**Министерство транспорта Российской Федерации**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ образовательное   
учреждение ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Российский университет транспорта»**

**(РУТ** **(МИИТ))**

Институт пути, строительства и сооружений

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

|  |
| --- |
| **Допустить к защите**  **Заведующий кафедрой:**  Нестеров И.В. **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**  **(ФИО) (подпись)**  **«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2025 г.** |

|  |
| --- |
| **Согласовано**  **Руководитель магистерской программы:**  Нестеров И.В. **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**  **(ФИО) (подпись)**  **«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2025 г.** |

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**на тему: Разработка программного модуля для автоматизации конструкторского проектирования в Компас 3Д**

**Направление подготовки 09.04.01 – «Информатика и вычислительная техника»**

**Магистерская программа – Информационные технологии в строительстве**

**Обучающийся (Захаров Д.А.)**

**Научный руководитель (Смирнова О.В.)**

**Москва 2025 г.**

**Министерство транспорта Российской Федерации**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ образовательное   
учреждение ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Российский университет транспорта (МИИТ)»**

**(РУТ** **(МИИТ))**

Институт пути, строительства и сооружений

Кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

Направление подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ Нестеров И.В. /

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2025 г.

**ЗАДАНИЕ**

**НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ**

Фамилия, имя, отчество: Захаров Данила Алексеевич

Тема работы: «РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В   
КОМПАС 3Д»

Утверждена приказом по институту № 4557/С от 28.12.2024г.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. **Смирнова О.В.**

**1. Список вопросов, подлежащих анализу или исследованию:**

1. Анализ текущих методов импорта информационных моделей в расчетные комплексы.
2. Выбор программного обеспечения для импорта информационных моделей в расчетные комплексы.
3. Тестирование и отладка скриптов для импорта информационной модели в расчетные комплексы.

**2. Содержание пояснительной записки:**

1. Обзор программного обеспечения для информационного моделирования с визуальными программными редакторами
2. Порядок создания BIM-модели с помощью визуального программирования
3. Процесс передачи BIM-модели из Grasshopper в SCAD++

**3. Список основной литературы:**

1. Шамарина А.А., Павлюк А.С., Коста А.А., Шафрай Е.С. «Технологии в архитектурном проектировании» – Москва: МИСИ – МГСУ, 2023. — ISBN 978-5-7264-3263-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/369836
2. Grasshopper. Учебник для начинающих. Основы. Редакция V3.2. Перевод Д. Булка, 2022. – https://free-stl.ru/manual/GrasshopperPrimer\_V3-3\_RU-low.pdf
3. Аветисян Р.А., Джураев Ф.М., Лемешева Е.А. «BIM-модель ЖК ТРИКОЛОР с инженерными системами и расчётом конструктивной модели» – Москва, 2022.https://reader.lanbook.com/book/367565?lms=4e23f83fac2f451534ad0c2e4200bf56

Дата выдачи задания «10» февраля 2025г.

Научный руководитель: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ Смирнова О.В. /

Обучающийся: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ Захаров Д.А. /

ОГЛАВЛЕНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#_Toc194785203)

[1. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 5](#_Toc194785204)

[1.1. Российская программа «Компас» 13](#_Toc194785205)

[1.2. Из чего должна состоять современная система САПР 14](#_Toc194785206)

[2. ОБЗОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 17](#_Toc194785207)

[2.1. Краткий обзор современных CAD систем 17](#_Toc194785208)

[2.2. Сравнение AutoCAD и КОМПАС 3Д 18](#_Toc194785209)

[2.3. Преимущества КОМПАС 3Д 20](#_Toc194785210)

[2.4. Особенности Компас API 21](#_Toc194785211)

[2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ 22](#_Toc194785212)

[3. ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ 3Д МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ КОМПАС-3D 23](#_Toc194785213)

[3.1. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ 3Д МОДЕЛИ 23](#_Toc194785214)

[3.2. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ СБОРОК 27](#_Toc194785215)

[3.3. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ СПЕЦИФИКАЦИЙ 29](#_Toc194785216)

[3.4. ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ 32](#_Toc194785217)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 35](#_Toc194785218)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 36](#_Toc194785219)

# ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе развитие промышленности требует высокой степени автоматизации производственных процессов. Для решения этой задачи необходимо внедрять инновационные решения в области проектно-конструкторской документации. Автоматизация проектирования позволяет значительно сократить затраты времени на подготовку конструкторской документации и уменьшить количество ошибок.

