

Ситуационный анализ российского сегмента рынка систем автоматизированного проектирования и инженерного анализа для аэрокосмической промышленности

Situational analysis of the Russian segment of the systems market computer-aided design and engineering analysis for the aerospace industry

doi 10.26310/2071-3010.2022.282.4.004



В. И. Тимофеев,
к. т. н., доцент
✉ timofeev-vi@yandex.ru

V. I. Timofeev,
PhD, docent



М. А. Желавский,
студент, кафедра эксплуатации и управления аэрокосмическими системами
✉ z987456321@outlook.com

M. A. Zhelavsky,
student, department «Operation and control of aerospace systems»

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
St. Petersburg state university of aerospace instrumentation

В статье проведен комплексный анализ текущего состояния рынка отечественных систем автоматизированного проектирования (САПР). Дана оценка применимости инновационных технических решений в условиях новой модели конструкторско-технологической и производственной деятельности российских организаций и предприятий, а также определены основные конкурентоспособные российские аналоги программных продуктов зарубежных компаний, адаптированные к внутренним потребностям страны. Акцентируется внимание на тенденцию активного внедрения отечественных САПР для решения широкого круга конструкторско-технологических задач, а также для подготовки IT-специалистов и выпускников вузов технического профиля.

The article provides a comprehensive analysis of the current state of the market for domestic computer-aided design (CAD) systems. The applicability of innovative technical solutions in the context of a new model of design, technological and production activities of Russian organizations and enterprises is assessed, and the main competitive Russian analogues of software products of foreign companies, adapted to the country's internal needs, are identified. Attention is focused on the trend of active implementation of domestic CAD systems for solving a wide range of design and technological problems, as well as for training IT specialists and graduates of technical universities.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, специальное программное обеспечение, математическое моделирование, новая модель производства, конъюнктура рынка, цифровые двойники, «Индустрия 4.0».

Keywords: computer-aided design systems, special software, mathematical modeling, new production model, market conditions, digital twins, Industry 4.0.

В условиях санкционных ограничений и активной трансформации конъюнктуры мировых рынков в сфере производства товаров и услуг, отечественная промышленность претерпевает серьезные структурные изменения. В нынешней ситуации набирающий популярность в 2020-2021 гг. тренд на импортозамещение становится одной из основных тенденций новой производственно-технологической парадигмы. В первую очередь, это относится к ресурсному обеспечению промышленных предприятий и производственных организаций страны. Так, по данным Федеральной таможенной службы России за 2021 г. основными импортируемыми товарами стали машинное оборудование, продукция химической промышленности, а также металлы и пластмассы (рис. 1) [1].

Однако, помимо ресурсного обеспечения необходимо сохранить или заместить программное обеспечение (ПО), которое является неотъемлемой частью современного промышленного производства в целом и «Индустрии 4.0», в частности. На рис. 2 в относительном выражении представлены общие затраты государственных и частных организаций и компаний на промышленное производство в 2020 г.,

где на долю, связанную с приобретением ПО, приходится 22%.

Решение задачи замещения зарубежного ПО и перехода на отечественные разработки весьма проблематично и далеко не очевидно, так как в силу сложившихся обстоятельств большинство иностранных компаний, производящих и поддерживающих специальное ПО, были вынуждены покинуть рынок нашей страны. В то же время, такое развитие событий привело к «выходу из тени» отечественных разработок, которые в настоящее время получают конкурентное преимущество за счет отсутствия на внутреннем рынке зарубежных разработок.

В нынешних условиях проблема актуализации российских цифровых систем и платформ особо проявляется в концепции так называемых цифровых двойников. Данное направление пользуется особой популярностью на различных уровнях организации конструкторско-технологической деятельности: от создания электронных моделей экспериментальных объектов, до конструирования согласованных инклюзивных сквозных цифровых производств. В качестве базовой программной среды математического моделирования сейчас выступает бытовая и промышленный

