | 25.07.2024    | ООО «Страта Солюшенс»                           | 5047147696 | 2024619306         | 22.04.2024        |
| 23226      | Программный комплекс Зенит для математического моделирования физических процессов (ПК «Зенит»)                                        | Средства инженерного анализа (CAE); Универсальные машиностроительные средства автоматизированного проектирования (MCAD)                                                                                                                          | 15.07.2024    | ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ ИМ. АКАДЕМ. Е.И. ЗАБАХИНА»  | 7423000572 | 2023686847         | 08.12.2023        |
| 22891      | База данных типовых размеров и характеристик обсадных колонн скважин, насосно-компрессорных труб, гибких насосно-компрессорных труб и | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                                                                                                               | 14.06.2024    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020620211         | 05.02.2020        |

<sup>8</sup> На основании выгрузки из Единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, выполненной 11.10.2024, по классификатору, утвержденному приказом от 22.09.2020 № 486 только по основным ПО

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                                                                                                          | Класс ПО                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Дата внесения | Правообладатель                                                                                                               | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|-------------------|
|            | внутрискважинного оборудования                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |               |                                                                                                                               |            |                    |                   |
| 22642      | OPTIMENGA_UAV – программа для оптимального аэродинамического проектирования и аэродинамического анализа беспилотных летательных аппаратов различного класса и назначения | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 24.05.2024    | ООО «ОПТИМЕНГА-777»                                                                                                           | 7731420500 | 2020661954         | 05.10.2020        |
| 22598      | ThermoCalc-3D Pro                                                                                                                                                        | Средства инженерного анализа (CAE); Программы технического обслуживания и ремонта (CMMS); Программное обеспечение промышленной диагностики оборудования или систем оборудования; Программное обеспечение для решения отраслевых задач в области энергетики и нефтегазовой отрасли; Информационные системы для решения специфических отраслевых задач | 24.05.2024    | ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ТПУ, НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ | 7018007264 | 2023688527         | 22.12.2023        |
| 22037      | Модуль транспорта пропанта на основе многосеточного метода для решения уравнения Пуассона для давления                                                                   | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 04.04.2024    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА»                                                                               | 8601066868 | 2020615272         | 20.05.2020        |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                                                                                              | Класс ПО                                                                                                                                                 | Дата внесения | Правообладатель                                 | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 21956      | Модуль динамики многокомпонентной жидкости в скважине в рамках односкоростного подхода                                                                       | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                       | 20.03.2024    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020615223         | 19.05.2020        |
| 21911      | Модуль калибровки расчетных значений на фактические данные закачки и автоматизированной корректировки геометрической модели при анализе результатов мини ГРП | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                       | 15.03.2024    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020610972         | 22.01.2020        |
| 21795      | Модуль расчета многостадийного ГРП в слоистой пористосжимающей среде в рамках модели Planar 3D ILSA                                                          | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                       | 15.03.2024    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020611805         | 11.02.2020        |
| 21243      | Модуль формирования сводного инженерного отчета о характеристиках трещин                                                                                     | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                       | 30.01.2024    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020611126         | 24.01.2020        |
| 20837      | Информационная система геотехнического контроля                                                                                                              | Средства инженерного анализа (CAE); Программное обеспечение для решения отраслевых задач в области строительства зданий и инженерных сооружений          | 26.12.2023    | ООО «ЦЕНТР 2М»                                  | 7704330696 | 2023613379         | 14.02.2023        |
| 20526      | Программа для хранения, обработки, интерпретации и визуализации геохимических данных                                                                         | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD); Информационные системы для решения специфических отраслевых задач | 14.12.2023    | ООО «Газпром-нефть НТЦ»                         | 7838395487 | 2023669724         | 19.09.2023        |
| 20098      | САТЕС-ДК (САТЕС 2.0)                                                                                                                                         | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                       | 27.11.2023    | ИПФ РАН                                         | 5260003387 | 2022663702         | 19.07.2022        |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                                                                     | Класс ПО                                                                                              | Дата внесения | Правообладатель                                 | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 19627      | Программа учета и управления процессами оборудования – SysCP (System Control Process)                                               | Средства инженерного анализа (CAE); Информационные системы для решения специфических отраслевых задач | 17.10.2023    | ООО «МПСА-СЕРВИС»                               | 7451422777 | 2023667294         | 31.07.2023        |
| 19213      | АРМ-Лаборант. Регистратор                                                                                                           | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                    | 23.09.2023    | ООО «АМБИ-ТЕКС»                                 | 4824101974 | 2023663297         | 21.06.2023        |
| 18945      | Универсальный решатель USPARS                                                                                                       | Средства инженерного анализа (CAE); Библиотеки подпрограмм (SDK)                                      | 05.09.2023    | ООО НЦИТ «УНИПРО»                               | 5408135451 | 2022614559         | 23.03.2022        |
| 18190      | Модуль автоматизированного создания геомеханической модели по данным ГИС                                                            | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                    | 05.07.2023    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020611184         | 24.01.2020        |
| 18183      | Модуль расчета геометрии плоской трещины ГРП в слоистой по сжимающим напряжениям среде по модели Planar 3D ILSA                     | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD)                 | 05.07.2023    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020611608         | 05.02.2020        |
| 18182      | Модуль прогнозирования уровня добычи скважины с ГРП / МГРП                                                                          | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD)                 | 05.07.2023    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020612995         | 06.03.2020        |
| 18181      | База данных характеристик пропантов, флюидов и кислотных составов, применяемых при гидроразрыве пласта                              | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD)                 | 05.07.2023    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020620788         | 18.05.2020        |
| 18180      | Модуль интерпретации мини ГРП и нагнетательных тестов: анализ до и после закрытия трещины, анализ тестов ступенчатого расхода (РСА, | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD)                 | 05.07.2023    | ООО «ГАЗПРОМ-НЕФТЬ-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРТНЕРСТВА» | 8601066868 | 2020610728         | 17.01.2020        |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                                                                                                                     | Класс ПО                                                                              | Дата внесения | Правообладатель                     | ИНН                    | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
|            | ACA, G-Noite, Sqrt, SRT, SDT, DFIT)                                                                                                                                                 |                                                                                       |               |                                     |                        |                    |                   |
| 17221      | Электронный «Регистратор»                                                                                                                                                           | Средства инженерного анализа (CAE)                                                    | 11.04.2023    | ООО «АМБИТЕКС»                      | 4824101974             | 2022664696         | 03.08.2022        |
| 16945      | Цифровая платформа «CLS Planner»                                                                                                                                                    | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD) | 21.03.2023    | ООО «Страта Солюшенс»               | 5047147696             | 2022681978         | 17.11.2022        |
| 16400      | Комплекс программных модулей для проектирования, сопровождения и оптимизации операции гидро-разрыва пласта                                                                          | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD) | 30.01.2023    | ООО «Страта Солюшенс»; МФТИ, ФИЗТЕХ | 5047147696; 5008006211 | 2021616813         | 27.04.2021        |
| 15515      | Надежность                                                                                                                                                                          | Средства инженерного анализа (CAE)                                                    | 16.11.2022    | АО «ОКБ «Аэрокосмические системы»   | 5010041950             | 2022617607         | 25.04.2022        |
| 15334      | Программный модуль «Система обеспечения инженерных расчетов» комплекса программ в защищенном исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие» (СПЖЦ.САЕ) | Средства инженерного анализа (CAE)                                                    | 31.10.2022    | ФГУП «РФАЦ – ВНИИЭФ»                | 5254001230             | 2021664291         | 02.09.2021        |
| 15112      | Программный комплекс EWT-128-ЦАГИ для моделирования течения в трансзвуковой аэродинамической трубе                                                                                  | Средства инженерного анализа (CAE)                                                    | 07.10.2022    | ФАУ «ЦАГИ»                          | 5040177331             | 2021663575         | 19.08.2021        |
| 14353      | API Вычислительная инженерная платформа                                                                                                                                             | Средства инженерного анализа (CAE); Библиотеки подпрограмм (SDK)                      | 03.08.2022    | ООО «ВИП»                           | 7731316683             | 2021618681         | 31.05.2021        |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                     | Класс ПО                                                                                                                                                      | Дата внесения | Правообладатель         | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 13920      | ПРАДИС – Программа анализа динамических систем (PRADIS)             | Средства инженерного анализа (CAE); Средства математического и имитационного моделирования                                                                    | 14.06.2022    | ООО «Ладуга»            | 6321369143 | 2020664021         | 06.11.2020        |
| 13242      | Chemical Workbench                                                  | Средства инженерного анализа (CAE); Информационные системы для решения специфических отраслевых задач                                                         | 11.04.2022    | ООО «Кинтех Лаб»        | 7734651111 | 2019614065         | 27.03.2019        |
| 13237      | TurboR&D.Mesher (TR D.Mesher)                                       | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                            | 11.04.2022    | ООО «ИЦ Чиссл»          | 7802467931 | 2021666027         | 06.10.2021        |
| 12529      | Пакет программ «НИМФА»                                              | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                            | 14.01.2022    | ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»      | 5254001230 | 2021663998         | 27.08.2021        |
| 11569      | Программная система для решения задач роторной динамики DYNAMICS R4 | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                            | 24.09.2021    | ООО «АЛЬФА-ТРАНЗИТ»     | 5047041019 | 2018614888         | 19.04.2018        |
| 10916      | Оргнефтехим-Про                                                     | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD)                                                                         | 30.06.2021    | ООО «ОРГНЕФТЕ-ХИМ АЙТИ» | 1615015525 | РД0339247          | 25.08.2020        |
| 10892      | РИТМ.Системы управления                                             | Средства инженерного анализа (CAE); Информационные системы для решения специфических отраслевых задач; Средства математического и имитационного моделирования | 30.06.2021    | ООО «РИТМ»              | 9731011702 | 2021614354         | 23.03.2021        |
| 10373      | РИТМ ЦОС                                                            | Средства инженерного анализа (CAE);                                                                                                                           | 21.04.2021    | ООО «РИТМ»              | 9731011702 |                    |                   |