Системы автоматизированного проектирования позволяют моделировать сложные технические объекты, сложные конструкции и разрабатывать проектную документацию автоматически. В то же время использования стандартных функций этих систем бывает недостаточно для решения ряда задач. Поэтому возникает необходимость создания дополнительных программных модулей.

Программные модули позволяют оптимизировать специфические процессы, автоматизировать рутинные действия и ускорить процесс формирования проектно-конструкторской документации. Такой подход особенно актуален для предприятий, занимающихся производством сложных изделий, где скорость и качество играют важную роль.

# 1. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Программное обеспечение САПР, относится к программам, которые помогают инженерам и дизайнерам в самых разных отраслях промышленности проектировать и производить физические изделия - от зданий, мостов, дорог, самолетов, кораблей и автомобилей до цифровых камер, мобильных телефонов, телевизоров, одежды и, конечно, компьютеров!

Первое программное обеспечение для САПР, очень инновационная система (хотя, конечно, примитивная по сравнению с современными программами САПР) под названием «Sketchpad» была разработана Айвеном Сазерлендом в рамках его докторской диссертации в Массачусетском технологическом институте в начале 1960-х годов. Sketchpad был инновационным программным обеспечением, поскольку дизайнер взаимодействовал с компьютером графически, рисуя на мониторе компьютера с помощью светового пера. Уникальность программы состоит в том, что даже сейчас, когда операции, занимавшие часы в компьютерной технике 1960-х годов, выполняются менее чем за миллионную долю секунды, а сенсорные комбинированные TFT-дисплеи и устройства ввода становятся легкодоступными, нет ни одного ведущего программного обеспечения для САПР, которое бы включало такую непосредственность в свой пользовательский интерфейс.

Sketchpad был первым в мире программным обеспечением для САПР, но первая коммерческая система CAM, инструмент для программирования с числовым программным управлением под названием PRONTO, была разработана в 1957 году Патриком Джей Ханратти. По этой причине именно Ханратти чаще всего называют «отцом» САПР CAM.

Из-за высокой стоимости первых компьютеров и уникальных требований к машиностроению, предъявляемых к самолетам и автомобилям, крупные аэрокосмические и автомобильные компании стали первыми коммерческими пользователями программного обеспечения САПР. Программные системы САПР первого поколения обычно представляли собой приложения для 2D-черчения, разработанные внутренней ИТ-группой производителя (часто в сотрудничестве с университетскими исследователями) и предназначенные в основном для автоматизации повторяющейся работы по черчению. Ханратти был одним из разработчиков одной из таких систем автоматизированного проектирования, названной DAC (Design Automated by Computer или дизайн, автоматизированный компьютером), в исследовательских лабораториях General Motors в середине 1960-х годов. Собственные программы САПР были также разработаны компаниями McDonnell-Douglas (CADD выпущен в 1966 году), Ford (PDGS выпущен в 1967 году), Lockheed (CADAM выпущен в 1967 году) и многими другими.

В середине 1960-х годов подразделение Digigraphics корпорации Control Data выпустило первую коммерчески доступную систему автоматизированного проектирования. Эта система стала преемницей более ранней исследовательской системы САПР компании ITEK (которая называлась "Электронная чертежная машина" и работала на мейнфрейме Digital Equipment Corp. PDP-1), и, как и в случае с программой Sketchpad CAD, ввод данных осуществлялся с помощью светового пера. Цена Digigraphics составляла 500 000 долларов за единицу, и было продано всего несколько экземпляров.

