

Тема 3.1. Системы автоматизированного проектирования (САПР)

Общие сведения о САПР. Цели и функции САПР

В нефтегазовой отрасли велико число процессов, предусматривающих выполнение проектных работ. Проектирование осуществляется за счет применения САПР, которые решают весь комплекс задач от анализа задания до разработки полного объема конструкторской и технологической документации. Это достигается за счет объединения современных технических средств и математического обеспечения, параметры и характеристики которых выбираются с максимальным учетом особенностей задач проектно-конструкторского процесса. САПР представляет собой крупные организационно-технические системы, состоящие из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с проектными подразделениями конкретной организации.

Аббревиатуру САПР следует расшифровывать как «система автоматизированного проектирования». Возможно использование также наименования «система автоматизации проектных работ». Первый вариант расшифровки является предпочтительным, поскольку широко используется в современной технической, учебной литературе и государственных стандартах.

При этом следует учесть, что вначале термин «автоматизация проектирования» применялся во всех тех случаях, когда ЭВМ использовали для расчетов, связанных с проектированием. Но сейчас этот термин приобрел более специфический смысл, относящийся к интерактивным системам, в которых проектировщик и ЭВМ при решении задач проектирования взаимодействуют друг с другом. При помощи автоматизации проектирования результаты проектирования объектов, в которых использовались новые идеи и технические средства, могут быстро сообщаться проектировщику в удобной для него форме. Благодаря этому за короткий промежуток времени можно глубоко проникнуть в суть проблем, связанных с проектированием. Автоматизация проектирования также позволяет создавать необходимую документацию и проверять полученные результаты. Таким образом, сегодня речь идет о создании, так называемых, интеллектуальных человеко-машинных систем, в рамках которых возможно выполнение всего цикла проектных работ, начиная от научных исследований и кончая изготовлением конструкторской и технологической документации, а в ряде случаев – макетов или опытных образцов. Причем, «интеллектуальность» таких систем определяется тем, в какой степени эта система способствует раскрытию и использованию интеллектуальных возможностей человека, его знаний и опыта как специалиста, освобождая его от механической и нетворческой работы.

Проектирование – это комплекс работ по исследованию, расчетам и конструированию нового изделия или нового процесса. В основе проектирования лежит первичное описание – техническое задание.

В условиях жесткой конкуренции, внедрение новых информационных технологий в проектирование позволяет:

- повысить техническое качество проектов;
- применить новые технические решения;
- сократить сроки проектирования;
- эффективнее реагировать на выдвигаемые заказчиком требования;
- оперативные и качественнее выполнять необходимые изменения и корректировку проектов;
- выдавать заказчику проектно-сметную документацию в современных цифровых форматах;
- насыщать проектную документацию дополнительной, атрибутивной, информацией, используемой, в дальнейшем, в строительстве и эксплуатации;
- повысить эффективность управления проектированием.

Различают следующие виды проектирования: неавтоматизированное проектирование и автоматизированное проектирование. **Процесс проектирования, осуществляемый человеком вручную (без использования ЭВМ), называют неавтоматизированным проектированием. Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным проектированием.**

Необходимо выделить понятие **автоматического проектирования**, которое остается для выполнения отдельных вычислительных операций, процедур, выполняемых средствами вычислительной техники согласно заложенным в них программам.

Таким образом, **автоматическим проектированием называют проектирование, при котором все преобразования описаний объекта и алгоритма его функционирования осуществляются без участия человека.** Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов.

Существует множество определений САПР, но суть их такова, что **САПР – организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации (отдела) и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП).** Взаимодействие подразделений проектной организации (проектных отделов) с комплексом средств автоматизации проектирования регламентируется организационным обеспечением.

Основная функция САПР состоит в выполнении автоматизированного проектирования на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей.

САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР – повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращение трудоемкости проектирования и планирования;
- сокращение сроков проектирования;
- сокращение себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращение затрат на натурное моделирование и испытания.

Эффективность применения САПР обеспечивается следующими ее возможностями:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования (использование готовых фрагментов чертежей: конструктивных и геометрических элементов, унифицированных конструкций, стандартных изделий);
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;
- замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

Подходы к проектированию на основе компьютерных технологий

Можно выделить два подхода к конструированию на основе компьютерных технологий. **Первый подход** базируется на **двухмерной геометрической модели** и использовании компьютера как электронного кульмана, позволяющего значительно ускорить процесс конструирования и улучшить качество оформления конструкторской документации. Центральное место в этом подходе к конструированию занимает чертеж, который служит средством графического представления изделия, содержащего информацию для решения графических задач, а также для изготовления изделия. Так, с помощью вычислительной техники в данном подходе облегчаются:

1) оформление конструкторских документов, насыщенных изображениями стандартных, типовых, унифицированных составных частей, (например, электрических и других принципиальных, функциональных схем, печатных плат, модулей, приборов, электронных блоков, стоек, шкафов, пультов и т.д.);

2) разработка текстовых документов (спецификаций, перечней элементов и др.).

