

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОТРАСЛИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



Уфа 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОТРАСЛИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

*Допущено Редакционно-издательским советом УГАТУ
в качестве учебного пособия для слушателей дополнительной программы
повышения квалификации по УГНП/ФГОС: 12.03.01, 12.04.01, 12.03.04, 12.04.04*

Учебное электронное издание сетевого доступа

Уфа 2021

© УГАТУ
ISBN 978-5-4221-1543-3

Авторы: Ю. О. Уразбахтина, Е. С. Морозова, А. И. Мезенцева, Э. Ю. Абдуллина

УДК 681.2:004(07)

ББК 34.9:16я7

Рецензенты:

*доцент кафедры инфокоммуникационных технологий
и наноэлектроники БашГУ*

канд. техн. наук К. В. Важдаев;

и.о. зав. кафедрой «Цифровые технологии и моделирование» УГНТУ

канд. техн. наук Д. В. Попов

Цифровые технологии в отрасли приборостроения : учебно-методическое пособие [Ю. О. Уразбахтина и др.] : [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2021. – URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-191.pdf

Рассмотрено современное состояние отрасли приборостроения и электроники, а также перспективы развития цифровизации. Приведены описания систем, технологий и систем управления цифровым производством. Рассмотрены системы связи интеллектуальных датчиков и приборов в единую сеть, беспроводная передача данных. Приведены основные сведения о программном обеспечении в приборостроении и электронике. Представлены результаты сравнительного анализа САПР Altium Designer, Proteus PCB Design, DipTrace и т.п. Рассмотрены состояние и перспективы развития, обзор возможностей отечественного программного обеспечения для автоматизации электронного проектирования. Приведен обзор аддитивных технологий и 3D-моделирования.

Предназначено для слушателей дополнительной программы повышения квалификации по УГНП/ФГОС: 12.03.01, 12.04.01, 12.03.04, 12.04.04.

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы: *Уразбахтина Юлия Олеговна, Морозова Елена Сергеевна, Мезенцева Анастасия Ильфатовна, Абдуллина Эльза Юнировна*

Компьютерная верстка: *А. А. Шарипова*

Программирование и компьютерный дизайн: *О. М. Толкачёва*

Подписано к использованию: 30.12.2021

Объем: 5,21 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.

Тел.: +7-908-35-05-007

e-mail: rik@ugatu.su

Все права на размножение, распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование, использование данного продукта запрещено.

1. ПЕРСПЕКТИВЫ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

1.1. Современное состояние отрасли приборостроения и электроники

Электронная промышленность и приборостроение – наиболее наукоемкая и технологически сложная отрасль современного машиностроения, выпускающая электронные компоненты [1]. Главными гражданскими потребителями последних являются производители аппаратуры цифрового теле- и радиовещания, медицинской, научной и бытовой аппаратуры, средств обучения, автомобильной и промышленной электроники, энергетического оборудования и др. Развитие электронной промышленности на основе использования отечественных электронных компонентов обеспечивает независимость в важнейших областях информатизации, телекоммуникации и связи. Только собственные проектирование и производство в данном сегменте позволяют разрабатывать и создавать современную технику, а также экспортировать ее.

Российский рынок приборостроения и электроники был и остается импортозависимым. Тем не менее, наметилась определенная тенденция сокращения доли импорта на рынке. Так, если в 2019 г. на долю импортных поставок приходилось 73%, то уже в 2020 г. эта цифра снизилась до 69%.

Низкая доля отечественной промышленной электроники обусловлена рядом причин [2]:

- излишне велик объем номенклатуры выпускаемой продукции;
- очень длителен производственный цикл;
- очень низок технический уровень производства. В России при производстве приборов все еще используются устаревшие технологии, а степень износа основных фондов достигает 75%;
- имеется противоречие между уровнем сложности выпускаемой продукции, обусловленной потребностями рынка, и отсутствием должным образом подготовленных конструкторов и просто грамотных специалистов-исполнителей (сборщиков, монтажников и т.д.);

- недостаточен уровень стимулирования творческой и изобретательской активности и правовой защиты изобретений;
- низка рентабельность (редко выше 15%) выпускаемых изделий.