| Рег. номер | Наименование ПО                                            | Класс ПО                                                                                   | Дата внесения | Правообладатель  | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|------------|--------------------|-------------------|
|            |                                                            | Средства математического и имитационного моделирования                                     |               |                  |            |                    |                   |
| 10372      | РИТМ.Фильтрация Данных                                     | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 21.04.2021    | ООО «РИТМ»       | 9731011702 | -                  | -                 |
| 10259      | РИТМ.Электропривод                                         | Средства инженерного анализа (CAE); Средства математического и имитационного моделирования | 08.04.2021    | ООО «РИТМ»       | 9731011702 | -                  | -                 |
| 9184       | APM FGA Анализ течения жидкостей и газов                   | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 16.02.2021    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | -                  | -                 |
| 8948       | Программа гидродинамического экспресс-анализа KompasFlow   | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD)      | 28.01.2021    | ООО «ТЕСИС»      | 7731238717 | -                  | -                 |
| 8716       | Harmonic: гармонический анализ конструкций                 | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 31.12.2020    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | 2020619696         | 21.08.2020        |
| 8547       | Fatigue: расчет выносливости                               | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 30.12.2020    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | 2020619123         | 11.08.2020        |
| 8546       | Fracture: механика разрушения                              | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 30.12.2020    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | 2020619650         | 20.08.2020        |
| 8545       | Pipe: расчет элементов трубопроводов                       | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 30.12.2020    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | 2020619697         | 21.08.2020        |
| 8544       | Composite: расчет конструкций из композиционных материалов | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 30.12.2020    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | 2020619699         | 21.08.2020        |
| 8221       | TopOpt: топологическая оптимизация                         | Средства инженерного анализа (CAE)                                                         | 28.12.2020    | ООО НТЦ «АПМ»    | 5018019971 | 2020618879         | 06.08.2020        |
| 5707       | pSeven                                                     | Средства инженерного анализа (CAE); Средства математического и имитационного               | 26.07.2019    | ООО «ДАТА-ДВАНС» | 7701899205 | 2023666032         | 25.07.2023        |

| Рег. номер | Наименование ПО                      | Класс ПО                                                                                      | Дата внесения | Правообладатель                                  | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------|------------|--------------------|-------------------|
|            |                                      | моделирования;<br>Средства интеллектуального анализа данных (Data Mining)                     |               |                                                  |            |                    |                   |
| 5389       | Универсальный механизм               | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 06.05.2019    | ООО «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА»                    | 3245505205 | -                  | -                 |
| 5377       | Цифровой испытательный стенд DigITEF | Средства инженерного анализа (CAE);<br>Средства математического и имитационного моделирования | 06.05.2019    | ИСП РАН                                          | 7709006125 | -                  | -                 |
| 5045       | Логос                                | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 03.12.2018    | ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»                               | 5254001230 | -                  | -                 |
| 4967       | APM Multiphysics                     | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 03.12.2018    | ООО НТЦ «АПМ»                                    | 5018019971 | 2016614729         | 04.05.2016        |
| 4468       | ELCUT                                | Средства инженерного анализа (CAE);<br>Средства математического и имитационного моделирования | 16.04.2018    | ООО «ТОР»                                        | 7838461098 | -                  | -                 |
| 3090       | APM StructFEM                        | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 14.03.2017    | ООО Научно-технический центр «АПМ»               | 5018019971 | 2011619423         | 12.12.2011        |
| 2870       | ПАССАТ                               | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 10.02.2017    | ООО «Научно-техническое предприятие Трубопровод» | 7706076702 | -                  | -                 |
| 2868       | Штуцер-МКЭ                           | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 10.02.2017    | ООО «Научно-техническое предприятие Трубопровод» | 7706076702 | -                  | -                 |
| 2866       | Гидросистема                         | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 10.02.2017    | ООО «Научно-техническое предприятие Трубопровод» | 7706076702 | -                  | -                 |
| 2751       | APM FEM для КОМПАС-3D                | Средства инженерного анализа (CAE)                                                            | 10.02.2017    | ООО Научно-технический центр «АПМ»               | 5018019971 | -                  | -                 |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                | Класс ПО                                                                                                                                                                                                    | Дата внесения | Правообладатель                        | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 2570       | CAE Fidesys                                                                    | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                                                                          | 23.12.2016    | ООО «ФИДЕСИС»                          | 7725692471 | -                  | -                 |
| 2569       | APM Civil Engineering                                                          | Средства инженерного анализа (CAE); Средства информационного моделирования зданий и сооружений, архитектурно-строительного проектирования (BIM, AEC CAD)                                                    | 23.12.2016    | ООО Научно-технический центр «АПМ»     | 5018019971 | -                  | -                 |
| 2504       | Программный комплекс FlowVision вычислительной аэро- гидродинамики             | Средства инженерного анализа (CAE); Средства управления жизненным циклом изделия (PLM)                                                                                                                      | 23.12.2016    | ООО «ТЕСИС»                            | 7731238717 | -                  | -                 |
| 2270       | Программный комплекс «Интегрированная система анализа конструкций SCAD Office» | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD); Средства информационного моделирования зданий и сооружений, архитектурно-строительного проектирования (BIM, AEC CAD) | 08.11.2016    | ООО НАУЧНО-ПРОЕКТНАЯ ФИРМА «СКАД СОФТ» | 7701629671 | -                  | -                 |
| 2236       | ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА 10                                                   | Средства инженерного анализа (CAE); Средства автоматизированного проектирования (CAD); Средства информационного моделирования зданий и сооружений, архитектурно-                                            | 08.11.2016    | ООО «ЛИРА СОФТ»                        | 7713761064 | -                  | -                 |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                          | Класс ПО                                                                                                                                                      | Дата внесения | Правообладатель     | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|------------|--------------------|-------------------|
|            |                                                                          | строительного проектирования (BIM, AEC CAD)                                                                                                                   |               |                     |            |                    |                   |
| 1818       | T-FLEX Динамика                                                          | Средства инженерного анализа (CAE); Информационные системы для решения специфических отраслевых задач; Средства математического и имитационного моделирования | 06.09.2016    | ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ»   | 7726601967 | -                  | -                 |
| 1817       | T-FLEX Анализ                                                            | Средства инженерного анализа (CAE); Информационные системы для решения специфических отраслевых задач; Средства математического и имитационного моделирования | 06.09.2016    | ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ»   | 7726601967 | -                  | -                 |
| 711        | IndorPavement                                                            | Средства инженерного анализа (CAE); Программное обеспечение для решения отраслевых задач в области строительства зданий и инженерных сооружений               | 29.04.2016    | ООО «ИНДОРСОФТ»     | 7017290572 | -                  | -                 |
| 498        | Система проектирования и расчета асинхронных электродвигателей СПРУТ-АЭД | Средства инженерного анализа (CAE)                                                                                                                            | 18.04.2016    | ООО «ЦЕНТР СПРУТ-Т» | 7734220468 | -                  | -                 |

| Рег. номер | Наименование ПО                                                                                            | Класс ПО                                                                                                                                                 | Дата внесения | Правообладатель    | ИНН        | Номер гос. рег-ции | Дата гос. рег-ции |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|------------|--------------------|-------------------|
| 325        | СТАРКОН (в составе программ STARK ES, Металл, СпИн, Одиссей, TouchAt / Poseidon)                           | Средства инженерного анализа (CAE); Средства информационного моделирования зданий и сооружений, архитектурно-строительного проектирования (BIM, AEC CAD) | 08.04.2016    | ООО «ЕВРОСОФТ»     | 7728053603 | -                  | -                 |
| 280        | Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER | Средства инженерного анализа (CAE); Дополнительные программные модули (плагины); Средства математического и имитационного моделирования                  | 02.04.2016    | ООО «АвтоМеханика» | 9718050614 | 2016615736         | 27.05.2016        |

## 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) | <p>– 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.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Средства автоматизированного проектирования (САПР) (CAD)                      | <p>– Система автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического моделирования и параметрического проектирования, позволяющая создавать чертежи, оформлять конструкторскую и технологическую документацию.</p> <p>См. также MCAD 2D, MCAD 3D.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Системы управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM)    | <p>– 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.</p> <p>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.</p> <p>SPDM-системы позволяют обеспечить прозрачность и контролируемость процесса разработки, принятие обоснованных решений; упрощают работу с результатами цифровых испытаний, включая цифровые испытания на цифровых испытательных</p> |

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, инициирует, 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.<br><br>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. CAE Системы инженерного анализа [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CAE\\_Системы\\_инженерного\\_анализа](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CAE_Системы_инженерного_анализа) (дата обращения: 23.12.2024).
2. Kojima Y. Mechanical CAE in Automotive Design / Y. Kojima // R&D Review of Toyota CRDL. – 2000. – Т. 35. – № 4. – Р. 1-10.
3. Pangarkar T. Computer-Aided Engineering Analysis of the Designed Visualization [Электронный ресурс]. – URL: <https://scoop.market.us/computer-aided-engineering-a-best-analysis-of-the-designed-visualization/> (дата обращения: 21.11.2024).
4. Top 7 Trends In Computer-Aided Engineering (CAE) Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/blog/top-7-trends-in-computer-aided-engineering-cae-software/> (дата обращения: 21.11.2024).
5. Computer Aided Engineering (CAE) Market Analysis, 2024-2034 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/computer-aided-engineering-market> (дата обращения: 23.12.2024).
6. Computer-Aided Engineering Market Report by Type (Finite Element Analysis (FEA), Computational Fluid Dynamics (CFD), Multibody Dynamics, Optimization & Simulation), Deployment Type (On-premises, Cloud-based), End-Use Industry (Automotive, Defense & Aerospace, Electronics, Medical Devices, Industrial Equipment, and Others), and Region 2024-2032 [Электронный ресурс]. – URL: <https://secure.livechatinc.com/> (дата обращения: 23.12.2024).
7. Computer-aided Engineering Market Size, Share | Growth [2032] [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/computer-aided-engineering-market-106891> (дата обращения: 23.12.2024).
8. <https://www.technavio.com> T. Computer Aided Engineering (CAE) Market Analysis – US, Germany, China, France, Japan – Size and Forecast 2024-2028 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.technavio.com/report/computer-aided-engineering-market-industry-analysis> (дата обращения: 23.12.2024).
9. Global Computer-Aided Engineering Market Size, Trends and Forecast To 2029 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agileintelresearch.com/reportdetails/Global-Computer-Aided-Engineering-Market-/47> (дата обращения: 23.12.2024).
10. Акции Hexagon (HEXAb) – Investing.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.investing.com/equities/hexagon?cid=25986> (дата обращения: 23.12.2024).
11. Hexagon Year-End Report 1 January – 31 December 2023 | Hexagon [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/company/newsroom/press-releases/2024/hexagon-year-end-report-1-january---31-december-2023> (дата обращения: 23.12.2024).
12. Hexagon AB (HEXA-B.ST) – Revenue [Электронный ресурс]. – URL: <https://companies-marketcap.com/hexagon/revenue/> (дата обращения: 23.12.2024).