В основе **второго подхода** лежит компьютерная **пространственная геометрическая модель (ПГМ)** изделия, которая является более наглядным способом представления оригинала и

более мощным и удобным инструментом для решения геометрических задач. Чертеж в этих условиях начинает играть вспомогательную роль, а методы его создания основаны на методах компьютерной графики, методах отображения пространственной модели.

Классификация САПР

Классификация по ГОСТ 23501.108-85

Необходимо четко определить, что виды (классы, разновидности) САПР выделяются как по отечественному ГОСТ 23501.108-85, так и международными стандартами. В соответствии с вышеуказанным ГОСТ, **САПР классифицируются по следующим признакам:**

- тип и разновидность объекта проектирования;
- сложность объекта проектирования;
- уровень автоматизации проектирования;
- комплексность автоматизации проектирования;
- характер выпускаемых документов;
- количество выпускаемых документов;
- количество уровней в структуре технического обеспечения.

По каждому признаку установлены классификационные группировки САПР. Коды каждой классификационной группировки отделяют друг от друга точкой. Состав классификационных группировок САПР приведен на рисунке 1. Цифры 1, 2, 3, ... 8 на схеме обозначают номера позиций классификационных группировок САПР.

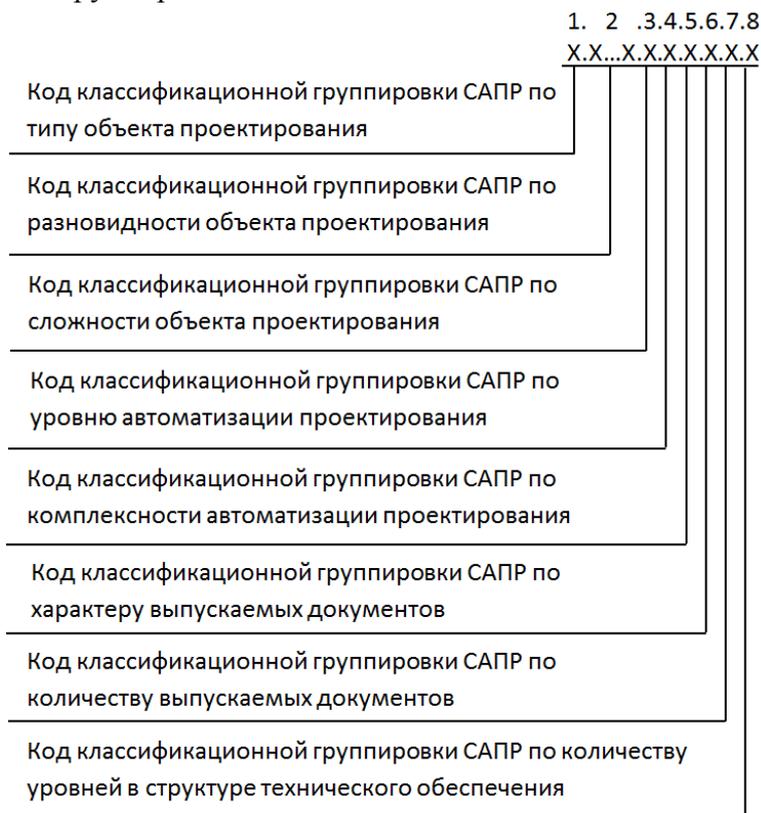


Рисунок 1. Состав классификационных группировок САПР

«Дерево классификации», иллюстрирующее данный подход к классифицированию САПР показано на рисунке 2. Подпозиции нумеруются сверху вниз, начиная с 1.