В 1970-х годах программное обеспечение САПР начало выходить из исследовательской сферы и переходить в сферу коммерческого использования. Как и в конце 1960-х годов, большинство программ для САПР по-прежнему разрабатывалось внутренними группами крупных производителей автомобильной и аэрокосмической техники, часто совместно с университетскими исследовательскими группами. В течение десятилетия такие производители автомобилей, как: Ford (PDGS), General Motors (CADANCE), Mercedes-Benz (SYRCO), Nissan (CAD-I выпущен в 1977 году) и Toyota (TINCA выпущена в 1973 году командой Хироми Араки, CADETT в 1979 году также Хироми Араки), а также производители аэрокосмической техники, такие как: Lockheed (CADAM), McDonnell-Douglas (CADD) и Northrop (NCAD, который ограниченно используется и сегодня), все они имели большие внутренние группы разработчиков программного обеспечения САПР, работающие над собственными программами.

Большинство программ CAD все еще заменяли собой 2D-черчение, а основными преимуществами для производителей были:

* уменьшение количества ошибок в чертежах и
* повышение возможности повторного использования чертежей.

Одной из самых известных 2D CAD-программ была система CADAM (Computer Augmented Drafting and Manufacturing), изначально разработанная авиастроительной компанией Lockheed. В 1975 году французская аэрокосмическая компания Avions Marcel Dassault приобрела у Lockheed лицензию на исходный код CADAM и в 1977 году начала разработку 3D CAD программы под названием CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application), которая и по сей день является самой коммерчески успешной CAD программой, используемой в настоящее время.

1970-е годы начались с простых 2D CAD-программ, таких как CADAM, но исследования и коммерческий интерес к 3D CAD-программам быстро набирали обороты, и одним из самых влиятельных исследований десятилетия стало сложное 3D-моделирование поверхностей для CAD-программ. Докторская диссертация К. Весприлла (Сиракузский университет) 1975 года "Computer-Aided Design Applications of the B-Spline Approximation Form", основанная на исследованиях 1960-х годов де Кастельжо, Безье, Кунса и Форреста и более ранней (1973) работе Р.Ф. Ризенфельда (также в Сиракузском университете), и по сей день является одной из основ комплексного 3D моделирования кривых и поверхностей в программах 3D CAD.

Первая программа трехмерного твердотельного моделирования SynthaVision от MAGI (Mathematics Application Group, Inc.) была выпущена в 1972 году, но не как CAD, а как программа для проведения трехмерного анализа воздействия ядерного излучения. 3D модели SynthaVision представляли собой твердотельные модели, похожие на модели CSG (constructive solid geometry), используемые в более поздних программах 3D CAD. В целом, несмотря на постоянно растущую производительность компьютеров, твердотельное моделирование все еще было слишком трудоемким для большинства практических приложений. В течение десятилетия обширные исследования в области твердотельного моделирования проводились группой Чарльза Ланга и Хербом Фолккером и его командой, и подходы этих двух групп в 1970-е годы были принципиально разными, как и программные продукты САПР, в конечном итоге основанные на их исследованиях.

1970-е годы стали десятилетием, в котором произошел значительный прогресс в программном обеспечении САПР, особенно в фундаментальных геометрических алгоритмах, на которых построено программное обеспечение САПР. Не менее важно и то, что мощность компьютерного оборудования неуклонно росла, а новые миникомпьютеры VAX, выпущенные компанией DEC и к 1979 году уступавшие по доле рынка только IBM, и миникомпьютеры Data-General, HP и Prime продолжали снижать цены на компьютеры и эксплуатационные расходы, делая программное обеспечение САПР доступным для небольших компаний. В конце 1970-х годов новые языки программирования высокого уровня, такие как C, и более простые операционные системы, такие как UNIX, стали использоваться более широко.