Причиной этого является высокая материалоемкость и энергоемкость продукции; сократился жизненный цикл приборов и возникает перманентная необходимость их совершенствования в соответствии с требованиями рынка.

В настоящее время приоритетной и стратегически важной является ориентация приборостроения на производство сложной продукции, а в идеале – продукции конечного потребления: сложных приборных комплексов, согласованных между собой во времени и в пространстве, выполняющих множество локальных функций измерения, контроля и автоматического управления технологическими процессами и производствами в целом. Необходимо и наделение продукции дополнительными функциональными возможностями. Этого возможно достичь путем цифровой трансформации отрасли приборостроения и электроники [1].

1.2. Перспективы развития цифровизации в приборостроении и электронике

В чем заключается цифровая трансформация? На какие технологические решения опирается?

При цифровой трансформации используются следующие основные технологические решения:

- внедрение новых технологий;
- наукоемкие технологии;
- промышленное производство.

Все мы пользуемся электронными устройствами и прекрасно понимаем радость от выхода новой модели смартфона, видеоигры или носимого устройства, тем или иным способом улучшающего нашу жизнь. Следует учитывать, что прорывные инновации в электронике появляются быстро. С точки зрения потребителя ситуация выглядит замечательно. А вот для производителей не все так однозначно [3]. На рынке можно добиться колоссального успеха, но и конкуренция на нем крайне высока. Потребители не просто

хотят получать новые модели устройств все быстрее – им требуются уникальные исполнения с десятками различных вариантов комплектации. Рано или поздно они захотят (если уже не захотели) приобретать не массовые, а уникальные изделия. К тому же растет спрос на устройства, подключенные к Интернету [1].

Наконец, требуется высочайшее качество. В эпоху, когда каждый негативный отзыв о продукции очень быстро распространяется по социальным сетям, даже незначительный просчет в конструкции или небольшое опоздание с выходом на рынок могут решить судьбу нового товара. Изготовителям электроники приходится прилагать все усилия, чтобы соответствовать сегодняшним требованиям рынка (быстрая разработка новых изделий, высокое качество, выпуск уникальной персонализированной продукции, возможность подключения к интернету и пр.) [1]. При этом они сталкиваются со следующими трудностями.

Современные технологии – например, 3D-печать, автоматизация на основе знаний и цифровые помощники, анализ больших данных и робототехнические системы – способствуют появлению инноваций и ускоряют процессы производства [2]. Новые технологии повышают сложность изделий и процессов их изготовления, способствуют повышению конкурентоспособности предприятия, но в то же время производственные предприятия при внедрении передовых цифровых технологий сталкиваются со следующими трудностями.

1. Необходимость сокращения сроков.

Минимальные сроки выхода новых изделий на рынок затрудняют предварительную проверку работоспособности технологических процессов, а рост объемов выпуска не оставляет места для ошибок.

2. Сложности перехода от серийного производства к массовой кастомизации.

Негибкость существующих производственных систем не позволяет перейти к полномасштабному индивидуальному производству

3. Жесткие требования к данным и документации.

В таких отраслях, как автомобилестроение или производство медицинской техники, а также при поставках, комплектующих заказчикам, требующим самого высокого уровня качества и стандартизации, необходимо документально подтверждать соответствие продукции нормативам [2].

4. Влияние глобализации на трудовые и материальные ресурсы.

Принятие решений о месте производства усложнилось: ряд регионов с низкими затратами оказался неспособным удовлетворить растущий спрос и (или) избежать повышения себестоимости. Из-за этого падает норма прибыли, затраты на транспортировку способны превысить экономию от низкой стоимости рабочей силы. Глобальный аутсорсинг может сократить затраты, но оптимизация снабжения материалами заметно усложняется [2].