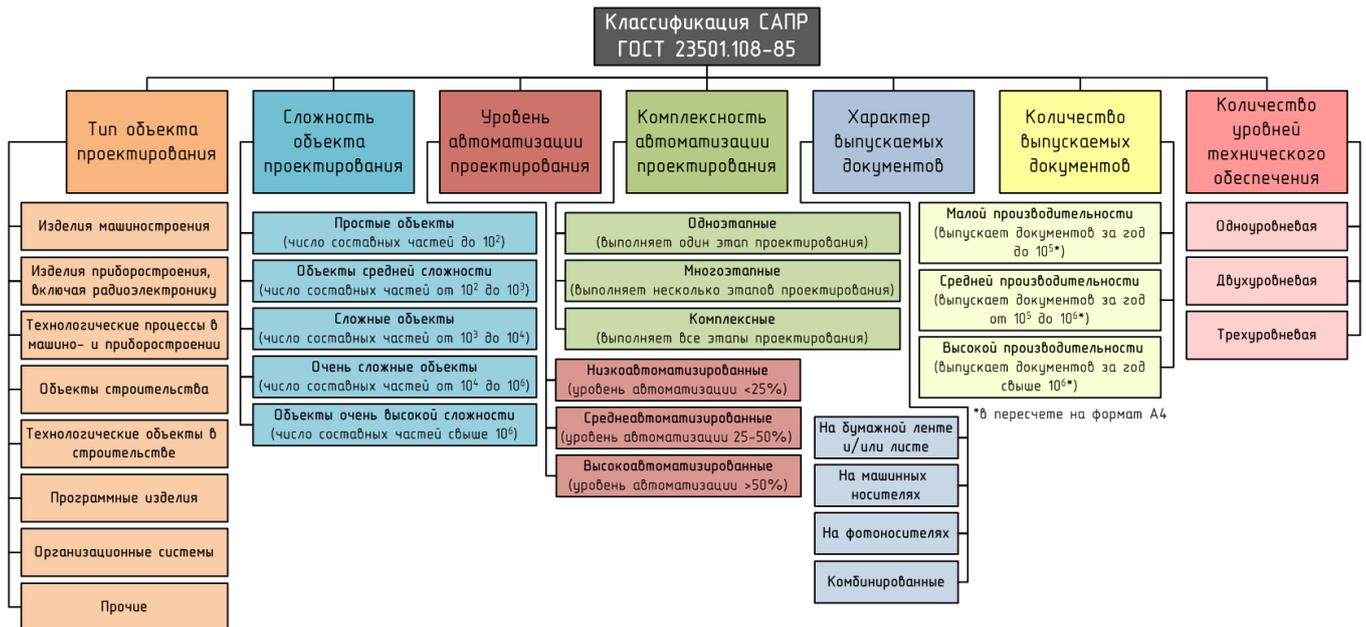


Рисунок 2. Классификация САПР по ГОСТ 23501.108-85

При формировании формализованного описания САПР допускается добавлять классификационные группировки по дополнительным признакам, характеризующим систему, например, по наличию и типу автоматизированного банка данных, операционной системы, наличию средств тестирования, сто методу проектирования и т. п.

Для решения отдельных задач допускается использовать часть классификационных группировок. Например, для обозначения САПР используют две первые классификационные группировки, для планирования и оценки уровня автоматизации проектирования — четвертую классификационную группировку и т. п.

Классификационные группировки, кроме второй, имеют один разряд кодового обозначения. Для второй классификационной группировки (по признаку «Разновидность объекта проектирования») количество разрядов (n) определяют в соответствии с принятой классификацией объектов, проектируемых системой, и уточняют на отраслевом уровне.

Допускается код классификационной группировки «Разновидность объекта проектирования» отделять от обозначений других классификационных группировок не точками, а дефисами или круглыми скобками.

Коды классификационных группировок определяют принадлежность создаваемой системы к определенному подмножеству (классу) САПР.

Коды классификационных группировок по признакам сложности объекта проектирования, уровню автоматизации проектирования, комплексности автоматизации проектирования и количеству выпускаемых документов определяют (до утверждения общепромышленных методик) по отраслевым нормативно-техническим документам.

Классификация САПР в англоязычной терминологии

Однако, учитывая что многие разновидности САПР имеют иностранное происхождение (а отечественные нацеливаются в том числе и на покупателей за пределами России), на практике чаще приходится сталкиваться с нюансами англоязычных терминов, применяемых для классификации программных приложений и средств автоматизации САПР по отраслевому и целевому назначению.

Чаще всего русскоязычному понятию САПР в английском языке соответствует аббревиатура CAD (англ. *computer-aided design*), подразумевающая использование компьютерных технологий в проектировании. Впервые термин CAD прозвучал в конце 50-х гг. прошлого века в Мас-сачусетском технологическом институте в США. Распространение эта аббревиатура получила уже в 70-х гг. как международное обозначение технологии конструкторских работ. С началом применения вычислительной техники под словом CAD подразумевалась обработка данных средствами машинной графики. Однако этот один термин не отражает всего того, что им иногда называют. В ГОСТ 15971-90 это словосочетание приводится как стандартизированный англо-

язычный эквивалент термина «автоматизированное проектирование». Понятие CAD не является полным эквивалентом САПР, как организационно-технической системы. Термин САПР на английский язык может также переводиться как CAD system, automated design system, CAE system.

В ряде зарубежных источников устанавливается определенная соподчиненность понятий CAD, CAE, CAM. Термин CAE определяется как наиболее общее понятие, включающее любое использование компьютерных технологий в инженерной деятельности, включая CAD и CAM.

Для обозначений всего спектра различных технологий автоматизации с помощью компьютера, в том числе средств САПР, используется термин CAx (англ. *computer-aided technologies*).

Таким образом, **классификация по отраслевому назначению** следующая:

- MCAD (англ. *mechanical computer-aided design*) – автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроении, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления, включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования (SolidWorks, Autodesk Inventor, КОМПАС, CATIA);
- EDA (англ. *electronic design automation*) или ECAD (англ. *electronic computer-aided design*) – САПР электронных устройств, радиоэлектронных средств, интегральных схем, печатных плат и т. п., (Altium Designer, OrCAD);
- AEC CAD (англ. *architecture, engineering and construction computer-aided design*) или CAAD (англ. *computer-aided architectural design*) – САПР в области архитектуры и строительства. Используются для проектирования зданий, промышленных объектов, дорог, мостов и проч. (Autodesk Architectural Desktop, Piranesi, ArchiCAD).