В 1980-е годы программное обеспечение САПР начиналось как исследовательская тема, которая только-только начала приносить коммерческую прибыль, но в конце десятилетия индустрия программного обеспечения САПР столкнулась с суровой реальностью жесткой коммерческой конкуренции, вызванной бешеными сроками разработки коммерческих продуктов и беспрецедентными изменениями в аппаратном и в программных технологиях САПР.

Персональные компьютеры IBM представила в 1981 году, а компания Autodesk продемонстрировала первое программное обеспечение САПР для ПК – «AutoCAD Release 1», в ноябре 1982 года. Компания Adra Systems была основана в 1983 году и вскоре после этого начала поставки своего программного обеспечения CADRA 2D CAD. В 1984 году была основана компания Bentley Systems, которая выпустила MicroStation, реализацию для ПК программного обеспечения IGDS CAD от Intergraph, а в следующем году была основана компания Micro-Control Systems, которая выпустила первое программное обеспечение 3D wire-frame CAD для ПК «CADKEY». В 1984 году Apple выпустила первый Macintosh 128, а в 1985 году была основана компания Diehl Graphsoft, выпустившая MiniCAD, который быстро стал самым продаваемым CAD-программой на Mac. Несмотря рост мощности ПК и Mac на протяжении 1980-х годов, AutoCAD продолжал завоевывать значительную долю рынка 2D CAD-программ, общая нехватка мощности процессора и особенно низкая производительность графики по сравнению с рабочими станциями UNIX означали, что ПК окажут революционное влияние на индустрию CAD-программ только в следующем десятилетии.

На протяжении 1980-х годов новое поколение мощных рабочих станций UNIX и развивающийся 3D-рендеринг неизбежно привели к тому, что рынок программного обеспечения для САПР сместился в сторону 3D и твердотельного моделирования. В 1981 году компания Unigraphics выпустила программу UniSolids, основанную на ядре твердотельного моделирования PADL-2 CSG, разработанном Волькером, а в 1982 году Ян Брейд, Чарльз Лэнг и команда Shape Data из Кембриджа (Англия) выпустили твердотельный моделировщик Romulus b-rep; первое коммерческое ядро твердотельного моделирования, предназначенное для прямой интеграции в программное обеспечение САПР. Romulus включил в себя спецификацию прикладного интерфейса CAM-I AIS (Computer Aided Manufacturers International's Application Interface Specification) и стал единственным твердотельным моделировщиком (не считая его преемника Parasolid), когда-либо предлагавшим стандартный API для сторонних разработчиков, чтобы облегчить высокоуровневую интеграцию в основную программу САПР.

Romulus был быстро лицензирован компаниями Siemens, HP и несколькими другими производителями программного обеспечения для САПР. Первая версия IGES была опубликована в 1980 году, но уже тогда наметившийся переход на программное обеспечение 3D CAD, использующее твердотельные модели, и необходимость для такого программного обеспечения CAD управлять данными об изделии, такими как свойства материала, качество обработки поверхности, инженерные допуски и т.д., вызвали потребность в новом стандарте обмена данными. В 1984 году в Европе была начата инициатива PDES (Product Data Exchange Specification), направленная на удовлетворение новых потребностей.

К 1985 году индустрия программного обеспечения для САПР вошла в комфортную колею, когда постепенное улучшение функциональности программного обеспечения использовало преимущества продолжающегося роста производительности компьютерного оборудования. Прибыль была высокой, поскольку цены на программное обеспечение САПР оставались высокими, несмотря на падение цен на оборудование, а рост продаж был значительным. Компания Computervision с годовым доходом более 350 млн. долларов была лидером рынка, опережая GE/CALMA, Applicon и Intergraph, за которыми следовали McDonnell-Douglas/Unigraphics и IBM/CATIA. Затем, в 1985 году, на рынке появился новый поставщик программного обеспечения для трехмерного твердотельного моделирования CAD – Parametric Technology Corp. Pro/Engineer безвозвратно изменил ожидания пользователей в отношении функциональности пользовательского интерфейса CAD-программ, простоты использования и, особенно, скорости твердотельного моделирования.