Производители электроники уже провели цифровизацию различных этапов процесса подготовки производства. При этом в различных сочетаниях используются следующие подходы:

- интегрированная разработка процессов сборки и испытаний печатных плат;
- управление запуском производства, виртуальные испытания с целью контроля конструкторско-технологических проектных решений;
- оптимизация производства с применением интегрированных средств разработки компоновок оборудования и численного моделирования;
- управляемые моделями процессы изготовления деталей и пресс-форм;
- сотрудничество с поставщиками при передаче производства печатных плат сторонним изготовителям;
- внедрение систем управления производством (MES) при изготовлении печатных плат.

Все эти подходы можно объединить в общее понятие «цифровое предприятие». Это интегрированная платформа, объединяющая процессы проектирования, изготовления и поставок современных умных изделий. В основе цифрового предприятия лежат две концепции: цифровая нить и цифровой двойник [3].

5. Цифровая нить.

Цифровая нить включает процесс передачи информации, объединяющий всех участников процессов проектирования, изготовления и технической поддержки продукции. Платформа для поддержки совместной работы позволяет реализовать процесс передачи данных в цифровом виде через все инженерные дисциплины, сферы применения, инструменты и системы.

6. Цифровой двойник.

Цифровой двойник представляет собой очень точную виртуальную модель либо изделия, либо технологического процесса. Эти модели применяются для численного моделирования реальных явлений еще до начала изготовления изделия или проектирования технологических операций (рисунок 1.1). Цель – максимальная оптимизация при помощи компьютерных систем, когда с минимальными затратами рассматривается множество сценариев вида «что будет, если...». Поступающая из цифровой среды информация постоянно обновляет цифровые двойники, гарантируя их максимальную точность. Например, поступающие от заказчика сведения об эксплуатации передаются на этап конструирования и испытаний будущих изделий [2]. Аналогично, сбор информации о выполнении реальных технологических процессов повышает качество численного моделирования технологических операций. А это, в свою очередь, помогает создавать более эффективные технологические процессы. Цифровые двойники – отличный способ фиксации и распространения оптимальных подходов к производству.



Рисунок 1.1 – Цифровой двойник

Умное производство в электронной промышленности и приборостроении – это новая модель производства, которая дает возможность еще больше повысить эффективность, объединяя виртуальный и реальный миры [3].

В плане функциональности средства умного производства электроники предлагают следующее.

1. Контроль технологичности печатных плат и механических узлов.

Анализ технологичности конструкций печатных плат предусматривает 950 проверок возможности изготовления, сборки, проведения испытаний и обеспечения надежности. Цифровой двойник изделия помогает выявлять возможные проблемы. Анализ размерных отклонений рассчитывает и прогнозирует качество на этапе сборки на основе геометрических и размерных допусков деталей и узлов. При этом определяется важнейшая конструкторско-технологическая информация.

2. Виртуальная разработка, моделирование и оптимизация технологических процессов.

При проектировании процессов изготовления печатных плат создается цифровой двойник технологического процесса на основе подхода «проектируем где угодно, изготавливаем везде» [2]. При этом разрабатывается технология выпуска нового изделия, выявляются последствия конструкторских изменений для производственных линий и подготавливается актуализированная технологическая документация.

Контроль технологических процессов предусматривает визуализацию и анализ всех операций сборки (ручных, автоматических или совместных) с целью выявления возможных отклонений и внедрения передовых технологий. Численное моделирование производительности и загрузки оборудования упрощает планирование капиталовложений и прогнозирование текущих расходов. Оптимизация производства приводит к повышению загрузки оборудования и снижению себестоимости изделий [3].

3. Управление материалами и технологическими операциями.

Средства управления материалами обеспечивают поставки по системе «точно в срок» (JIT), что устраняет избыточные запасы незавершенной продукции и повышает оборачиваемость запасов.

Специальные программные решения управляют данными, поступающими от всех ресурсов (инструменты, операторы, станки), что обеспечивает полную прослеживаемость. Они также превосходно интегрируются с системами управления ресурсами предприятия (ERP) и системами управления жизненным циклом изделия (PLM).

4. Сбор технологической информации приносит реальную пользу.