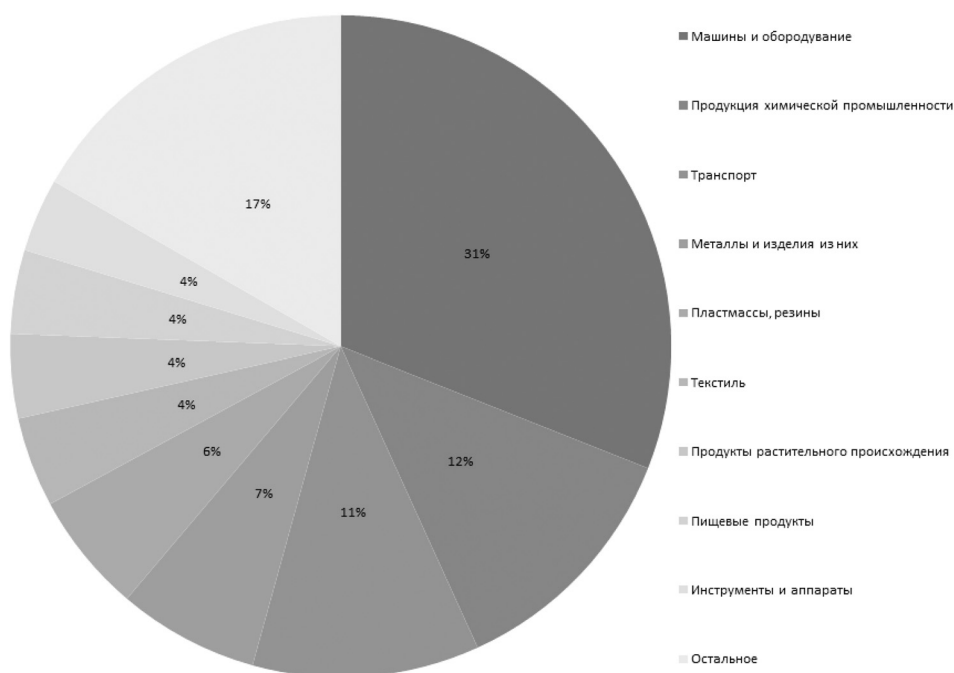


Рис. 1. Основные экспортируемые товары в Россию за 2021 г.

«интернет вещей», который с каждым днем все больше интегрируются в повседневную жизнь современного постиндустриального общества.

В настоящее время рынок инженерного ПО растет по всему миру: в 2022 г. он составляет \$32,6 млрд, а к 2026 г. прогнозируется его рост более чем в 1,5 раза [2]. Объем, занимаемый САПР, составляет около 1/3 от общего числа всего инженерного ПО, причем прогнозируется и его дальнейшее увеличение вплоть до \$12,2 млрд (рис. 3) [3].

Основной вклад в эти показатели привносят США, страны Европейского союза (ЕС) и Тихоокеанского региона, однако, в России также наблюдается некоторый рост объема рынка инженерного ПО. Лидером в этом сегменте является российская ком-

пания АСКОН, разрабатывающая САПР различных видов. В данной работе проведен анализ современных автоматизированных систем проектирования и инженерного анализа типа CAD и CAE, как наиболее распространенных и часто используемых систем в аэрокосмической промышленности и в сфере машиностроения в целом.

Крупнейшими поставщиками рассматриваемых САПР для мирового рынка являются компании Siemens PLM Software, Autodesk Inc., Dassault Systemes, Parametric Technology Corporation и Ansys Inc. Данные компании предлагают целые семейства программ для решения широкого круга специальных задач, охватывающих фактически весь жизненный цикл проектируемого изделия. Данная концепция по-

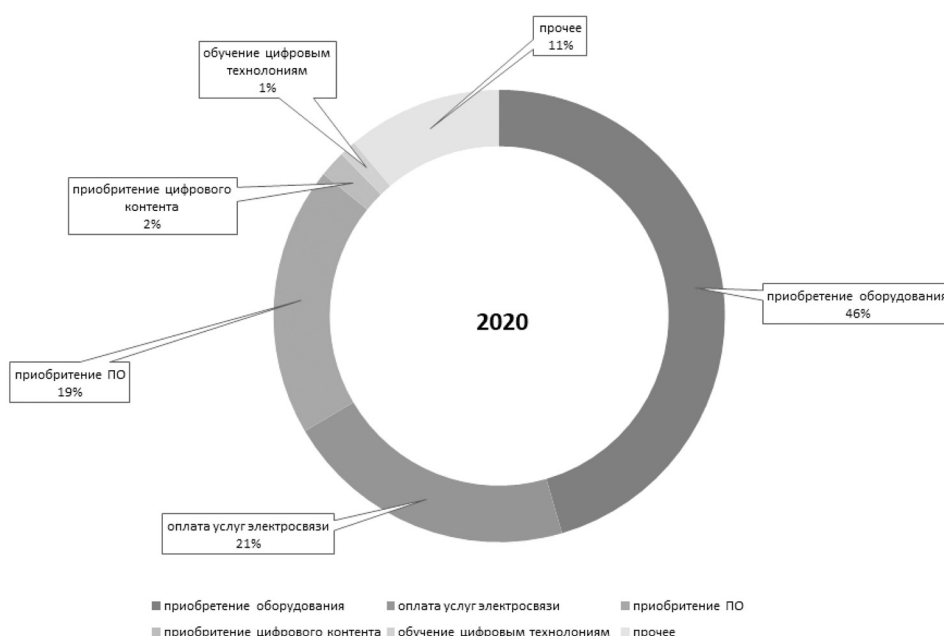


Рис. 2. Общие затраты на промышленное производство в 2020 г.