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования:

- CAD (англ. *computer-aided design/drafting*) – средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации и создания цифровой модели изделия и т.д. (см. ниже). САПР конструктора.
 - CADD (англ. *computer-aided design and drafting*) – проектирование и создание чертежей.
 - CAGD (англ. *computer-aided geometric design*) – геометрическое моделирование.
- CAE (англ. *computer-aided engineering*) – средства автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. Осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий; решают задачи прочностного анализа, теплофизических и гидродинамических расчетов, анализа пластической деформации и механического анализа (моделирование и прогнозирование поведения и движения механических систем) и др.
 - САА (англ. *computer-aided analysis*) – подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа.
- CAM (англ. *computer-aided manufacturing*) – средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудованием с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем). САПР технолога. Русским аналогом термина является АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства.
- CAPP (англ. *computer-aided process planning*) – средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

CAD можно условно разделить на три уровня по сложности и многообразию решаемых задач, требующих соответствующей квалификации пользователя: к нижнему уровню относятся программы, реализующие 2D модели в виде чертежей и эскизов (CADD); на среднем – располагаются программные комплексы, которые позволяют создать трехмерную геометрическую модель сравнительно несложного изделия, в основном, методом твердотельного моделирования

(CAGD); к верхнему уровню принадлежат интегрированные многофункциональные системы – Siemens PLM Software, Pro/Engineer (PTC), Catia (Dassault), выполняющие объемное и поверхностное конструирование, создание цифровой модели, расчетное обоснование конструкции, оптимизацию технологий изготовления, оформление конструкторской и технологической документации, подготовку производства, конструирование технологической и формообразующей оснастки, механообработку на станках с ЧПУ. Интегрированные функции таких систем постоянно развиваются и совершенствуются на базе исходного параметрического моделирования.

Средства CAE выполняют самую разнообразную работу по расчету напряжений, деформаций, процессов теплообмена, распределения магнитного поля, параметров потока жидкостей и других сплошных сред, оптимизации конструкции и многие другие задачи линейной и нелинейной статики и динамики.

Большинство систем инженерного анализа (CAE) используют метод конечных элементов. Для проведения какого-либо вида анализа, обычно, в CAD системе, на основе точной геометрической модели создается расчетная (упрощенная) модель путем удаления тех конструктивных элементов, которые не оказывают существенного влияния на результаты анализа. Расчетная модель передается в пакет анализа при помощи стандартных интерфейсов. Отдельные пакеты анализа имеют внутренние средства построения геометрической модели, с помощью которых может быть решена задача моделирования простых форм.

Ведущими CAE-системам в настоящее время являются ABAQUS, ANSYS, COSMOS/M, LS-DYNA, MSC.ADAMS, MSC.NASTRAN.

Подготовка производства с трудом поддается автоматизации, поэтому полностью автоматических САМ в настоящий момент не существует. Однако существует множество хороших программных пакетов, генерирующих код для станков с числовым программным управлением (PowerShape, PowerMill). Станки такого класса позволяют получить деталь нужной формы по данным, хранящимся в компьютере. ЧПУ заключается в использовании запрограммированных команд для управления станком, который может шлифовать, резать, фрезеровать, штамповать, изгибать и иными способами превращать заготовки в готовые детали. К системам автоматизированного производства относят также программные пакеты, управляющие движением роботов при сборке компонентов и перемещении их между операциями, а также пакеты, позволяющие программировать координатно-измерительную машину, используемую для проверки изделий.

Многие системы автоматизированного проектирования совмещают в себе решение задач относящихся к различным аспектам проектирования CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Такие системы называют комплексными или интегрированными.

Технология CALS. PLM/PDM

Не следует забывать также и о PLM/PDM системах. Данный класс систем является непременным спутником САПР в контексте **CALS-технологий** (*Continuous Acquisition and Life cycle Support* – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла) – современного подхода к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия, обеспечивающая единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла. Технология реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

Такая связь САПР и PLM вызвана тем, что основные разработчики САПР считают целесообразным предлагать комплексные системы PLM, в состав которых входят как модули CAD/CAM/CAE, так и PDM.

Реализация CALS технологий в практическом плане предполагает организацию единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные как для эффективного решения задач инженерной деятельности, так и для планирования и управления производством и ресурсами предприятия.

Интегрированная информационная среда представляет собой совокупность распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками жизненного цикла изделия. При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

Целостность данных поддерживается в процессе управления конфигурацией проекта, а также тем, что нельзя одновременно изменять один и тот же объект разным разработчикам, каждый из них должен работать со своей рабочей версией. Другими словами, необходимо обеспечение синхронизации изменения данных, разделяемых многими пользователями.

Для этого выполняется авторизация пользователей и разрабатываются средства ведения многих версий проекта. Во-первых, пользователи подразделяются на классы (администрация системы, руководство проектом и частями проекта, группы исполнителей-проектировщиков) и для каждого класса вводят определенные ограничения, связанные с доступом к разделяемым данным; во-вторых, доступ регламентируется по типам разделяемых данных. Данным могут присваиваться различные значения статуса, например, "правильно", "необходимо перевычисление", "утверждено в качестве окончательного решения" и т.п.