Решения для Интернета вещей собирают все данные, создаваемые в ходе технологического процесса (в том числе расход материала, показатели качества и сведения о ходе выполнения). Затем создается цифровой двойник производства, а обработанная технологическая информация в реальном времени предоставляется всем службам предприятия [3]. Инструменты бизнес-аналитики поддерживают интеллектуальное принятие решений на основе проводимого в реальном времени анализа информации, анализа основных причин отказов, а также прогнозирования будущих показателей качества и себестоимости.

Умное производство электроники позволяет отказаться от опытных образцов, устранить хранилища информации (рисунок 1.2). В результате создается непрерывный интегрированный процесс «конструирование – технологическая подготовка – изготовление изделий».



Рисунок 1.2 – Умное производство

На каждом этапе подготовки производства легко заметить разницу между подобным подходом, когда точные и проверенные модели изделий и процессов создаются и распространяются по всему предприятию, и текущей лоскутной цифровизацией [2]. Среди основных отличий:

- конструкции становятся более надежными и технологичными;
- улучшается совместная работа конструкторских, технологических и производственных подразделений;
- сокращается избыточность данных;

- уменьшается количество ошибок в технологических процессах;
- снижаются объемы ручного ввода данных, чреватого внесением ошибок;
- оптимизируются запасы, а материалы расходуются по системе «точно вовремя»;
- внедряются передовые технологические процессы;
- обеспечивается точность и актуальность технологической документации;
- проводится сбор данных и контроль ключевых показателей;
- быстро выявляются коренные причины возникновения проблем;
- осуществляется переход к более разнообразной программе выпуска без снижения эффективности производства.

Благодаря цифровизации всего процесса разработки изделия – от конструирования до производства – и созданию цифровой нити, объединяющей все его этапы, стратегия умного производства электроники позволяет заранее проверить возможность изготовления изделия, а также гарантирует актуальность и синхронизацию технологической документации, оптимизацию производства и изготовление продукции в точном соответствии с замыслом [4].

По сравнению с частичной цифровизацией новый подход дает массу конкурентных преимуществ, среди которых: сокращение сроков выхода на рынок, более частые запуски новых изделий, задачи подготовки производства, на решение которых ранее уходили недели, при создании цифровой нити выполняются за считанные часы [5]. Численное моделирование и расчеты при помощи цифровых двойников гарантируют успешный выпуск изделий с первого раза. В целом стратегия умного производства способна наполовину сократить сроки выхода изделий на рынок [3]. Это путь к успеху в условиях, когда существует спрос на постоянные инновации.

5. Повышение качества благодаря переносу ряда задач на более ранние этапы.

Так называемый «сдвиг влево» – это перенос ряда задач на более ранние этапы проектирования. Пример при разработке электроники – анализ технологичности печатных плат, выполняемый регулярно на ранних этапах, а не после завершения конструирования. Каждый раз

при проведении анализа происходит общее улучшение конструкции. Чем сильнее «сдвиг влево», тем большую пользу он приносит.

6. Повышение гибкости производства.

При наличии цифровой нити, объединяющей этапы конструкторского и технологического проектирования, разработку технологических процессов удастся проводить гораздо раньше, и к моменту окончания конструкторской разработки незамедлительно начинать производство. А это прокладывает путь к массовому выпуску уникальных, персонализированных изделий.

7. Умное принятие решений.

Наличие полной информации о ходе производства и применение средств анализа этой информации делает возможным информированное принятие решений.

8. Управление себестоимостью.

Стратегия умного производства в электронной промышленности приводит к повышению эффективности технологических процессов и использования материалов (как на отдельных заводах, так и во всей компании в целом). Кроме того, такая стратегия снижает технологическую себестоимость, что в конечном итоге делает выпускаемую продукцию доступной по цене [5].

А каковы перспективы на будущее? В кратко- и среднесрочной перспективе особую важность приобретут три технологии.

1. Искусственный интеллект.

Существуют сотни вариантов потенциального применения искусственного интеллекта (ИИ) в промышленности [1]. Это технология стала одной из самых популярных у мирового венчурного капитала. ИИ привел к появлению так называемых когнитивных технологий [6]. Среди них – компьютерное зрение, обработка естественных языков, распознавание речи, робототехника, оптимизация, экспертные системы на основе продукционных правил, инструменты объемно-календарного планирования и машинное обучение (способность машин улучшать характеристики работы на основе анализа данных).