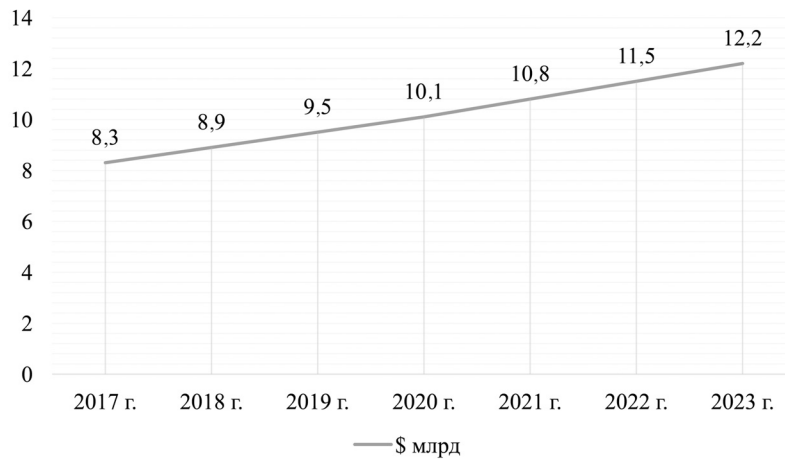


Рис. 3. Прогноз динамики мирового рынка САПР

зволила максимально популяризировать предлагаемые решения по всему миру, в том числе, и в России. Однако, в связи с текущей международной обстановкой у отечественных производителей инженерного ПО появляются новые возможности для сотрудничества с российскими предприятиями в сфере разработки и внедрения российского ПО. Основными поставщиками отечественного ПО в настоящее время являются: компания «Аскон», «Топ системы», «Нанософт разработка», ООО «Тор» и инжиниринговая компания «ТЕСИС».

Основными САПР-системами в аэрокосмической промышленности и наукоемком производстве явля-

ются: DS CATIA, DS SolidWorks, DS Simulia, PTC Creo, NX, Solid Edge, Autodesk Inventor, AutoCAD и некоторые другие. Все эти системы классифицируются в соответствии с ГОСТ 23501.108-85, действующим в Российской Федерации (рис. 4).

Однако, существует и другая классификация таких систем, которая с точки зрения ситуационного анализа рынка САПР является более удобной и практически значимой (рис. 5) [4]:

Одним из критериев сепарации в данном случае выступает целевое назначение системы. При этом выделяют САПР или подсистемы САПР, которые предоставляют собой различные направления инже-