13. Cadence Design Systems (CDNS) – Revenue [Электронный ресурс]. – URL: <https://companies-marketcap.com/cadence-design-systems/revenue/> (дата обращения: 23.12.2024).
14. Акции CDNS – цена и графики (NASDAQ:CDNS) – TradingView [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.tradingview.com/symbols/NASDAQ-CDNS/> (дата обращения: 23.12.2024).
15. Акции Cadence Design (CDNS) – Investing.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.investing.com/equities/cadence-design-system-inc> (дата обращения: 23.12.2024).
16. Ansys (ANSS) – Revenue [Электронный ресурс]. – URL: <https://companiesmarketcap.com/ansys/revenue/> (дата обращения: 23.12.2024).
17. Ansys Announces Q4 and FY 2023 Financial Results | ANSYS, Inc. [Электронный ресурс]. – URL: <https://investors.ansys.com/news-releases/news-release-details/ansys-announces-q4-and-fy-2023-financial-results/> (дата обращения: 23.12.2024).
18. PTC Financial Statements 2009-2024 | PTC | MacroTrends [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/PTC/ptc/financial-statements> (дата обращения: 23.12.2024).
19. PTC (PTC) – Revenue [Электронный ресурс]. – URL: <https://companiesmarketcap.com/ptc/revenue/> (дата обращения: 23.12.2024).
20. Акции PTC (PTC) – Investing.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.investing.com/equities/ptc> (дата обращения: 23.12.2024).
21. Bentley Systems (BSY) – Revenue [Электронный ресурс]. – URL: <https://companiesmarketcap.com/bentley-systems/revenue/> (дата обращения: 23.12.2024).
22. Bentley Systems Announces Fourth Quarter and Full Year 2023 Results and 2024 Financial Outlook | Bentley Systems, Incorporated [Электронный ресурс]. – URL: <https://investors.bentley.com/news-releases/news-release-details/bentley-systems-announces-fourth-quarter-and-full-year-2023/> (дата обращения: 23.12.2024).
23. Seiko Epson Net Income 2011-2024 | SEKEY | MacroTrends [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.macrotrends.net/stocks/charts/SEKEY/seiko-epson/net-income> (дата обращения: 23.12.2024).
24. Altair Engineering (ALTR) – Revenue [Электронный ресурс]. – URL: <https://companies-marketcap.com/altair-engineering/revenue/> (дата обращения: 23.12.2024).
25. Altair Announces Fourth Quarter and Full Year 2023 Financial Results | Altair Engineering Inc. [Электронный ресурс]. – URL: <https://investor.altair.com/news-releases/news-release-details/altair-announces-fourth-quarter-and-full-year-2023-financial> (дата обращения: 23.12.2024).
26. Акции Altair Engineering (ALTR) – Investing.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.investing.com/equities/altair-engineering> (дата обращения: 23.12.2024).
27. COMSOL: Revenue, Competitors, Alternatives [Электронный ресурс]. – URL: <https://growjo.com/company/COMSOL> (дата обращения: 23.12.2024).

28. Cadence to Acquire BETA CAE, Expanding into Structural Analysis [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/cadence-to-acquire-beta-cae-expanding-into-structural-analysis/> (дата обращения: 23.12.2024).
29. Parametric Solutions: Revenue, Competitors, Alternatives [Электронный ресурс]. – URL: [https://growjo.com/company/Parametric\\_Solutions](https://growjo.com/company/Parametric_Solutions) (дата обращения: 23.12.2024).
30. Flow Sciences Software Purchases and Digital Transformation Initiatives [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.appsruntheworld.com/customers-database/customers/view/flow-sciences-united-states> (дата обращения: 23.12.2024).
31. EPA:ESIG Financials | ESI Group – Investing.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.investing.com/equities/esi-group-financial-summary> (дата обращения: 23.12.2024).
32. CAE Software Market Shaping from Growth to Value | MSC Software, Altair, ESI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.whatech.com/og/markets-research/it/666950-cae-software-market-shaping-from-growth-to-value-msc-software-altair-esi.html> (дата обращения: 23.12.2024).
33. About ANSYS, Inc. | Company Information + Values [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/company-information> (дата обращения: 23.12.2024).
34. Программные продукты ANSYS | CAE Expert [Электронный ресурс]. – URL: <https://cae-expert.ru/product> (дата обращения: 23.12.2024).
35. Design and Engineering | Hexagon [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/company/divisions/manufacturing-intelligence/what-we-do/design-engineering> (дата обращения: 23.12.2024).
36. Модули Siemens NX [Электронный ресурс]. – URL: <https://olnisa.ru/blog/moduli-siemens-nx/> (дата обращения: 23.12.2024).
37. Dassault Systemes Продукты и услуги [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F:Dassault\\_Systemes](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F:Dassault_Systemes) (дата обращения: 28.12.2024).
38. Altair Engineering – лидер в области разработки программного обеспечения для компьютерного моделирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://hyperworks.compmechlab.ru/article/o-kompanii> (дата обращения: 23.12.2024).
39. Computer-Aided Engineering (CAE) Market 2024: By Key Players, Share, Forecast to 2031 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.omrglobal.com/industry-reports/computer-aided-engineering-market> (дата обращения: 23.12.2024).
40. Росстат – Наука, инновации и технологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (дата обращения: 23.12.2024).
41. Пакет Программ Логос [Электронный ресурс]. – URL: <https://logos-support.ru/logos/> (дата обращения: 23.12.2024).
42. 3VS Software Development [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.3v-services.com/#main> (дата обращения: 23.12.2024).

43. Среда динамического моделирования SimInTech [Электронный ресурс]. – URL: <https://simintech.ru/> (дата обращения: 23.12.2024).
44. 3VS Software Development [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.3v-services.com/#lcms> (дата обращения: 12.12.2024).
45. О инженерной компания CadFlo [Электронный ресурс]. – URL: <https://cadflo.ru/about> (дата обращения: 23.12.2024).
46. CADFLO – это современный продукт решение задач гидрогазодинамики, теплообмена, прочности, электромагнетизма и мультифизичного инженерного анализа (CAE) [Электронный ресурс]. – URL: <https://cadflo.ru/product/cadflo> (дата обращения: 23.12.2024).
47. CAE-Fidesys [Электронный ресурс]. – URL: <https://cae-fidesys.com> (дата обращения: 23.12.2024).
48. Инжиниринговая компания ТЕСИС. О нас [Электронный ресурс]. – URL: <https://tesis.com.ru/company/about/> (дата обращения: 23.12.2024).
49. McKinsey technology trends outlook 2024 | McKinsey [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech> (дата обращения: 05.11.2024).
50. Tech Trends 2024 // Deloitte Insights, 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends.html> (дата обращения: 21.11.2024).
51. Tech Trends For The Second Half Of 2024: What Stays And What Goes [Электронный ресурс]. – 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: 05.11.2024).
52. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 05.11.2024).
53. Правительство утвердило Концепцию технологического развития до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/news/48570/> (дата обращения: 05.11.2024).
54. Symington I. Simulation and analysis current and future trends [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/pdf/simulation\\_and\\_analysis\\_trends.pdf](https://www.beta-cae.com/pdf/simulation_and_analysis_trends.pdf) (дата обращения: 21.11.2024).
55. VR G. Виртуальная реальность помогает в проектировании локомотивов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://general-vr.ru/vr-concept-для-локомотивов/> (дата обращения: 05.11.2024).
56. MSC Software | Hexagon [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/company/divisions/manufacturing-intelligence/msc-software> (дата обращения: 05.11.2024).
57. Three Top Trends in CAE [Электронный ресурс]. – URL: <https://blog.simr.com/three-top-trends-in-cae> (дата обращения: 05.11.2024).