Управление данными в едином информационном пространстве на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий и возлагается на систему PLM. Поэтому PLM можно считать практическим синонимом CALS.

Product Lifecycle Management (PLM – управление жизненным циклом изделия) это концепция единого информационного пространства на основе функциональных возможностей PDM и ERP, осуществляющая реальную информационную поддержку о продукции на всем протяжении ее жизненного цикла. Ключевым фактором в обеспечении эффективности технологий PLM является использование компьютерных программ и единой базы данных, а также средств визуализации и интеграции приложений. Информация об объекте, содержащаяся в базе данных PLM-системы является цифровым макетом этого объекта.

Отметим, что понятие PLM-система трактуется двояко: либо как интегрированная совокупность автоматизированных систем CAE/CAD/CAM/PDM и ERP/CRM/SCM, либо как совокупность только средств информационной поддержки изделия и интегрирования автоматизированных систем предприятия, что практически совпадает с определением понятия CALS.

Характерная особенность PLM – возможность поддержки взаимодействия различных автоматизированных систем многих предприятий, т.е. технологии PLM являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие автоматизированные системы многих предприятий.

PLM структурно включают в себя **PDM-системы** (*Product Data Management* – система управления данными об изделии) – организационно-технические системы, обеспечивающие управление информацией об изделии. Данные системы являются основой для производственного планирования и управления; обеспечивают функционирование единой информационной среды на базе электронного архива, организует обмен информацией между подразделениями по проектированию и планированию, с одной стороны, и производственными подразделениями – с другой стороны. PDM облегчает проектирование и подготовку производства, осуществляет тесные связи функций управления с CAD/CAE/CAM. Ядром PDM является нормативно-справочная база, отражающая структуру и специфику работы конкретного предприятия.

Базовые функциональные возможности PDM-систем охватывают следующие основные направления:

- управление хранением данных и документами;
- управление потоками работ и процессами;
- управление структурой продукта;
- автоматизация генерации выборок и отчетов;
- механизм авторизации.

С помощью PDM-систем осуществляется отслеживание больших массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования, производства или

строительства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий. Именно данные, относящиеся к одному изделию и организованные PDM-системой, и называются цифровым макетом.

PDM-системы интегрируют информацию любых форматов и типов, предоставляя ее пользователям уже в структурированном виде (при этом структуризация привязана к особенностям современного промышленного производства). PDM-системы работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями и данными, необходимыми для функционирования автоматических линий, станков с ЧПУ и другим, причем доступ к таким данным осуществляется непосредственно из PDM-системы.

С помощью PDM-систем можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых систем, маршрутах прохождения изделий, частях или деталях, а также составлять списки материалов. Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственной или конструкторской системы из одной и той же БД. Одной из целей PDM-систем и является обеспечение возможности групповой работы над проектом, то есть, просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия.

В настоящее время наиболее известными PDM-системами являются ENOVIA и SmarTeam (Dessault Systemes), Teamcenter (Unigraphics Solutions), Windchill (PTC), mySAP PLM (SAP), BaanPDM (BAAN) и российские системы Лоцман: PLM (Аскон), PDM StepSuite (НПО «Прикладная логистика»), Party Plus (Люция Софт).

Состав и структура САПР

Составными структурными частями САПР, жестко связанными с организационной структурой проектной организации, являются **подсистемы САПР**, в которых при помощи специализированных комплексов средств решается функционально законченная последовательность задач САПР с получением соответствующих проектных решений и проектных документов. Подсистемы обладают всеми свойствами систем и создаются как самостоятельные системы.

Под специализированными комплексами подразумеваются **Программно-методический и Программно-технический комплексы**.

Программно-методический комплекс – взаимосвязанная совокупность некоторых частей программного, математического, лингвистического, методического и информационного обеспечения (см. далее), необходимая для получения законченного проектного решения по объекту проектирования или для выполнения определенных унифицированных процедур. Примеры ПМК: оформления документации, синтеза проектных решений, моделирования и т. п.

Программно-технический комплекс – взаимосвязанная совокупность программно-методических комплексов, объединенных по некоторому признаку, и средств технического обеспечения САПР. Понятие ПМК относится к программным средствам, а понятие ПТК – к вычислительным системам, объединяющим аппаратные и программные средства и предназначенным для применения в САПР. Примерами ПТК могут служить автоматизированные рабочие места, включающие в себя ЭВМ, комплект периферийных устройств и ряд ПМК для выполнения проектных маршрутов и процедур.

На рисунке 3 показана структура САПР в соответствии с ГОСТ 23501.101-87.