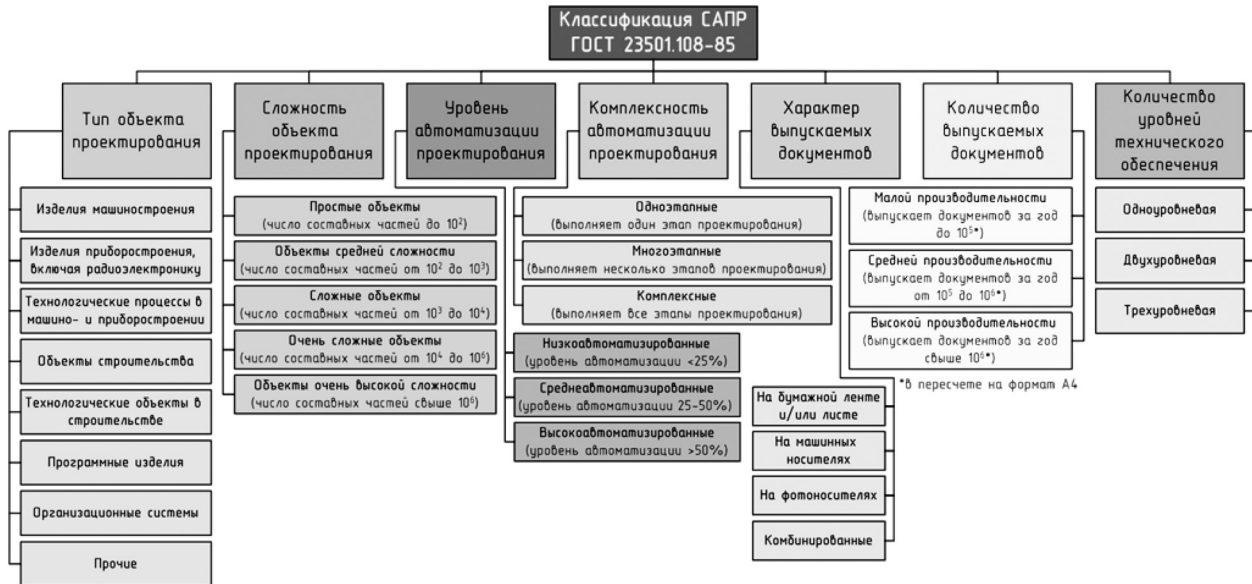


Рис. 4. Классификация САПР в соответствии с ГОСТ 23501.108-85

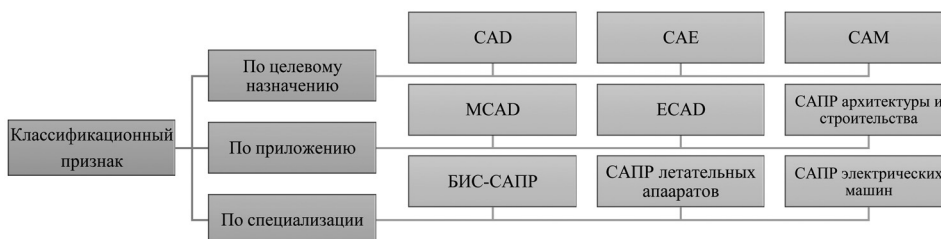


Рис. 5. Международная классификация САПР

Основные достоинства и недостатки принятых концепций

PDM-концепция		PLM-концепция	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
Более полное решение для контроля всех этапов производства	Низкая скорость внедрения технологии на предприятии	Высокая скорость внедрения технологии	Контроль только некоторых производственных процессов
Значительное увеличение производительности и эффективности производства	Высокая стоимость ПО	Более низкая стоимость относительно PDM-систем	Жесткая структура и негибкость программных решений
Постоянное обновление документации позволяет избежать ошибок	Относительно высокая сложность систем	Простота обучения персонала для работы с ПО	Обязательное развертывание базового функционала

нерного проектирования, а именно: CAD-, САЕ- и САМ-системы.

САЕ (Computer Aided Engineering) или САПР-Ф – системы функционального проектирования, предназначенные для выполнения инженерного анализа различного рода, например, деформационного, газогидродинамического, термодинамического и некоторых других.

CAD (Computer Aided Design) или САПР-К – системы общего конструкторского машиностроения, позволяющие выполнять поверхностное и твердотельное моделирование детали или изделия (механизма) в целом. Такие системы являются основой любой научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР).

САМ (Computer Aided Manufacturing) или САПР-Т – технологические САПР общего машиностроения – АСТПП (автоматизированные системы технологической подготовки производства) – среды, предназначенные для подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Как правило, многие САПР совмещают в себе две или три подсистемы. Такое объединение позволило компаниям, выпускающим специализированное ПО (в частности, Dassault Systemes) разработать и внедрить концепцию управления жизненным циклом изделия (ЖЦИ) – PLM (Product Lifecycle Management). Данный подход значительно упростил использование САПР для конечного потребителя – производственных предприятий и инженерно-технического персонала путем унификации рабочей среды, отсутствием необходимости изменять формат рабочего файла при переходе из одной системы в другую. С экономической точки зрения такое решение позволило предприятиям-клиентам экономить на лицензиях ПО, так как исчезла необходимость использования нескольких САПР-систем. С другой стороны, данная концепция создает условия полной зависимости производства от единственной компании – поставщика ПО, что, очевидно, достаточно выгодно таким компаниям. В случае возникновения обстоятельств непреодолимой силы переход на другое ПО будет сопровождаться высокими экономическими затратами и низкой эффективностью