58. Data Driven CAE | EinNel Technologies [Электронный ресурс]. – URL: <https://einnel.com/solution/data-driven-cae/> (дата обращения: 05.11.2024).
59. Cadence Extends Cloud Leadership with Transformational Cadence OnCloud SaaS and e-Commerce Platform – CIMdata [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/18863-CADence-extends-cloud-leadership-with-transformational-CADence-oncloud-saas-and-e-commerce-platform> (дата обращения: 05.11.2024).
60. Ansys Cloud Direct | Cloud-based Simulation Service [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/cloud/ansys-cloud> (дата обращения: 06.11.2024).
61. Reports V.M.R.| G.M.A.A.R. Top 7 Trends In CAE [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/blog/top-7-trends-in-cae/> (дата обращения: 04.12.2024).
62. Explainable AI for Reduced Order Modeling | ESTECO blog [Электронный ресурс]. – URL: <https://engineering.esteco.com/blog/explainable-ai-reduced-order-modeling/> (дата обращения: 06.11.2024).
63. AI Simulation: Convergence of Emerging Technologies | SimScale [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.simscale.com/blog/ai-simulation/> (дата обращения: 06.11.2024).
64. Wasserman S. It's Official, AI Simulation is Here! What Does it Promise? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.engineering.com/its-official-ai-simulation-is-here-what-does-it-promise/> (дата обращения: 06.11.2024).
65. Ansys Launches Ansys SimAI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/ansys-launches-ansys-simai/> (дата обращения: 06.11.2024).
66. The Intersection of AI and Simulation Technology [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/blog/simulation-and-ai> (дата обращения: 06.11.2024).
67. How Simulations Will Transform Engineering in 2032 [Электронный ресурс]. – URL: <https://quanscient.com/blog/how-simulations-will-transform-engineering-in-2032> (дата обращения: 06.11.2024).
68. PTC и ANSYS разрабатывают общую платформу для цифрового моделирования в Промышленном Интернете вещей [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.idexpert.ru/pressrelis/ptc-i-ansys-razrabatyvayut-obshchuyu-platformu-dlya-tsifrovogo-modelirovaniya-v-promyshlennom-intern.html> (дата обращения: 06.11.2024).
69. AR and VR in PLM Will Become Essential in 2024 – Engineering.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.engineering.com/ar-and-vr-in-plm-will-become-essential-in-2024/> (дата обращения: 06.11.2024).
70. VR Concept [Электронный ресурс]. – URL: <https://vrconcept.net/> (дата обращения: 06.11.2024).
71. Home – vdma.org – VDMA [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vdma.org/> (дата обращения: 06.11.2024).
72. Professional data exchange solution | OpenDXM GlobalX [Электронный ресурс]. – URL:

- <https://www.opendxmglobalx.com/en/> (дата обращения: 06.11.2024).
73. NEW BLOCKCHAIN APPLICATION PROVES AUTHORSHIP OF CAD DATA – CIMdata [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/18990-new-blockchain-application-proves-authorship-of-CAD-data> (дата обращения: 05.11.2024).
  74. COMSOL Completes the Working Environment for Modeling and Simulation Projects with the Model Manager Server – CIMdata [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/18477-comsol-completes-the-working-environment-for-modeling-and-simulation-projects-with-the-model-manager-server> (дата обращения: 06.11.2024).
  75. Информационно-поисковая система [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fips.ru/iiss/> (дата обращения: 06.11.2024).
  76. Официальный сайт единого реестра российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных [Электронный ресурс]. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/> (дата обращения: 06.11.2024).
  77. Приказ № 486 «Об утверждении классификатора программ для электронных вычислительных машин и баз данных»: [Электронный ресурс]. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/7362/> (дата обращения: 06.11.2024).
  78. В Ansys Mechanical доступны улучшенные возможности для прочностных расчетов [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Ansys\\_Mechanical](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Ansys_Mechanical) (дата обращения: 25.11.2024).
  79. Ansys Mechanical 2024 R1 – новые возможности [Электронный ресурс]. – URL: <https://kz-engineering.com/ansys-mechanical-2024-r1-novye-vozmozhnosti/> (дата обращения: 18.12.2024).
  80. Ansys Mechanical | Structural FEA Analysis Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical> (дата обращения: 25.11.2024).
  81. Ansys Release 2024 – Highlights on Structures at a Glance [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cadferm.net/en/cadferm-informs/newsroom/ansys-release/ansys-release-2024-structures.html> (дата обращения: 25.11.2024).
  82. Ansys 2024 R2 Release Highlights | Ansys Latest Release [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/release-highlights> (дата обращения: 25.11.2024).
  83. Ansys LS-DYNA | Crash Simulation Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-ls-dyna> (дата обращения: 25.11.2024).
  84. Ansys LS-DYNA | Явная динамика [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cadferm-cis.ru/products/ansys/structures/lstdyna/> (дата обращения: 25.11.2024).
  85. Ansys Discovery | 3D Product Simulation Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/3d-design/ansys-discovery> (дата обращения: 25.11.2024).

86. Ansys Discovery [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/3d-design/discovery/> (дата обращения: 25.11.2024).
87. Semiconductor Design and Simulation Software | Ansys [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/semiconductors> (дата обращения: 25.11.2024).
88. Digital Twin Simulation-Based Software | Ansys [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/digital-twin> (дата обращения: 25.11.2024).
89. ADAS & Autonomous Vehicle Simulation Software | Ansys [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/av-simulation> (дата обращения: 25.11.2024).
90. Ansys Release 2024 – Highlights on Electronics HF at a Glance [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cadfem.net/en/cadfem-informs/newsroom/ansys-release/ansys-release-2024-electronics-hf.html> (дата обращения: 25.11.2024).
91. CFD Software: Fluid Dynamics Simulation Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/fluids> (дата обращения: 25.11.2024).
92. Altair HyperMesh | мощный препроцессор для конечно-элементного анализа [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elm-c.ru/altair-hypermesh> (дата обращения: 24.11.2024).
93. Design and Simulation Platform | Altair HyperWorks [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/altair-hyperworks> (дата обращения: 24.11.2024).
94. Altair HyperMesh 2024 Release Notes [Электронный ресурс] : reference. – URL: [https://help.altair.com/hwsolvers/altair\\_help/topics/release\\_notes/rn\\_2024\\_hypermesh\\_r.htm](https://help.altair.com/hwsolvers/altair_help/topics/release_notes/rn_2024_hypermesh_r.htm) (дата обращения: 24.11.2024).
95. Обзор возможностей Altair HyperMesh CFD 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elm-c.ru/blog/altair-hypermesh-cfd-2023-obzor-vozmozhnostey> (дата обращения: 25.11.2024).
96. Altair HyperMesh CFD 2024 Release Notes [Электронный ресурс] : dita. – URL: [https://help.altair.com/hwsolvers/altair\\_help/topics/release\\_notes/rn\\_2024\\_hypermesh\\_cfd\\_r.htm](https://help.altair.com/hwsolvers/altair_help/topics/release_notes/rn_2024_hypermesh_cfd_r.htm) (дата обращения: 24.11.2024).
97. Altair HyperView | мощный постпроцессор, визуализация результатов расчетов и создание отчетов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elm-c.ru/altair-hyperview> (дата обращения: 24.11.2024).
98. Post-Processing and Data Visualization for Simulation and CAE Analysis | Altair HyperView [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/hyperview> (дата обращения: 24.11.2024).
99. Altair HyperView 2024 Release Notes [Электронный ресурс] : dita. – URL: [https://help.altair.com/hwsolvers/altair\\_help/topics/release\\_notes/rn\\_2024\\_hyperview\\_r.htm](https://help.altair.com/hwsolvers/altair_help/topics/release_notes/rn_2024_hyperview_r.htm) (дата обращения: 24.11.2024).
100. Altair OptiStruct | Оптимизация и расчет прочности конструкции [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elm-c.ru/altair-optistruct> (дата обращения: 24.11.2024).

101. Optimization-enabled Structural Analysis | Altair OptiStruct [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/optistruct> (дата обращения: 24.11.2024).
102. Altair OptiStruct 2024 Release Notes [Электронный ресурс] : reference. – URL: [https://help.altair.com/hwsolvers/altair\\_help/topics/release\\_notes/rn\\_2024\\_optistruct\\_r.htm](https://help.altair.com/hwsolvers/altair_help/topics/release_notes/rn_2024_optistruct_r.htm) (дата обращения: 24.11.2024).
103. Altair Radioss | анализ аварий, безопасности и столкновений [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elm-c.ru/altair-radioss> (дата обращения: 25.11.2024).
104. Product Performance Under Dynamic Loadings | Altair Radioss [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/radioss> (дата обращения: 25.11.2024).
105. Altair Radioss 2024 Release Notes [Электронный ресурс] : reference. – URL: [https://help.altair.com/hwsolvers/altair\\_help/topics/release\\_notes/rn\\_2024\\_radioss\\_r.htm](https://help.altair.com/hwsolvers/altair_help/topics/release_notes/rn_2024_radioss_r.htm) (дата обращения: 25.11.2024).
106. О программе Star-CCM+ [Электронный ресурс]. – URL: <https://advengineering.ru/ru/aden/software/gidrogazodinamika-i-teploobmen/star-ccm/o-programme/> (дата обращения: 25.11.2024).
107. Simcenter STAR-CCM+ CFD software [Электронный ресурс]. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/fluids-thermal-simulation/star-ccm/> (дата обращения: 25.11.2024).
108. Simcenter STAR-CCM+ 2402 Released! What's new? – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-star-ccm-2402-released/> (дата обращения: 25.11.2024).
109. Simcenter STAR-CCM+ 2406 Released! What's new? – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-star-ccm-2406-released/> (дата обращения: 25.11.2024).
110. Simcenter STAR-CCM+ 2410 released! What's new? – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-star-ccm-2410-released/> (дата обращения: 18.12.2024).
111. О программе Simcenter 3D [Электронный ресурс]. – URL: <https://advengineering.ru/ru/aden/software/mezhdisciplinarnyj-inzhenernyj-analiz/simcenter/o-programme/> (дата обращения: 18.12.2024).
112. О программе FloEFD [Электронный ресурс]. – URL: <https://advengineering.ru/ru/aden/software/gidrogazodinamika-i-teploobmen/floefd/o-programme/> (дата обращения: 18.12.2024).
113. Simcenter FLOEFD 2406 – What's New [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-floefd-2406-whats-new/> (дата обращения: 18.12.2024).
114. О программе Simcenter Amesim [Электронный ресурс]. – URL: <https://advengineering.ru/ru/aden/software/siemens-amesim/amesim/o-programme/> (дата

- обращения: 18.12.2024).
115. What's new in Simcenter systems simulation 2410 – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/whats-new-simcenter-systems-2410/> (дата обращения: 18.12.2024).
  116. Группа компаний «СиСофт» (CSoft) – FloTHERM [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.csoft.ru/soft/flotherm/flotherm-11.html> (дата обращения: 18.12.2024).
  117. What's new in Simcenter Flotherm 2410? – New release [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/whats-new-simcenter-flotherm-2410/> (дата обращения: 18.12.2024).
  118. Embeddable BCI-ROM Technology: reduced order thermal models for 3D CFD electronics cooling simulation – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/embeddable-bci-rom-cfd-thermal-model/> (дата обращения: 18.12.2024).
  119. Simcenter Flomaster [Электронный ресурс]. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/systems-simulation/flomaster/> (дата обращения: 18.12.2024).
  120. Simcenter Nastran 2412: Let's go Supersonic – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/simcenter-nastran-2412-lets-go-supersonic/> (дата обращения: 18.12.2024).
  121. Abaqus/CAE | Инженерные программы | ТЕСИС [Электронный ресурс]. – URL: [https://tesis.com.ru/own\\_design/abaqus/cae.php](https://tesis.com.ru/own_design/abaqus/cae.php) (дата обращения: 25.11.2024).
  122. Abaqus 2024 new and enhancement functionalities [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.4realsim.com/abaqus-2024-release-available/> (дата обращения: 25.11.2024).
  123. Пакет MSC Nastran [Электронный ресурс]. – URL: <https://supercomputer.susu.ru/users/simulation/nastran/> (дата обращения: 25.11.2024).
  124. MSC Nastran | Hexagon [Электронный ресурс]. – URL: [https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/msc-nastran?utm\\_easyredir=www.mscsoftware.com](https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/msc-nastran?utm_easyredir=www.mscsoftware.com) (дата обращения: 25.11.2024).
  125. What's New in MSC Nastran 2024.1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-MSC-Nastran-2024-1> (дата обращения: 25.11.2024).
  126. Cradle CFD | Программное обеспечение для автоматизированного... [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/ru/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/cradle-cfd> (дата обращения: 25.11.2024).
  127. What's New in Cradle CFD 2024.1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/What-s-New-in-Cradle-CFD-2024-1> (дата обращения: 25.11.2024).
  128. Patran | Программное обеспечение для автоматизированного [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/ru/products/patran> (дата обращения: 25.11.2024).