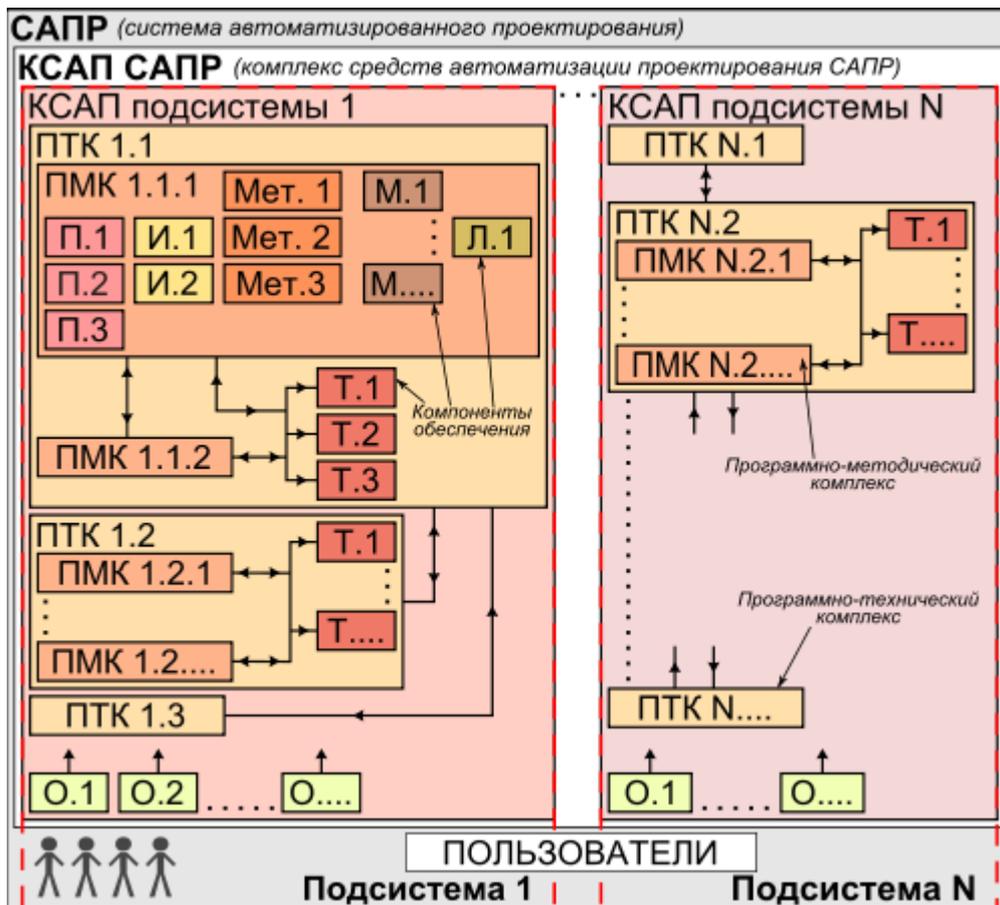


Рисунок 3. Структура САПР

В соответствии с ГОСТ, в структуре САПР выделяют следующие элементы:

- КСАП САПР – комплекс средств автоматизации проектирования САПР
 - подсистемы САПР, как элемент структуры САПР, возникают при эксплуатации пользователями КСАП подсистем САПР.
 - КСАП подсистемы САПР – совокупность ПМК, ПТК и отдельных компонентов обеспечения САПР, не вошедших в программные комплексы, объединенная общей для подсистемы функцией.
 - ПТК – программно-технические комплексы
 - компоненты обеспечения ПТК САПР
 - ПМК – программно-методические комплексы
 - компоненты обеспечения ПМК САПР
 - компоненты обеспечения САПР, не вошедшие в ПМК и ПТК.

Совокупность КСАП различных подсистем формируют КСАП всей САПР в целом.

По назначению подсистемы подразделяют на **проектирующие (функциональные)** и **обслуживающие**.

Проектирующие подсистемы выполняют проектные процедуры и операции, используя при этом, в общем случае, все средства обслуживающих подсистем.

Набор подсистем, в общем случае, для каждой САПР различен и зависит от задач на решение которых ориентирована данная САПР, однако проектирующие подсистемы любой САПР можно разделить на четыре основных вида и представить в виде типового набора функциональных подсистем (т.е. набора подсистем которые содержатся в любой САПР объекта):

- ФП1 – поиск аналогов (проводится поиск в БД конструкторской документации известных проектных решений, аналогов изделия (проекта));
- ФП2 – инженерный синтез (при необходимости проводится создание новой конструкции изделия);
- ФП3 – инженерный анализ (проводится анализ разработки на соответствие заданным требованиям);
- ФП4 – формирование и ведение проектной документации.

Проектирующие подсистемы реализуют определенный этап (стадию) проектирования или группу непосредственно связанных проектных задач. Примеры проектирующих подсистем:

- подсистема эскизного проектирования;
- подсистема проектирования корпусных деталей;
- подсистема проектирования технологических процессов механической обработки;
- подсистема компоновки машины;
- подсистема проектирования сборочных единиц;
- подсистема проектирования деталей;
- подсистема проектирования схемы управления;
- геометрического трехмерного моделирования механических объектов;
- подсистема технологического проектирования.

Проектирующие подсистемы в зависимости от отношения к объекту проектирования делятся на:

- **объектные** (объектно-ориентированные) – выполняющие проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования;
- **инвариантные** (объектно-независимые) – выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.

К **объектным подсистемам** относят подсистемы, выполняющие одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования, например:

- подсистема проектирования технологических систем;
- подсистема моделирования динамики проектируемой конструкции.