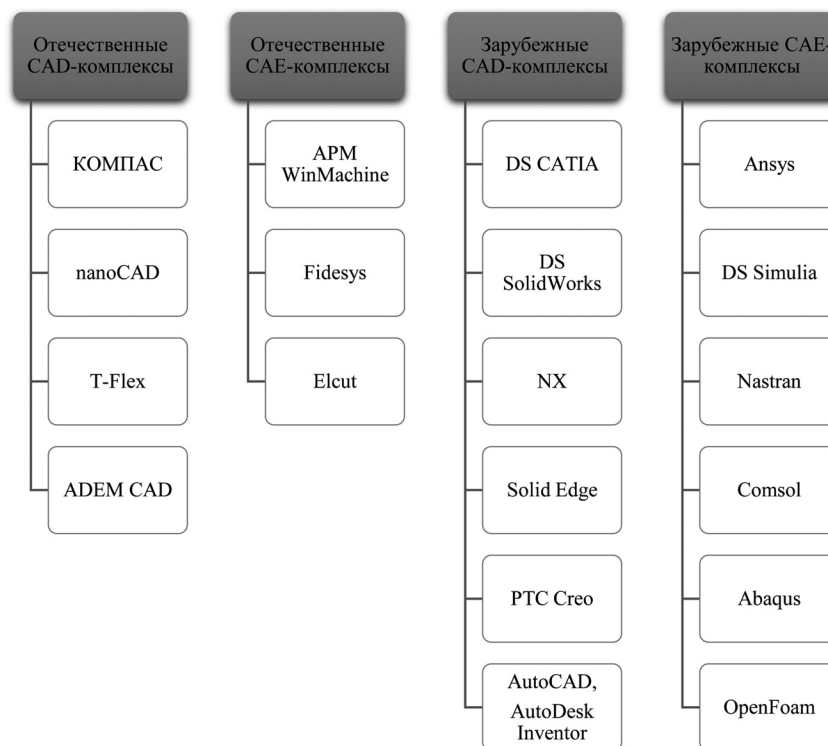


Рис. 6. Российские и зарубежные САПР, применяемые в машиностроительном (авиационном) производстве

производства во время периода адаптации рабочего персонала к новым САПР-системам [5].

Еще одной важной чертой САПР-систем является схожая с вышеописанной концепция PDM (Product Document Lifecycle) — управление данными об изделии. Система, в первую очередь, отвечает за контроль версий и технические спецификации, гарантируя, что инженеры и другие специалисты используют правильные версии и спецификации [5]. Такой подход является комплексным и позволяет связать процесс проектирования, изготовления и последующей эксплуатации изделия с отечественными комплексами стандартов — Единой системой конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системой технологической документации (ЕСТД).

Основные достоинства и недостатки двух принятых и применяемых концепций приведены в табл. 1.

Необходимо уточнить, что многие из указанных недостатки устраняются при использовании облачных PDM – PLM-систем.

Во время проведения опытно-конструкторских этапов работы в основном применяются САД и САЕ-комплексы. С помощью таких систем, например, создаются модели различного приближения проектируемого объекта, которые затем подвергаются определенному виду анализа с помощью вычислительных средств. Исходя из этого факта, было предложено провести сравнение отечественных и зарубежных САПР систем по нескольким параметрам (рис. 6).

Рассматриваемые САД-комплексы предлагают различные методы формирования 3D-моделей, оформления чертежей и сопроводительной документации. Основными подходами к формированию геометрии

являются твердотельный каркасный и поверхностный методы моделирования, каждый из которых используется при решении определенного типа задач.

Некоторые виды ПО объединяют в себе оба способа моделирования, а другие — позволяют оперировать только одним методом формирования геометрии. Поэтому при выборе САПР-подсистемы САД-типа необходимо учитывать удобство применения конкретного способа.

Работа САЕ-подсистем основана на методе конечных элементов. Такой подход предполагает дробление исследуемого изделия на некоторое конечное число элементов определенной формы, затем область каждого элемента заменяется аппроксимирующей функцией [6]. Однако, помимо предложенного метода в отечественных системах постепенно развивается метод спектрального анализа для моделирования различных процессов.

Следует отметить, что большинство российского ПО на рынке САПР составляют САМ-комплексы, что связано с возросшим уровнем применения отечественных станков с ЧПУ на производстве.

В настоящее время в России существуют полностью отечественные решения для обеспечения промышленного производства. Компания «АСКОН» предлагает продукты для комплексной автоматизации производства, в том числе на этапах опытно-конструкторских работ. Так, САПР тяжелого класса «Компас-3D» основан на российском геометрическом ядре C3D, созданном дочерней компанией «C3D Labs» [7, 8]. Наличие собственного геометрического ядра дает полную независимость компании, выпускающей ПО, а также позволяет учитывать многие важные нюансы,