Pro/Engineer стал первой основной системой 3D CAD, которая полностью реализовала концепции, впервые продемонстрированные более 20 лет назад в Sketchpad Ивана Сазерленда (за исключением светового пера), но при этом стала первой программой 3D CAD, полностью основанной на твердотельных моделях и основанных на истории функциях и ограничениях.

Pro/Engineer широко использовал X-Windows из UNIX для создания пользовательского интерфейса с выпадающими меню, контекстно-зависимыми меню, всплывающими окнами выбора и ввода, иконками и другими удобными функциями. По сравнению с Pro/Engineer, программы САПР известных производителей, основанные на собственных операционных системах и написанные на Фортране и ассемблере, были медленными, неуклюжими и, казалось, неконкурентоспособными. Если бы не изначально слабые функции моделирования 3D-кривых и поверхностей в Pro/Engineer, которые производители уже сделали в системах известных поставщиков программного обеспечения CAD, продвижение Parametric Technology было бы еще более значительным.

Parasolid был разработан Джоном Оуэном и его командой в Shape Data для обеспечения полной совместимости с предыдущим ядром твердотельного моделирования Romulus и сохранил API CAM-I AIS. Рон Дэвидсон запустил Parasolid как стандарт ядра твердотельного моделирования в 1989 году и очень быстро лицензировал Parasolid компаниям Siemens-Nixdorf, General Dynamics, Fujitsu и другим для интеграции в их CAD программы.

Независимо от них, Чарльз Лэнг и Ян Брэйд в 1985 году создали компанию Three-Space Ltd. и были приглашены компанией Spatial Technology для разработки ядра твердотельного моделирования ACIS для программного обеспечения Strata CAM компании Spatial Technology. Первая версия ACIS была выпущена в 1989 году и быстро была лицензирована компанией HP для интеграции в ее программное обеспечение ME CAD.

К 1992 году рабочие станции UNIX переосмыслили понятие САПР, а для использования на терминалах мэйнфреймов или мини-компьютеров не продавалось никакого нового программного обеспечения САПР. К 1993 году рынок программного обеспечения для САПР четко поляризовался: IBM-Dassault Systemes (CATIA), EDS-Unigraphics (Unigraphics) и Parametric Technology (Pro/Engineer) стали явными лидерами на арене программного обеспечения для 3D САПР для рабочих станций UNIX, за которыми вплотную следовала SDRC (I-DEAS).

Компания Autodesk уверенно преодолела волну распространения ПК и стала компанией № 1 по производству программного обеспечения для 2D САПР с доходом в 1992 году $285 млн. Autodesk первоначально лицензировала ядро ACIS у компании Spatial в 1990 году, а в 1994 году Autodesk объявила о продаже 1 000 000-й лицензии своего программного обеспечения AutoCAD 2D CAD и о выпуске AutoCAD Release 13, включающего функции трехмерного твердотельного моделирования на основе ядра ACIS 3D.

В конце 1994 года, когда индустрия программного обеспечения для САПР уже привыкла к шоку от рабочих станций UNIX, вместе с выпуском компанией Autodesk программного обеспечения для 3D CAD произошли два события, которые должны были полностью изменить индустрию программного обеспечения для САПР: Microsoft выпустила свою первую 32-разрядную операционную систему для ПК, Windows NT, а Intel – первые 32-разрядные чипы Pentium Pro. В это же время обострились «войны ядер 3D твердотельных моделировщиков»: EDS/Unigraphics официально выпустила Parasolid для Windows NT, Spatial Technology выпустила расширения 3D Toolkit для ACIS на Windows NT, а Ricoh выпустила Designbase на Windows NT.