129. What's New in Patran 2024.1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-Patran-2024-1> (дата обращения: 25.11.2024).
130. Adams Student Edition [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/ru/products/adams-student-edition> (дата обращения: 25.11.2024).
131. Dytran [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/ru/products/dytran> (дата обращения: 25.11.2024).
132. What's New in Dytran 2024.2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/What-s-New-in-Dytran-2024-2> (дата обращения: 25.11.2024).
133. Marc | Программное обеспечение для автоматизированного [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/ru/products/marc> (дата обращения: 25.11.2024).
134. What's New in Marc 2024.2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-Marc-2024-2> (дата обращения: 25.11.2024).
135. COMSOL: Multiphysics Software for Optimizing Designs [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comsol.com/> (дата обращения: 25.11.2024).
136. Компания COMSOL выпустила новую версию программного обеспечения COMSOL Multiphysics® 6.2 [Электронный ресурс]. – URL: [//fea.ru/news/8669](https://fea.ru/news/8669) (дата обращения: 25.11.2024).
137. Machine Learning Functionality Comes to COMSOL 6.2 – Engineering.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.engineering.com/machine-learning-functionality-comes-to-comsol-6-2/> (дата обращения: 25.11.2024).
138. COMSOL® Software Version 6.2 Updates [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comsol.com/product-update/6.2> (дата обращения: 25.11.2024).
139. COMSOL® Software Version 6.3 Release Highlights [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comsol.com/release/6.3> (дата обращения: 26.11.2024).
140. ANSA pre-processor – BETA CAE Systems [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/ansa.htm> (дата обращения: 07.12.2024).
141. Release Announcement BETA CAE Systems suite v23.1.4 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/news/20240125\\_announcement\\_suite\\_23.1.4.htm](https://www.beta-cae.com/news/20240125_announcement_suite_23.1.4.htm) (дата обращения: 07.12.2024).
142. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.0.2 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/news/20240208\\_announcement\\_suite\\_24.0.2.htm](https://www.beta-cae.com/news/20240208_announcement_suite_24.0.2.htm) (дата обращения: 07.12.2024).
143. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.1.1 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/news/20240313\\_announcement\\_suite\\_24.1.1.htm](https://www.beta-cae.com/news/20240313_announcement_suite_24.1.1.htm) (дата обращения: 07.12.2024).

144. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.1.2 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/news/20240603\\_announcement\\_suite\\_24.1.2.htm](https://www.beta-cae.com/news/20240603_announcement_suite_24.1.2.htm) (дата обращения: 07.12.2024).
145. Release Announcement BETA CAE Systems suite v24.1.3 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/news/20241007\\_announcement\\_suite\\_24.1.3.htm](https://www.beta-cae.com/news/20241007_announcement_suite_24.1.3.htm) (дата обращения: 07.12.2024).
146. Release Announcement BETA CAE Systems suite v25.0.1 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.beta-cae.com/news/20241030\\_announcement\\_suite\\_25.0.1.htm#topic1](https://www.beta-cae.com/news/20241030_announcement_suite_25.0.1.htm#topic1) (дата обращения: 07.12.2024).
147. BETA CAE Systems – EPILYSIS solver [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/epilysis.htm> (дата обращения: 07.12.2024).
148. BETA CAE Systems – META post-processor [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/meta.htm> (дата обращения: 07.12.2024).
149. FATIQ fatigue life prediction analysis software – BETA CAE Systems [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/fatig.htm> (дата обращения: 07.12.2024).
150. О программе Логос [Электронный ресурс]. – URL: <https://advengineering.ru/ru/aden/software/mezhdisciplinarnyj-inzhenernyj-analiz/logos/o-programme/> (дата обращения: 25.11.2024).
151. Росатом выпустил обновленную версию программного пакета «Логос» [Электронный ресурс]. – URL: <https://sapr.ru/news/20240624-logos> (дата обращения: 25.11.2024).
152. Зенит-95 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ntp-dip.ru/> (дата обращения: 25.11.2024).
153. Версия 7.0 Что нового [Электронный ресурс]. – URL: <https://download.cae-fidesys.com/s/New-in-7-0-Ru> (дата обращения: 25.11.2024).
154. Релиз FlowVision 3.14.01 [Электронный ресурс]. – URL: <https://flowvision.ru/ru/news-ru/releases-ru/release-flowvision-3-14-01> (дата обращения: 25.11.2024).
155. APM Structure3D расчетное ядро для конечно-элементного анализа [Электронный ресурс]. – URL: <https://apm.ru/apm-structure3d> (дата обращения: 25.11.2024).
156. Release-APM-v20.pdf [Электронный ресурс]. – URL: <https://apm.ru/downloads/192/Release-APM-v20.pdf>.
157. Euler [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.euler.ru/index.php/ru/euler> (дата обращения: 25.11.2024).
158. Скачать [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.euler.ru/index.php/ru/download> (дата обращения: 25.11.2024).
159. Новая версия CADFLO 2302 | Группа компаний «ПЛИМ Урал» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.plm-ural.ru/news/novaya-versiya-cadflo-2302> (дата обращения: 25.11.2024).
160. Тор О.О.О. Описание возможностей программы ELCUT [Электронный ресурс]. – URL: [https://elcut.ru/feat\\_r.htm](https://elcut.ru/feat_r.htm) (дата обращения: 25.11.2024).

161. Top O.O.O. ELCUT 7.0 [Электронный ресурс]. – URL: [https://elcut.ru/allnews/elcut70\\_r.htm](https://elcut.ru/allnews/elcut70_r.htm) (дата обращения: 25.11.2024).
162. Общее описание PRADIS [Электронный ресурс]. – URL: [https://laduga.ru/pradis/General\\_description\\_PRADIS.ru.htm](https://laduga.ru/pradis/General_description_PRADIS.ru.htm) (дата обращения: 25.11.2024).
163. Состоялось заседание Совета главных конструкторов ОПЖТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://opzt.ru/news/sostojalos-zasedanija-soveta-glavnyh-konstruktorov-opzht-na-temu-primenenie-otechestvennogo-programmnogo-obespechenija-dlja-1d-modelirovanija-polnomasshtabnyh-multifizicheskikh-modelej-zheleznodorozhno/> (дата обращения: 24.11.2024).
164. АСОНИКА – автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры | АСОНИКА [Электронный ресурс]. – URL: <https://asonika-online.ru/asonika/> (дата обращения: 08.12.2024).
165. САПР Гамма – МЦД – Моделирование и Цифровые двойники [Электронный ресурс]. – URL: <https://digitaltwin.ru/products/gamma/> (дата обращения: 25.11.2024).
166. Что нового в GAMMA v2024.01.17 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sevsu.ru/upload/iblock/267/c45g56ad5x3r6h16aiv95o7677y3g0tl/%D0%A7%D1%82%D0%BE%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B2%20GAMMA%20v2024.01.21.pdf>.
167. Что нового в GAMMA v2024.02.28 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sevsu.ru/upload/iblock/33d/164lzfkh4400knuktms2lgd307234q1/%D0%A7%D1%82%D0%BE%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B2%20GAMMA%20v2024.02.28.pdf>.
168. Что нового в GAMMA v2024.03.22 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sevsu.ru/upload/iblock/f9d/6wpypg6f9q34kiskntl5bpb06qs1wbdj/%D0%A7%D1%82%D0%BE%20%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B2%20GAMMA%20v2024.03.22.pdf>.
169. В новой версии САПР Гамма был реализован пакетный режим – МЦД – Моделирование и Цифровые двойники [Электронный ресурс]. – URL: <https://digitaltwin.ru/latest-news/batch-mode-in-the-new-version-of-cad-gamma/> (дата обращения: 25.11.2024).
170. Вышло обновление САПР «ГАММА» версии 2024.2 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.sevsu.ru/novosti/item/vyshlo\\_obnovlenie\\_sapr\\_gamma\\_versii\\_2024\\_2/](https://www.sevsu.ru/novosti/item/vyshlo_obnovlenie_sapr_gamma_versii_2024_2/) (дата обращения: 08.12.2024).
171. 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. – 228 с.
172. Cadence Completes Acquisition of BETA CAE [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-completes-acquisition-of-beta-cae.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-completes-acquisition-of-beta-cae.html) (дата обращения: 06.11.2024).