Таблица 2

Сравнение востребованных САПР систем по отдельным критериям

Критерий/название САПР	Страна-разработчик	Год выпуска	Тип геометрического ядра для 3D-моделирования	Уровень САПР	Поддерживаемые операционные системы	Вид лицензии
КОМПАС-3D	Россия	1989	C3D	Легкий Средний Тяжелый	Windows, Linux	Проприетарная
Nano CAD	Россия	2008	ACIS, C3D	Легкий Средний	Windows, Linux	Проприетарная; бесплатная
T-Flex CAD	Россия	1992	Parasolid/ RGK	Легкий Средний Тяжелый	Windows, Linux	Платная, бесплатная учебная
ADEM CAD	Россия	1994	ACIS/C3D	Легкий Средний	Windows	Проприетарная
DS CATIA	Франция	1977	CGM	Легкий Средний Тяжелый	Unix, Windows	Проприетарная
DS SolidWorks	Франция	1995	Parasolid	Легкий Средний	Windows	Проприетарная
NX	Германия	1978	Parasolid	Легкий Средний Тяжелый	UNIX, Mac OS X, Windows	Запатентованное решение
Solid Edge	Германия	1995	Parasolid	Легкий Средний	Windows	Проприетарная
PTC Creo	США	2011	Granite	Легкий Средний Тяжелый	Windows	Проприетарная
AutoCAD, Autodesk Inventor	США	1982	ASM, совместимое с ACIS	Легкий Средний	Windows, Mac OS	Проприетарная

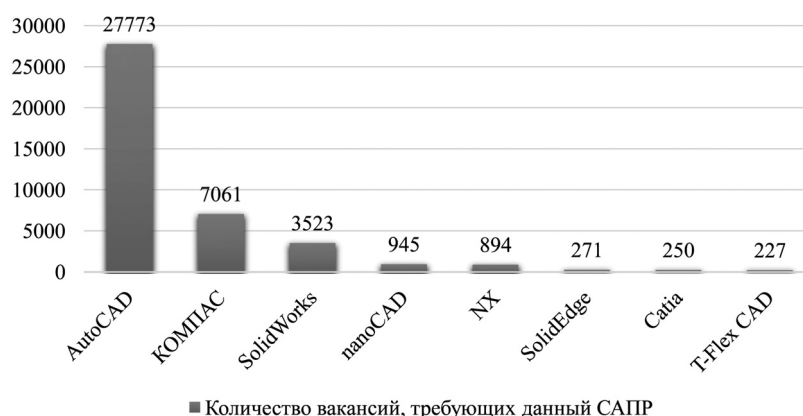


Рис. 7. Востребованность САПР-систем на рынке труда России по состоянию на ноябрь 2022 г. (по данным сайта hh.ru) [10]

отсутствующие в свободно лицензируемых ядрах (Parasolid от компании Siemens PLM и ACIS компании Dassault Systemes). Компания «Топ-Системы» в своем программном продукте «T-Flex CAD» осуществляет переход на отечественное геометрическое ядро RGK, что также вносит большой вклад в программу импортозамещения иностранного ПО [9].

Впоследствии представленные геометрические ядра могут быть лицензированы другими российскими разработчиками САПР, что, несомненно, усилит независимость от зарубежных решений. Сравнение востребованных САПР систем по отдельным критериям представлено в табл. 2.

Исходя из представленной информации, следует провести анализ российского сегмента рынка САПР и сопоставить его с нынешней мировой конъюнктурой. Сейчас наблюдается переходной процесс от зарубежных продуктов ПО к отечественным, длительность которого сложно предсказать по ряду факторов. Некоторые предприятия уже совершили полный переход на отечественные САПР-системы, некоторые ввиду заключенных контрактов с иностранными компаниями вынуждены адаптировать работу производства под несколько САПР-систем одновременно.

Значительную роль в переходе на отечественное ПО играет техническая поддержка клиентской базы компаний – изготовителем продукта. Очевидно, что

в рамках одной страны намного легче осуществлять обратную связь, техническую поддержку и постоянный обмен информацией между клиентом и поставщиком. Такой подход удобен не только с точки зрения потребителя, но и с точки зрения создателя ПО, так как во время эксплуатации накапливаются технические данные об ошибках, появляющихся при работе с САПР, возникают предложения по доработке и улучшению некоторых аспектов моделирования, которые, в свою очередь, очень часто являются поводом для обновления и оптимизации ПО.

Кроме того, важной особенностью при выборе САПР является ее способность взаимодействовать с отечественными системами документирования: ЕСКД, ЕСТД, СПДС. Внедрение PLM- и PDM-концепций в российское ПО значительно повышает практическую доступность и пользовательскую привлекательность представляемых технических решений. Тем не менее, в сложившейся ситуации следует констатировать факт того, что на данное время отечественные системы по популярности все же уступают зарубежным аналогам (рис. 7, 8).