К **инвариантным подсистемам** относят подсистемы, выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, например:

- подсистема расчетов деталей машин;
- подсистема расчетов режимов резания;
- подсистема расчета технико-экономических показателей и др.

Обслуживающие подсистемы имеют общесистемное применение и обеспечивают поддержку функционирования проектирующих подсистем, а также оформление, передачу и выдачу полученных в них результатов. Это объектно-независимые подсистемы, реализующие функции, общие для подсистем или САПР в целом. Их совокупность называют системной средой (или оболочкой) САПР. Примеры обслуживающих подсистем:

- автоматизированный банк данных;
- подсистема документирования;
- подсистема графического ввода/вывода;
- подсистемы управления проектными данными;
- обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Каждая подсистема в свою очередь состоит из **компонентов**, обеспечивающих функционирование подсистемы. **Компонент** выполняет определенную функцию в подсистеме и представляет собой наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый или покупной элемент САПР (программа, файл модели транзистора, графический дисплей, инструкция и т. п.). Совокупность однотипных компонентов образует **средство обеспечения САПР**. **Выделяют следующие виды обеспечения САПР:**

- программное обеспечение;
- информационное обеспечение;
- методическое обеспечение;
- математическое обеспечение;
- лингвистическое обеспечение;
- техническое обеспечение;
- организационное обеспечение.

Программное обеспечение САПР

Программное обеспечение (ПО) САПР представляет собой совокупность всех программ и эксплуатационной документации к ним, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Программное обеспечение делится на **общесистемное** и **специальное (прикладное) ПО**. **Общесистемное ПО** предназначено для организации функционирования технических средств, т. е. для планирования и управления вычислительным процессом, распределения имеющихся ресурсов, что представлено различными операционными системами. В **специальном ПО** реализуется математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур. Специальное ПО включает пакеты прикладных программ, предназначенные для обслуживания определенных этапов проектирования или решения групп однотипных задач внутри различных этапов (модуль проектирования трубопроводов, пакет схмотехнического моделирования, геометрический решатель САПР).

Требования к компонентам программного обеспечения

Компоненты программного обеспечения, объединенные в программно-методический комплекс (ПМК) и программно-технических комплексов (ПТК), должны иметь иерархическую организацию, в которой на верхнем уровне размещается монитор управления компонентами нижних уровней программных модулей.

Программный модуль должен регламентировать функционально законченное преобразование информации; быть написанным на одном из стандартных языков программирования; удовлетворять соглашениям о представлении данных, принятым в данной области; быть оформленным в соответствии с требованиями ЕСДП (единой системы допусков и посадок).

Монитор предназначен для управления функционированием набора программных модулей ПМК, включая контроль последовательности и правильности исполнения; реализации общения пользователя с ПМК и программных модулей с соответствующими базами данных (БД); сбора статистической информации.

Информационное обеспечение САПР

Основу составляют данные, которыми пользуются проектировщики в процессе проектирования непосредственно для выработки проектных решений. Эти данные могут быть представлены в виде тех или иных документов на различных носителях, содержащих сведения справочного характера о материалах, параметрах элементов, сведения о состоянии текущих разработок в виде промежуточных и окончательных проектных решений.

Требования к компонентам информационного обеспечения

Основной формой реализации, компонентов информационного обеспечения являются БД в распределенной или централизованной форме, организация данных в которых обеспечивает их оптимальное использование в конкретных применениях.

Совокупность БД САПР должна удовлетворять принципу информационного единства, т. е. использовать термины, символы, классификаторы, условные обозначения, способы представления данных, принятые в САПР объектов конкретных видов.

Независимо от логической организации данных БД должны обеспечивать:

- информационную совместимость проектирующих и обслуживающих подсистем САПР;
- независимость данных на логическом и физическом уровнях, в том числе инвариантность к программному обеспечению;
- возможность одновременного использования данных из различных БД и различными пользователями;
- возможность интеграции неоднородных БД для совместного их использования различными подсистемами САПР;
- возможность наращивания БД;
- контролируемую избыточность данных.

Создание, поддержка и использование БД, а также взаимосвязь между информацией в БД и обрабатывающими ее программными модулями осуществляется системой управления базами данных (СУБД), являющейся, как общесистемный ПМК, частью одной из обслуживающих подсистем.

Методическое обеспечение САПР

Под методическим обеспечением САПР понимают входящие в ее состав документы, регламентирующие порядок ее эксплуатации, описание технологии функционирования САПР, методов выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов. Причем документы, относящиеся к процессу создания САПР, не входят в состав методического обеспечения. Так в основном документы методического обеспечения носят инструктивный характер, и их разработка является процессом творческим.

Включает в себя теорию процессов, происходящих в проектируемых объектах, методы анализа, синтеза систем и их составных частей, различные методики проектирования.

Требования к компонентам методического обеспечения

К компонентам методического обеспечения относят утвержденную документацию инструктивно-методического характера, устанавливающую технологию автоматизированного проектирования; правила эксплуатации комплекса средств автоматизированного проектирования, ПМК; нормативы, стандарты и другие руководящие документы, регламентирующие процесс и объект проектирования.