173. BETA CAE Systems – Groundbreaking Simulation Solutions [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/> (дата обращения: 06.11.2024).
174. Cadence to Acquire BETA CAE, Expanding into Structural Analysis [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/cadence-to-acquire-beta-cae-expanding-into-structural-analysis/> (дата обращения: 05.11.2024).
175. Intelligent System Design | Cadence [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/intelligent-system-design.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/intelligent-system-design.html) (дата обращения: 06.11.2024).
176. ANSA pre-processor – BETA CAE Systems [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/ansa.htm> (дата обращения: 06.11.2024).
177. BETA CAE Systems – META post-processor [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.beta-cae.com/meta.htm> (дата обращения: 06.11.2024).
178. Cadence Acquires Invecas to Accelerate System Realization | Cadence [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-acquires-invecas-to-accelerate-system-realization.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2024/cadence-acquires-invecas-to-accelerate-system-realization.html) (дата обращения: 06.11.2024).
179. INVECAS Inc. – Cadence Acquires Invecas to Accelerate System Realization [Электронный ресурс]. – URL: <https://invecas.com/press-releases/cadence-acquires-invecas-to-accelerate-system-realization/> (дата обращения: 06.11.2024).
180. Cadence Design Systems, Inc. acquired Invecas, Inc. for \$71.4 million. – MarketScreener [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/CADENCE-DESIGN-SYSTEMS-IN-8724/news/Cadence-Design-Systems-Inc-acquired-Invecas-Inc-for-71-4-million-45695813/> (дата обращения: 06.11.2024).
181. Cadence Completes Acquisition of Future Facilities [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2022/cadence-completes-acquisition-of-future-facilities.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2022/cadence-completes-acquisition-of-future-facilities.html) (дата обращения: 06.11.2024).
182. Cadence to Acquire Future Facilities, A Pioneer in Data Center Digital Twins [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2022/cadence-to-acquire-future-facilities-a-pioneer-in-data-center.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2022/cadence-to-acquire-future-facilities-a-pioneer-in-data-center.html) (дата обращения: 06.11.2024).
183. CADENCE DESIGN SYSTEMS, INC. ANNUAL REPORT ON FORM 10-K FOR THE FISCAL YEAR ENDED DECEMBER 31, 2022 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/content/dam/cadence-www/global/en\\_US/documents/company/investors/form-10-k-2022.pdf](https://www.cadence.com/content/dam/cadence-www/global/en_US/documents/company/investors/form-10-k-2022.pdf) (дата обращения: 22.11.2024).
184. Cadence Design Systems, Inc. completed the acquisition of Future Facilities Limited for \$100 million. – MarketScreener [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/CADENCE-DESIGN-SYSTEMS-IN-8724/news/Cadence-Design-Systems-Inc-completed-the-acquisition-of-Future-Facilities-Limited-for-100-million-41000288/> (дата обращения: 06.11.2024).

185. Cadence to Acquire NUMECA to Expand System Analysis Capabilities with Computational Fluid Dynamics [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2021/cadence-to-acquire-numeca-to-expand-system-analysis-capabilities.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2021/cadence-to-acquire-numeca-to-expand-system-analysis-capabilities.html) (дата обращения: 06.11.2024).
186. Cadence Completes Acquisition of NUMECA [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2021/cadence-completes-acquisition-of-numeca.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2021/cadence-completes-acquisition-of-numeca.html) (дата обращения: 06.11.2024).
187. Archive Archive [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.numeca.de/en/category/archive/> (дата обращения: 06.11.2024).
188. Cadence Design Systems, Inc. completed the acquisition of NUMECA International SA for approximately \$200 million. – MarketScreener [Электронный ресурс]. – URL: <https://uk.marketscreener.com/quote/stock/CADENCE-DESIGN-SYSTEMS-IN-8724/news/Cadence-Design-Systems-Inc-completed-the-acquisition-of-NUMECA-International-SA-for-approximately-33510356/> (дата обращения: 06.11.2024).
189. Cadence Acquires Pointwise to Expand System Analysis Offerings Addressing CFD Meshing for Aerospace Applications [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cadence.com/en\\_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2021/cadence-acquires-pointwise-to-expand-system-analysis-offerings-a.html](https://www.cadence.com/en_US/home/company/newsroom/press-releases/pr/2021/cadence-acquires-pointwise-to-expand-system-analysis-offerings-a.html) (дата обращения: 06.11.2024).
190. Pointwise Website Migration // Cadence, 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www5.cadence.com/pointwise-support-faq.html> (дата обращения: 22.11.2024).
191. Cadence Design Systems: Gross Value of Intangible Assets (FY2017 – FY2021, \$ Million) – Global-Data [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.globaldata.com/data-insights/technology-media-and-telecom/cadence-design-systems-gross-value-of-intangible/> (дата обращения: 07.11.2024).
192. Altair Acquires Research in Flight, Forging a New Path for Aerodynamic Analysis [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/newsroom/news-releases/altair-acquires-research-in-flight-forging-a-new-path-for-aerodynamic-analysis> (дата обращения: 07.11.2024).
193. Altair Enhances Leadership in Optimization Technology by Acquiring OmniQuest [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/newsroom/news-releases/altair-acquires-omniquest> (дата обращения: 07.11.2024).
194. Altair Expands Design Technology for Additive Manufacturing with Acquisition of Gen3D [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/newsroom/news-releases/altair-expands-design-technology-for-additive-manufacturing-with-acquisition-of-gen3d> (дата обращения: 07.11.2024).
195. Altair Acquires M-Base Engineering + Software GmbH, Leader in Plastics Material Data and Technology [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/newsroom/news-releases/Altair-Acquires-M-Base-Engineering-Software-GmbH-Leader-in-Plastics-Material-Data-and-Technology> (дата обращения: 07.11.2024).
196. Ansys Acquires Leading Particle Dynamics Simulation Software Rocky | ANSYS,

- Inc. [Электронный ресурс]. – URL: <https://investors.ansys.com/news-releases/news-release-details/ansys-acquires-leading-particle-dynamics-simulation-software> (дата обращения: 07.11.2024).
197. ANSYS, Inc. completed the acquisition of business of Dynamore Holding GmbH for approximately \$140 million. – MarketScreener [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/ANSYS-INC-40311135/news/ANSYS-Inc-completed-the-acquisition-of-business-of-Dynamore-Holding-GmbH-for-approximately-140-mi-43787552/> (дата обращения: 07.11.2024).
  198. Ansys and Automotive Simulation Leader DYNAmore Sign Definitive Acquisition Agreement [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/news-center/press-releases/12-6-22-ansys-and-automotive-simulation-leader-dynamore-sign-definitive-acquisition-agreement> (дата обращения: 07.11.2024).
  199. Ansys Integrates with C&R Technologies' Thermal Desktop [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/blog/ansys-acquires-crtech> (дата обращения: 07.11.2024).
  200. List of 29 Acquisitions by Ansys (Oct 2024) – Tracxn [Электронный ресурс]. – URL: [https://tracxn.com/d/acquisitions/acquisitions-by-ansys/\\_fux8e\\_Q4H-qXAKixM809yvLfjiZX6HSH3giZKPBZ3oI](https://tracxn.com/d/acquisitions/acquisitions-by-ansys/_fux8e_Q4H-qXAKixM809yvLfjiZX6HSH3giZKPBZ3oI) (дата обращения: 07.11.2024).
  201. Ansys and Livermore Software Technology Corporation Sign Definitive Acquisition Agreement [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/news-center/press-releases/09-11-19-ansys-and-ls-dyna-sign-definitive-acquisition-agreement> (дата обращения: 07.11.2024).
  202. ANSYS closes third quarter with completed acquisitions of LSTC and Dynardo – Pittsburgh Business Times [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bizjournals.com/pittsburgh/news/2019/11/07/ansys-closes-third-quarter-with-two-acquisitions.html> (дата обращения: 07.11.2024).
  203. Ansys and Dynardo Sign Definitive Acquisition Agreement [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/news-center/press-releases/10-24-19-ansys-and-dynardo-sign-definitive-acquisition-agreement> (дата обращения: 07.11.2024).
  204. Hexagon enhances its Smart Manufacturing autonomous and digital twin capabilities with the acquisition of CADLM | Hexagon [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/company/newsroom/press-releases/2021/hexagon-enhances-smart-manufacturing-autonomous-digital-twin-capabilities-with-acquisition-cadlm> (дата обращения: 07.11.2024).
  205. Hexagon enhances its Smart Factory solutions with the acquisition of Romax Technology | Hexagon [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/company/newsroom/press-releases/2020/hexagon-acquisition-romax-technology> (дата обращения: 07.11.2024).
  206. Siemens acquires ZONA Technology, Inc – increases Xcelerator | Siemens Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://newsroom.sw.siemens.com/en-US/siemens-zona-technology-aeroelastic-simulation/> (дата обращения: 07.11.2024).
  207. Siemens expands industry-leading integrated circuit verifica | Siemens Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://newsroom.sw.siemens.com/en-US/siemens-avery-design>

- systems/ (дата обращения: 07.11.2024).
208. Siemens expands industry-leading IC verification portfolio t | Siemens Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://newsroom.sw.siemens.com/en-US/onespin-solutions-acquisition-expands-ic-verification-portfolio/> (дата обращения: 07.11.2024).
  209. Siemens acquires Nextflow Software to speed simulations wit [Электронный ресурс]. – URL: <https://newsroom.sw.siemens.com/en-US/siemens-acquires-nextflow-software/> (дата обращения: 07.11.2024).
  210. Siemens acquires Avatar, expands EDA footprint with innovative Place and Route technology | Press | Company | Siemens [Электронный ресурс]. – URL: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-acquires-avatar-expands-eda-footprint-innovative-place-and-route-technology> (дата обращения: 07.11.2024).
  211. Aspen Technology Acquires OptiPlant [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.aspentech.com/en/resources/press-releases/aspen-technology-acquires-optiplant> (дата обращения: 07.11.2024).
  212. О консорциуме – Консорциум Развитие [Электронный ресурс]. – URL: <https://plmrussia.ru/about/> (дата обращения: 07.11.2024).
  213. FlowVision CFD [Электронный ресурс]. – URL: <https://flowvision.ru/ru/> (дата обращения: 07.11.2024).
  214. Группа компаний АСКОН [Электронный ресурс]. – URL: <https://ascon.ru/solutions/plm-technology-stek/> (дата обращения: 07.11.2024).
  215. Расчет конструкций, деталей машин и механизмов – НТЦ «АПМ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://apm.ru/apm-winmachine> (дата обращения: 07.11.2024).
  216. IOSO | Оптимизация | CAE Expert [Электронный ресурс]. – URL: <https://cae-expert.ru/product/ioso> (дата обращения: 07.11.2024).
  217. Сигма Технология. Программный комплекс IOSO NM [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.iosotech.com/ru/ioso\\_nm.htm](https://www.iosotech.com/ru/ioso_nm.htm) (дата обращения: 07.11.2024).
  218. ЛОГОС [Электронный ресурс]. – URL: <https://logos.vniief.ru/products/platforma/> (дата обращения: 07.11.2024).
  219. Пресс-релиз. В консорциум разработчиков и потребителей CAD/CAE-систем вошли 15 новых участников [Электронный ресурс]. – URL: <https://d-russia.ru/285112.html> (дата обращения: 07.11.2024).
  220. В консорциум разработчиков и потребителей CAD/CAE систем вошли 15 новых участников [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Консорциум\\_разработчиков\\_систем\\_CAD/CAE?cache=no&ptype=news](https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Консорциум_разработчиков_систем_CAD/CAE?cache=no&ptype=news) (дата обращения: 07.11.2024).
  221. Росатом: CAD/CAE консорциум сможет создать ПО мирового уровня – ТАСС [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/15132557> (дата обращения: 07.11.2024).