Из анализа представленных гистограмм следует, что лидирующие позиции в сегментах САД- и САЕ-систем занимают с огромным преимуществом американские программные решения Autocad, как комплексное ПО, и Ansys, соответственно. В сегменте

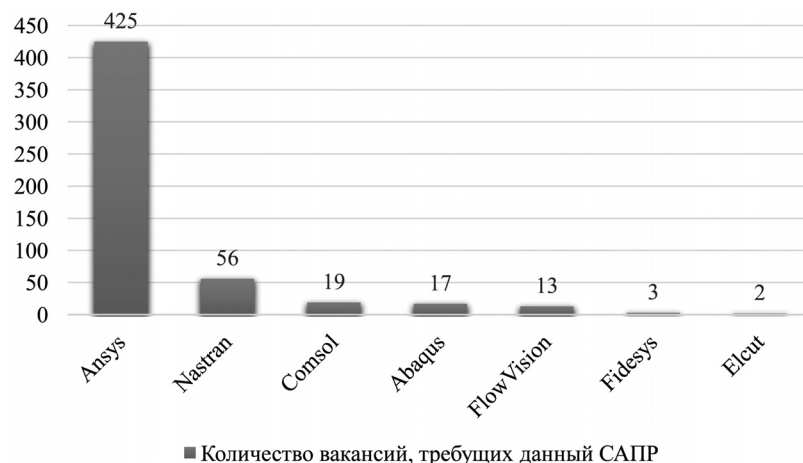


Рис. 8. Востребованность САЕ-систем на рынке труда России по состоянию на ноябрь 2022 г. (по данным сайта hh.ru) [10]

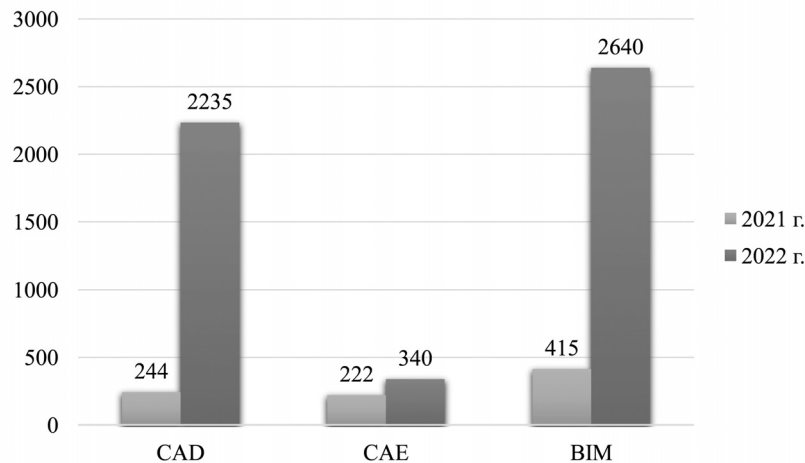


Рис. 9. Количество заказанных вузами лицензионных программных продуктов российской разработки в 2021-2022 гг.

САПР-К наблюдается более положительная динамика востребованности отечественных решений, нежели в сегменте САПР-Ф. Следует также учитывать, что в российские комплексные программные решения, такие как Компас-3D, T-Flex CAD и в некоторые другие интегрированы собственные CAE-подсистемы и модули для решения широкого круга прикладных инженерно-конструкторских задач, связанных с машиностроением, электротехникой и архитектурой [7].

В то же время, происходит и развитие PLM-систем. Так, на Международной промышленной выставке «Иннопром-2022», Госкорпорация «Росатом» представила разработанную PLM-систему среднего класса «САРУС.PLM». Было заявлено о завершении основного этапа разработки и новом наименовании разработанного ПО, а также о подготовке его коммерческого релиза в 2023 г. САРУС.PLM является полностью отечественным программным решением, независимым от зарубежных технологий. Система разработана на основе геометрического ядра RGK для работы с 3D-объектами и интеграции с отечественными САПР. Достоинствами представленной системы является возможность работы на российской операционной системе Astra Linux, а также использование российской системы управления базами данных (СУБД) [11]. Наблюдается положительная тенденция к замещению

иностранного ПО и при создании рабочих мест в высших учебных заведениях (вуз). Технические вузы активно замещают продукты компании Autodesk и Dassault Systemes отечественными разработками.

В настоящее время наиболее востребованными в учебных заведениях являются российские системы автоматизированного проектирования (CAD), системы инженерного анализа (CAE) и системы информационного моделирования зданий (BIM) (рис. 9) [12].