## 1.1. Российская программа «Компас»

В 1989 году была разработана первая версия для IBM PC компанией АСКОН. Уже тогда компания смогла заключить первый контракт на поставку 10 мест КОМПАС для Ленинградского Металлического завода. В течение 8 лет компания активно обновляла программу, главным шагом стал переход на ОС Windows с выпуском Компаса 5.0 в 1997 году.

В 2000 году началось направление в сторону 3Д – создание трёхмерных деталей и дальнейшая их передача в другие системы для станков с ЧПУ, а также в расчётные пакеты. Через год вышел специальный пакет библиотек под названием Компас-График, предназначенный для строительного проектирования, который позже перерастёт в КОМПАС-СПДС (2009 год).

Современный вид компас приобрёл в 2017 коду с выходом версии v17, после этого программа не сильно менялась и лишь обрастала новыми функциями. Также стоит отдельно отметить стороннее подразделение АСКОН C3D Labs. Дело в том, что 3Д движок, через который строится 3Д графика был создан с нуля и развивался по началу параллельно вместе с компасом, но в 2012 он стал отдельным ядром, которое впоследствии лицензировалось многими другими отечественными компаниями для создания своих САПР систем. Из популярных можно выделить: NanoCAD, разработанный Нанософт.

Из последних важных нововведений можно отметить, что в версии v21 (вышедшая в июне 2021 года) появилась возможность прямого импортирования 3д моделей из других САПР-программ (NX, Creo, SolidWorks, Inventor, Catia, SolidEdge). Такие модели стало возможно вставлять в сборку Компас-3Д в качестве компонентов.

## 1.2. Из чего должна состоять современная система САПР

САПР-системы прошли долгий путь, прежде чем они стали максимально просты для использования. Изначально, только человек с высоким уровнем программирования мог в полной мере использовать возможности компьютера для автоматизации проектирования, но с наращиванием мощностей компьютера использование таких программ стало максимально лёгким и не требует знания специфики работы с компьютером изнутри. Можно выделить три аспекта, которые необходимы для реализации удобной САПР системы:

-Интеграция 2Д чертежей и 3Д моделирования.

-Интеграция графической и прочей проектной информации.

-Интеграция структуры данных и пользовательского интерфейса.

-Интеграция функций черчения с другими приложениями.

Именно так должна работать современная САПР система.