222. Росатом планирует достичь технологической независимости в области CAE-систем к 2030 году | Атомная энергия 2.0 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/12/13/131155> (дата обращения: 07.11.2024).
223. «Росатом» объявил о радикальном расширении консорциума для полного импортозамещения систем математического моделирования [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Консорциум\\_российских\\_разработчиков\\_систем\\_CAD/CAE](https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Консорциум_российских_разработчиков_систем_CAD/CAE) (дата обращения: 07.11.2024).
224. «Росатом» намерен занять треть доступного международного рынка CAE-систем [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cnews.ru/projects/2022/Rosatom\\_nameren\\_vyiti\\_na\\_mezhdunarodnyj\\_rynok\\_CAE\\_sistem](https://www.cnews.ru/projects/2022/Rosatom_nameren_vyiti_na_mezhdunarodnyj_rynok_CAE_sistem) (дата обращения: 07.11.2024).
225. Российский PLM на Linux: как выполняется дорожная карта, показал форум «Развитие» [Электронный ресурс]. – URL: <https://ascon.ru/news/2022/04/20/rossijskij-plm-na-linux-kak-vypolnyaetsya-dorozhnaya-karta-pokazal-forum-razvitie/> (дата обращения: 07.11.2024).
226. Форум «Белые ночи САПР»: дорожные карты АСКОН становятся отраслевыми в интересах заказчиков [Электронный ресурс]. – URL: <https://ascon.ru/news/2021/06/22/forum-belye-nochi-sapr-dorozhnye-karty-askon-stanovyatsya-otraslevymi-v-interesah-zakazchikov/> (дата обращения: 07.11.2024).
227. «Аэрофлот» перешел на отечественное ПО для инженерного анализа CAE Fidesys – CNews [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.cnews.ru/news/line/2024-04-10\\_aeroflot\\_pereshel\\_na\\_otchestvennoe](https://www.cnews.ru/news/line/2024-04-10_aeroflot_pereshel_na_otchestvennoe) (дата обращения: 07.11.2024).
228. Центр Хруничева рассказал об опыте импортозамещения программ инженерного анализа | Digital Russia [Электронный ресурс]. – URL: <https://d-russia.ru/centr-hrunicheva-rasskazal-ob-opyte-importozameshhenija-programm-inzhenernogo-analiza.html> (дата обращения: 07.11.2024).
229. Проект внедрения CAE-системы Росатома «Логос» в «Центре Келдыша» победил в CIPR Digital-2023 | Атомная энергия 2.0 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/06/01/135807> (дата обращения: 07.11.2024).
230. ГНЦ «ЦЕНТР КЕЛДЫША» [Электронный ресурс]. – URL: [https://rfrit.ru/2023\\_oz13](https://rfrit.ru/2023_oz13) (дата обращения: 07.11.2024).
231. Опыт внедрения программных решений комплекса T-FLEX PLM в учебный процесс Самарского университета им. С.П. Королева [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tfex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=5342> (дата обращения: 07.11.2024).
232. КРЫЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР [Электронный ресурс]. – URL: [https://rfrit.ru/2022\\_oz12](https://rfrit.ru/2022_oz12) (дата обращения: 07.11.2024).
233. Siemens and BAE Systems sign five-year agreement | Siemens Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://newsroom.sw.siemens.com/en-US/bae-systems-air-siemens->

- xcelerator/ (дата обращения: 07.11.2024).
234. Sharma R. Siemens Unveils New Partnerships & Breakthroughs in AI & Immersive Engineering [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.thefastmode.com/technology-solutions/34593-siemens-unveils-new-partnerships-breakthroughs-in-ai-immersive-engineering> (дата обращения: 07.11.2024).
  235. Ansys (ANSS), NVIDIA Partner to Advance Simulation Solutions [Электронный ресурс]. – URL: <https://finance.yahoo.com/news/ansys-anss-nvidia-partner-advance-154800411.html?guc-counter=1> (дата обращения: 07.11.2024).
  236. LG Innotek, Ansys expand partnerships on engineering simulation to increase efficiency – The Korea Times [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2024/08/133\\_380216.html](https://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2024/08/133_380216.html) (дата обращения: 07.11.2024).
  237. Ansys Releases AI-Powered Virtual Assistant AnsysGPT [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/en-gb/news-center/press-releases/4-11-24-ansys-releases-ansysgpt> (дата обращения: 07.11.2024).
  238. Autodesk and ModuleWorks Announce Strategic Partnership [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/moduleworks-partnership-announcement/> (дата обращения: 07.11.2024).
  239. Hexagon, JSOL Corporation Enter Strategic Partnership to Accelerate EV Powertrain Design with Virtual Prototyping | Quality Magazine [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.qualitymag.com/articles/97667-hexagon-jsol-corporation-enter-strategic-partnership-to-accelerate-ev-powertrain-design-with-virtual-prototyping> (дата обращения: 07.11.2024).
  240. Нормативные дорожные карты [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.nti2035.ru/documents/Normative\\_road\\_maps/](http://www.nti2035.ru/documents/Normative_road_maps/) (дата обращения: 07.11.2024).
  241. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере [Электронный ресурс]. – URL: <http://fasie.ru/> (дата обращения: 07.11.2024).
  242. Федеральная налоговая служба [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/> (дата обращения: 07.11.2024).
  243. Домен наука и инновации [Электронный ресурс]. – URL: <https://gisnauka.ru/> (дата обращения: 07.11.2024).
  244. Сами с софтами [Электронный ресурс]. – URL: <https://rspectr.com/articles/sami-softami> (дата обращения: 07.11.2024).
  245. САЕ для любопытствующих: инженерные расчеты – какие они бывают / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ascon/articles/792200/> (дата обращения: 07.11.2024).
  246. Главная ЕИС в сфере закупок [Электронный ресурс]. – URL: <https://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> (дата обращения: 07.11.2024).
  247. Numerical optimisation of a classical stochastic system for targeted energy transfer – ScienceDirect [Электронный ресурс]. – URL:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095034922001027> (дата обращения: 07.11.2024).
248. Суррогатное моделирование | Сколтех [Электронный ресурс]. – URL: <https://new.skoltech.ru/industrial-projects/surrogate-modeling> (дата обращения: 07.11.2024).
  249. Eldred M. Second-Order Corrections for Surrogate-Based Optimization with Model Hierarchies / M. Eldred, A. Giunta, S. Collis // 10th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference. – Albany, New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.
  250. Surrogate and Reduced-Order Modeling: A Comparison of Approaches for Large-Scale Statistical Inverse Problems / M. Frangos [et al.] // Large-Scale Inverse Problems and Quantification of Uncertainty / eds. L. Biegler [et al.]. – Wiley, 2010. – P. 123-149.
  251. Kneifl J. A nonintrusive nonlinear model reduction method for structural dynamical problems based on machine learning / J. Kneifl, D. Grunert, J. Fehr // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2021. – Vol. 122. – № 17. – P. 4774-4786.
  252. Modelling for Digital Twins–Potential Role of Surrogate Models [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/3/476> (дата обращения: 07.11.2024).
  253. Koziel S. Simulation-Driven Design by Knowledge-Based Response Correction Techniques / S. Koziel, L. Leifsson. – Cham: Springer International Publishing, 2016.
  254. Guo S. An introduction to surrogate modeling, Part I: fundamentals [Электронный ресурс]. – URL: <https://towardsdatascience.com/an-introduction-to-surrogate-modeling-part-i-fundamentals-84697ce4d241> (дата обращения: 07.11.2024).
  255. Reduced Order Modeling – MATLAB & Simulink [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/discovery/reduced-order-modeling.html> (дата обращения: 07.11.2024).
  256. Digital engineering in an AI world | McKinsey [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/unveiling-the-next-frontier-of-engineering-simulation> (дата обращения: 07.11.2024).
  257. Jiang P. Surrogate model-based engineering design and optimization : Springer tracts in mechanical engineering / P. Jiang, Q. Zhou, X. Shao. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2020. – 240 с.
  258. Sequential model based optimization with black-box constraints: Feasibility determination via machine learning | AIP Conference Proceedings | AIP Publishing [Электронный ресурс]. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2070/1/020010/750681/Sequential-model-based-optimization-with-black-box> (дата обращения: 07.11.2024).
  259. Optimization approaches to the integrated system of catalytic reforming and isomerization processes in petroleum refinery // Computers & Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 141. – P. 107009.
  260. Surrogate-based optimization for mixed-integer nonlinear problems // Computers & Chemical