Следует также заметить, что за все предшествующее время в российских вузах было замещено 108890 САД-лицензий, 6972 САЕ-лицензий и 19394 ВІМ-лицензий.

Таким образом, наблюдается устойчивый процесс внедрения отечественных разработок специального ПО и инновационных решений в сфере цифровых технологий на производственных предприятиях и в учебных заведениях страны. Для наращивания усилий в этом направлении, несомненно, необходимы значительные финансовые вложения со стороны государства. Недавно стало известно, что на реализацию программ поддержки разработки и внедрения российского инженерного ПО планируется выделить 30 млрд руб. средств государственной поддержки, а в целом затраты на развитие отечественного ПО планируется увеличить в 3,4 раза к 2024 г. [13, 14].

Список использованных источников

1. Федеральная таможенная служба: справочные и аналитические материалы. <https://customs.gov.ru/statistic>.
2. Д. Хеймгартнер. Рынок инженерного ПО стремительно растет. https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22432.
3. МНИАП — Мировой рынок систем автоматизированного проектирования. <https://мниап.рф/analytics/Mirovoj-rynok-sistem-avtomaticheskogo-proektirovania>.
4. И. В. Бесхлебнов, В. Н. Астапов. Классификация САПР и их функциональное назначение. Самара: СГТУ, 2019. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19836>.
5. WSS & Technologies — PLM против PDM: в чем разница? https://www.websoftshop.ru/information/articles/plm/plm_vs_pdm.
6. И. П. Норенков. Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.
7. АСКОН — Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D. <https://ascon.ru/products/7/review>.
8. КОМПАС-3D — Ядро маленького чемпиона. Интервью команды C3D Labs журналу «Стимул». <https://kompas.ru/company/news/items/?news=2700>.
9. isicad — трудности перехода с CAD на САПР. http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22497.
10. Поиск работы в России. <https://hh.ru/?customDomain=1>.
11. Госкорпорация Росатом — на выставке «Иннопром-2022». Росатом представил цифровой продукт PLM-класса с новым именем. <https://www.rosatom.ru/journalist/news/na-vystavke-innoprom-2022-rosatom-predstavil-tsifrovoy-produkt-plm-klassa-s-novym-imenem>.
12. TADVISER — импортозамещение программного обеспечения в высших учебных заведениях. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Импортозамещение_программного_обеспечения_в_высших_учебных_заведениях.
13. TADVISER — инженерное программное обеспечение (рынок России). <https://www.tadviser.ru/index.php>.
14. TADVISER — импортозамещение программного обеспечения в госсекторе. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Импортозамещение_программного_обеспечения_в_госсекторе#.

References

1. Federal Customs Service — Reference and analytical materials. <https://customs.gov.ru/statistic>.
2. D. Heimgartner. The engineering software market is growing rapidly. https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22432.
3. MNIAP — The world market of computer-aided design systems. <https://мниап .RF/analytics/Мировой-рынок-систем-автоматического-проектирования>.
4. I. V. Beskhlebnov, V. N. Astapov. Classification of CAD systems and their functional purpose. Samara: SGTU, 2019. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19836>.
5. WSS & Technologies — PLM vs. PDM: what's the difference? https://www.webssoftshop.ru/information/articles/plm/plm_vs_pdm.
6. I. P. Norenkov. Fundamentals of Computer-aided Design. M.: Bauman Moscow State Technical University, 2009.
7. ASCON is a COMPASS-3D three-dimensional modeling system. <https://ascon.ru/products/7/review>.
8. COMPASS is the 3D Core of the little champion. Interview of the C3D Labs team to the magazine «Stimulus». <https://kompas.ru/company/news/items/?news=2700>.
9. isicad — Difficulties in switching from CAD to CAD. http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22497.
10. Job search in Russia. <https://hh.ru/?customDomain=1>.
11. Rosatom State Corporation — At the Innoprom-2022 exhibition. Rosatom presented a PLM-class digital product with a new name. <https://www.rosatom.ru/journalist/news/na-vystavke-innoprom-2022-rosatom-predstavil-tsifrovoy-produkt-plm-klassa-s-novym-imenem>.
12. TADVISER — import substitution of software in higher educational institutions. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Import Substitution_program_supply_in_high_education_units.
13. TADVISER — engineering software (Russian market). <https://www.tadviser.ru/index.php>.
14. TADVISER — import substitution of software in the public sector. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Import Substitution_program_support_in_the_Public_Sector#.