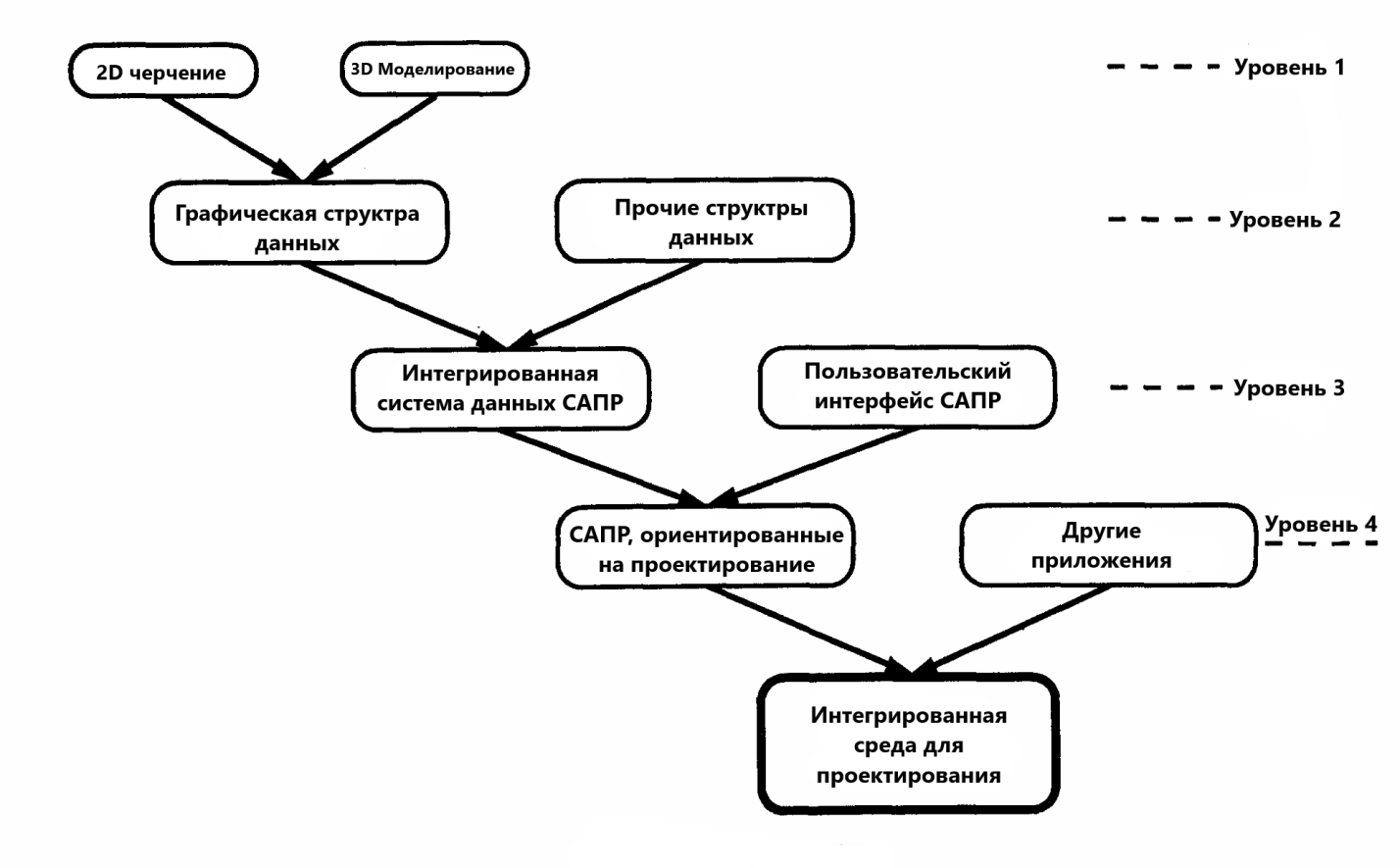


Рисунок 1.

**2Д Чертежи**

2Д-чертежи являлись основным инструментом для передачи проектируемой информации внутри конструкторской индустрии уже многие годы. Вообще, самые ранние чертежи предположительно появились за 2000 лет до нашей эры. Традиционно все чертежи делались вручную, но сейчас абсолютно всё делается через компьютеры. Текущие системы предоставляют нам лёгкий пользовательский ввод, манипуляцию с графикой и также дают нам создавать сложные чертежи на предоставленной плоскости. Преимущества, ассоциирующиеся с 2Д-черчением, включают: экономию, лёгкость и скорость использования. Также можно отметить, что сами по себе требования к 2Д-чертежам не сильные, так как это всего лишь отображение простых примитивов.

**3Д моделирование**

3Д моделирование позволяет дать более полную картину объекта, который нужно спроектировать. Они предоставляют намного больше

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамарина А.А., Павлюк А.С., Коста А.А., Шафрай Е.С. «Технологии в архитектурном проектировании» – Москва: МИСИ – МГСУ, 2023. — ISBN 978-5-7264-3263-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/369836
2. Grasshopper. Учебник для начинающих. Основы. Редакция V3.2. Перевод Д. Булка, 2022. – https://free-stl.ru/manual/GrasshopperPrimer\_V3-3\_RU-low.pdf
3. Аветисян Р.А., Джураев Ф.М., Лемешева Е.А. «BIM-модель ЖК ТРИКОЛОР с инженерными системами и расчётом конструктивной модели» – Москва, 2022.https://reader.lanbook.com/book/367565?lms=4e23f83fac2f451534ad0c2e4200bf56