- Engineering. – 2020. – Vol. 140. – P. 106847.
261. Operation optimization of hydrocracking process based on Kriging surrogate model / W. Zhong [et al.] // Control Engineering Practice. – 2019. – Vol. 85. – P. 34-40.
  262. Surrogate-assisted modeling and optimization of a natural-gas liquefaction plant / W. Ali [et al.] // Computers & Chemical Engineering. – 2018. – Vol. 118. – P. 132-142.
  263. Operation optimization of a cryogenic NGL recovery unit using deep learning based surrogate modeling // Computers & Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 137. – P. 106815.
  264. Multi-scale membrane process optimization with high-fidelity ion transport models through machine learning // Journal of Membrane Science. – 2020. – Vol. 608. – P. 118208.
  265. Deng Y. Multi-objective optimization of guide vanes for axial flow cyclone using CFD, SVM, and NSGA II algorithm / Y. Deng, B. Yu, D. Sun // Powder Technology. – 2020. – Vol. 373. – P. 637-646.
  266. Optimal design of energy systems using constrained grey-box multi-objective optimization / B. Beykal [et al.] // Computers & Chemical Engineering. – 2018. – Vol. 116. – P. 488-502.
  267. Nguyen T.H. Surrogate-based multi-objective optimization of management options for agricultural landscapes using artificial neural networks / T.H. Nguyen, D. Nong, K. Paustian // Ecological Modelling. – 2019. – Vol. 400. – P. 1-13.
  268. Surrogate model-based multi-objective MDO approach for partially Reusable Launch Vehicle design | AIAA SciTech Forum [Электронный ресурс]. – URL: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2019-0704> (дата обращения: 07.11.2024).
  269. Quirante N. Hybrid simulation-equation based synthesis of chemical processes / N. Quirante, J. Javaloyes-Antón, J.A. Caballero // Chemical Engineering Research and Design. – 2018. – Vol. 132. – P. 766-784.
  270. Surrogate-based optimization with adaptive sampling for microfluidic concentration gradient generator design – RSC Advances (RSC Publishing) DOI:10.1039/D0RA01586E [Электронный ресурс]. – URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra01586e> (дата обращения: 07.11.2024).
  271. Nentwich C. Application of surrogate models for the optimization and design of chemical processes / C. Nentwich, S. Engell // 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2016. – C. 1291-1296.
  272. Integration of planning, scheduling and control problems using data-driven feasibility analysis and surrogate models // Computers & Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 134. – P. 106714.
  273. A novel adaptive surrogate modeling-based algorithm for simultaneous optimization of sequential batch process scheduling and dynamic operations – Shi – 2015 – AIChE Journal – Wiley Online Library [Электронный ресурс]. – URL: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aic.14974> (дата обращения: 07.11.2024).
  274. Multiscale surrogate-based framework for reliability analysis of unidirectional FRP composites // Composites Part B: Engineering. – 2019. – Vol. 173. – P. 106925.

275. Integration of design and control for industrial-scale applications under uncertainty: a trust region approach // Computers & Chemical Engineering. – 2020. – Vol. 141. – Integration of design and control for industrial-scale applications under uncertainty. – P. 107006.
276. Decision making scheme of integration design and control under uncertainty for enhancing the economic performance of chemical processes with multiplicity behaviors / K. Wang [et al.] // Chemical Engineering Research and Design. – 2019. – Vol. 150. – P. 327-340.
277. Burnak B. Integrated process design, scheduling, and model predictive control of batch processes with closed-loop implementation / B. Burnak, E.N. Pistikopoulos // AIChE Journal. – 2020. – Vol. 66. – № 10. – P. e16981.
278. McKinsey technology trends outlook 2024 | McKinsey [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech> (дата обращения: 05.11.2024).
279. Engineering with Artificial Intelligence: This Tool May Change Everything – Engineering.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.engineering.com/engineering-with-artificial-intelligence-this-tool-may-change-everything/> (дата обращения: 07.11.2024).
280. What is a Reduced Order Model and Its Role in Product Development? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/blog/what-is-a-reduced-order-model-response-surface-model> (дата обращения: 07.11.2024).
281. Modelling for Digital Twins–Potential Role of Surrogate Models / Á. Bárkányi [et al.] // Processes. – 2021. – Vol. 9. – № 3. – P. 476.
282. Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore [Электронный ресурс]. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8972429> (дата обращения: 07.11.2024).
283. Combining physics-based and data-driven techniques for reliable hybrid analysis and modeling using the corrective source term approach // Applied Soft Computing. – 2022. – Vol. 128. – P. 109533.
284. New Paradigm of Data-Driven Smart Customisation through Digital Twin / X. Wang [et al.] // Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – Vol. 58. – P. 270-280.
285. Simcenter 3D [Электронный ресурс]. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/mechanical-simulation/simcenter-3d/> (дата обращения: 07.11.2024).
286. Simcenter Reduced Order Modeling [Электронный ресурс]. – URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/integration-solutions/reduced-order-modeling/> (дата обращения: 07.11.2024).
287. Introducing Simcenter Reduced Order Modeling – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/introducing-simcenter-reduced-order-modeling/> (дата обращения: 07.11.2024).
288. Reduced Order Model for simulation speed-up with Simcenter Amesim – Simcenter [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/reduced->

- order-model-for-simulation-speed-up-with-simcenter-amesim/ (дата обращения: 07.11.2024).
289. Ansys Workbench | Simulation Integration Platform [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/ansys-workbench> (дата обращения: 07.11.2024).
  290. Ansys Twin Builder | Create and Deploy Digital Twin Models [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ansys.com/products/digital-twin/ansys-twin-builder> (дата обращения: 07.11.2024).
  291. How To... ANSYS – Blog Tutorials, Tips and Tricks : What is ROM Builder in Ansys Workbench and what is it for? [Электронный ресурс]. – URL: <https://howtooansys.blogspot.com/2023/09/what-is-rom-builder-in-ansys-workbench.html> (дата обращения: 07.11.2024).
  292. Parametric ROMs (Reduced-Order Models) from Fluent steady state analyses | EDRMedeso [Электронный ресурс]. – URL: <https://edrmedesos.com/article/parametric-roms-reduced-order-models-from-fluent-steady-state-analyses/> (дата обращения: 07.11.2024).
  293. AI-Powered System-Level Modeling | Altair romAI [Электронный ресурс]. – URL: <https://altair.com/romai> (дата обращения: 07.11.2024).
  294. Machine Learning Functionality Comes to COMSOL 6.2 – Engineering.com [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.engineering.com/machine-learning-functionality-comes-to-comsol-6-2/> (дата обращения: 07.11.2024).
  295. Lainé S. AI and the New Era of Engineering Simulation | Blog [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.simscale.com/blog/ai-new-era-engineering-simulation/> (дата обращения: 07.11.2024).
  296. Real-Time Physics Predictions Empowered by AI | NAVASTO [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.navasto.de/resources/blog/real-time-physics-predictions/> (дата обращения: 07.11.2024).
  297. Wasserman S. Xccelerate AI is the Latest to Offer Surrogate Simulation Models [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.engineering.com/xccelerate-ai-is-the-latest-to-offer-surrogate-simulation-models/> (дата обращения: 07.11.2024).
  298. Technology – xccelerateai [Электронный ресурс]. – URL: <https://xccelerateai.com/technology> (дата обращения: 07.11.2024).
  299. About Us – Astraea-Software Co. LTD [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.astraea-soft.com/en/about-us-en> (дата обращения: 07.11.2024).
  300. Overcoming CAE Simulation with AI Technology : A 3D Surrogate Model – Astraea-Software Co. LTD [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.astraea-soft.com/en/other-research-surrogate-en/> (дата обращения: 07.11.2024).
  301. AI Data-Driven Modeling | ESTECO [Электронный ресурс]. – URL: <https://engineering.esteco.com/technology/ai-data-driven-modeling/> (дата обращения: 07.11.2024).

## НАШИ ИЗДАНИЯ



**Функциональные характеристики отечественных систем автоматизированного проектирования (CAD-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 (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. – 228 с.



**Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM-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.

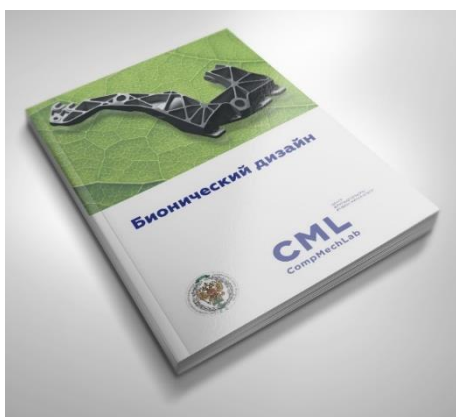
Авторы: А. И. Боровков, К. В. Кукушкин, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Л. А. Щербина, Ю. А. Рябов, С. В. Салкуцан, Е. О. Касяненко, И. С. Метревели, К. О. Вишневский, Ю. В. Туровец, М. С. Липецкая, Д. В. Санатов, Н. С. Андреева, Е. А. Римских, В. А. Пастухов, Н. В. Гоголь, М. А. Королькова



**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

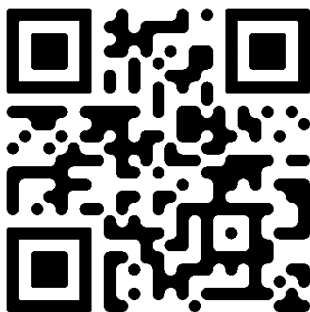
Инфраструктурный центр НТИ по направлению «Технет» СПбПУ (далее – Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ) создан в ноябре 2022 года по итогам конкурсного отбора инфраструктурных центров направлений Национальной технологической инициативы (НТИ).

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.



*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 Артем Сергеевич*  
*Чварков Сергей Анатольевич*  
*Луковникова Наталья Михайловна*  
*Андреев Иннокентий Борисович*  
*Ольховик Александра Олеговна*  
*Джелали Полина Александровна*  
*Кукушкин Кирилл Алексеевич*  
*Михайлов Александр Александрович*  
*Войнов Игорь Борисович*  
*Чишко Сергей Давидович*  
*Новокшенов Алексей Дмитриевич*

**АНАЛИЗ РЫНКА СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА (CAE-СИСТЕМ),  
В ТОМ ЧИСЛЕ ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА, В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ**

**Экспертно-аналитический доклад**