Компоненты методического обеспечения должны размещаться на машинных носителях информации, позволяющих осуществлять как долговременное хранение документов, так и их оперативный вывод в форматах, установленных соответствующими стандартами.

Математическое обеспечение САПР

Математическое обеспечение – это математические методы, модели, используемые для решения задач автоматизированного проектирования. Среди разнообразных элементов математического обеспечения имеются инвариантные элементы – принципы построения функциональных моделей, методы численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, постановки экстремальных задач, поиски экстремума. Разработка математического обеспечения является самым сложным этапом создания САПР, от которого в наибольшей степени зависят производительность и эффективность функционирования САПР в целом.

По назначению и способам реализации математическое обеспечение делят на две части:

- математические методы и построенные на них математические модели;
- формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

Требования к компонентам математического обеспечения

К компонентам математического обеспечения относят методы математического моделирования объектов и процессов проектирования, математические модели объектов и процессов проектирования, алгоритмы решения задач в процессе проектирования.

Взаимосвязи между компонентами математического обеспечения должны обеспечивать формализацию процесса проектирования и его целостность.

Лингвистическое обеспечение САПР

Основу составляют специальные языковые средства (языки проектирования), используемые для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, а также для осуществления диалога проектировщик-компьютер и обмена данными между техническими средствами САПР. Основная часть лингвистического обеспечения – языки общения человека с ЭВМ.

Требования к компонентам лингвистического обеспечения

К компонентам лингвистического обеспечения относят языки проектирования, информационно-поисковые языки, и вспомогательные языки, используемые в обслуживающих подсистемах, и для связи с ними проектирующих подсистем.

Компоненты лингвистического обеспечения должны быть согласованными с компонентами обеспечения других видов, быть относительно инвариантными к конкретному содержанию баз данных, предоставлять в компактной форме средства для описания всех объектов и процессов заданного для систем класса с необходимой степенью детализации и без существенных ограничений на объект описания, быть рассчитанными, в основном, на диалоговый режим их использования.

Языки проектирования должны базироваться на терминах, принятых в конкретной системе, обеспечивать описание, управление и контроль процесса проектирования, быть ориентиро-

ванными на пользователей с различным уровнем профессиональной подготовки (в том числе не имеющих специальной подготовки в области программирования), обеспечивать однозначное представление информации, стандартное описание однотипных элементов и высокую надежность идентификации описания.

Языки проектирования должны представлять собой набор директив, используя которые пользователь осуществляет процесс формирования модели объекта проектирования и ее анализ, обеспечивать возможность эффективного контроля заданий пользователя, иметь средства выдачи пользователю справок, инструкций и сообщений об ошибках, предусматривать возможность использования механизма выбора альтернативных директив из определенного набора (функциональная клавиатура и др.).

Информационно-поисковые языки должны включать словари, правила индексирования входной информации и правила формирования поисковых предписаний.

Словари информационно-поисковых языков должны содержать термины (в том числе стандартизованные) соответствующей области техники и другие лексические, единицы, необходимые для индексирования и поиска проектной информации с высокой точностью и полнотой.

Техническое обеспечение САПР

Подразумевает использование компьютеров, графопостроителей, оргтехники и всевозможных технических устройств, т.е. техническое обеспечение – это совокупность связанных и взаимодействующих технических средств, облегчающих процесс автоматизированного проектирования.

Требования к компонентам технического обеспечения

К компонентам технического обеспечения относят устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства и их сочетания, обеспечивающие функционирование ПТК и КСАП, в том числе диалоговый, многопользовательский и многозадачный режим работы, а также построение иерархических и сетевых структур технического обеспечения.

В качестве предпочтительной для САПР следует использовать двухуровневую структуру технического обеспечения, включающую центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места (терминальные станции).

Компоненты технического обеспечения должны предоставлять возможность: кодирования и ввода информации с ее визуальным контролем и редактированием; передачи информации по различным каналам связи; хранения, контроля и восстановления информации; загрузки, хранения и исполнения программного обеспечения; оперативного предоставления запрашиваемой информации на устройства вывода.

Организационное обеспечение САПР

Этот пункт предписывает комплектование подразделений САПР профессионально грамотными специалистами, имеющими навыки и знания для работы с перечисленными выше компонентами САПР. От их работы будет зависеть эффективность и качество работы всего комплекса САПР (может даже всего производства). Кроме того, в составе организационного обеспечения выделяют совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, организационную структуру объекта и системы автоматизации, деятельность в условиях функционирования системы, форму представления результатов проектирования. В организационное обеспечение входят штатные расписания, должностные инструкции, правила эксплуатации, приказы, положения и т. п.

Требования к компонентам организационного обеспечения

Компоненты организационного обеспечения должны устанавливать организационную структуру системы и подсистем, включая взаимосвязи ее элементов; задачи и функции службы САПР и связанных с нею подразделений проектной организации; права и ответственность должностных лиц по обеспечению создания и функционирования САПР; порядок подготовки и переподготовки пользователей САПР.