2. 3D-печать в промышленных масштабах.

По оценкам, к 2020 г. 75% мировой промышленности будет использовать изготовленные методами 3D-печати инструменты и оснастку. Ряд аналитиков полагает, что данные технологии получат наибольшее распространение в автомобильной, авиационно-

космической и оборонной отраслях, а в определенной степени – и в электронной промышленности.

3. Современные робототехнические системы

Сегодня роботы легко выполняют такие операции сборки электронных изделий, которые еще недавно считались невозможными [1]. Гибкость робототехнических комплексов выводится на новый уровень, разрабатываются промышленные роботы-манипуляторы, пригодные для выпуска малых партий изделий и функционирования в рамках постоянно изменяющихся технологических процессов.

В результате появится умное производство электроники – полнофункциональная линейка решений, включающая средства контроля технологичности проектов, виртуального проектирования, моделирования и оптимизации технологических процессов, генерации и контроля управляющих программ и технологической документации, оптимизации план-графиков и распределения ресурсов [6].

Чтобы любая компания достигла успеха на диверсифицирующемся рынке, требующем быстрого создания инноваций и персонализации выпускаемой продукции, крайне важно создать гибкую, экономичную и быстро реагирующую на изменения среду разработки изделий – умное производство электроники.

Контрольные вопросы

1. Кем являются главные гражданские потребители электронных компонентов?
2. Перечислите ряд причин, обуславливающих низкую долю отечественной промышленной электроники.
3. Какова цель цифрового двойника?
4. Перечислите различия между цифровизацией всего процесса разработки изделия и частичной цифровизацией.
5. Каковы кратко- и среднесрочные перспективы на будущее?

Тестовые задания

1. Продолжите фразу: «Цифровой двойник представляет собой очень точную виртуальную модель...»

- a) либо изделия, либо технологического процесса;
- b) изделия;
- c) технологического процесса;
- d) всего предприятия.

2. Какое количество проверок возможности изготовления, сборки, проведения испытаний и обеспечения надежности предусматривает анализ технологичности конструкций печатных плат?

- a) 800;
- b) 950;
- c) более 950;
- d) менее 950.

3. Что такое ERP и PLM?

a) система управления ресурсами предприятия (ERP) и система управления жизненным циклом изделия (PLM);

b) система управления жизненным циклом изделия (ERP) и система управления ресурсами предприятия (PLM);

c) система контроля ресурсов предприятия (ERP) и система управления жизненным циклом изделия (PLM);

d) система управления жизненным циклом изделия (ERP) и система контроля ресурсов предприятия (PLM).

4. Среди основных отличий умного производства от текущей лоскутной цифровизации выделяют:

a) конструкции становятся менее надежными и технологичными;

b) улучшается совместная работа производственных подразделений;

c) сокращается избыточность данных;

d) незначительно уменьшается количество ошибок в технологических процессах.

5. Верно ли суждение: «Благодаря цифровизации всего процесса разработки изделия – от конструирования до производства – и созданию цифровой нити, объединяющей все его этапы, стратегия умного производства электроники

позволяет заранее проверить возможность изготовления изделия, а также гарантирует актуальность и синхронизацию технологической документации, оптимизацию производства и изготовление продукции в точном соответствии с замыслом»

- a) верно;
- b) частично верно;
- c) частично неверно;
- d) неверно.

2. НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

2.1. Системы и технологии цифрового производства

Термину «цифровое производство» уже более 10 лет [1]. Ранее под термином «цифровое производство» понимали набор прикладных систем, которые, в основном, использовались на этапе технологической подготовки производства. В последние годы, в связи с появлением новых технологий (рисунок 2.1), этот термин получил более широкую трактовку [1]. И сегодня под «цифровым производством» понимается, прежде всего, использование технологий цифрового моделирования и проектирования как самих продуктов и изделий, так и производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла (рисунок 2.2). По сути, речь идет о создании цифровых двойников продукта и процессов его производства.

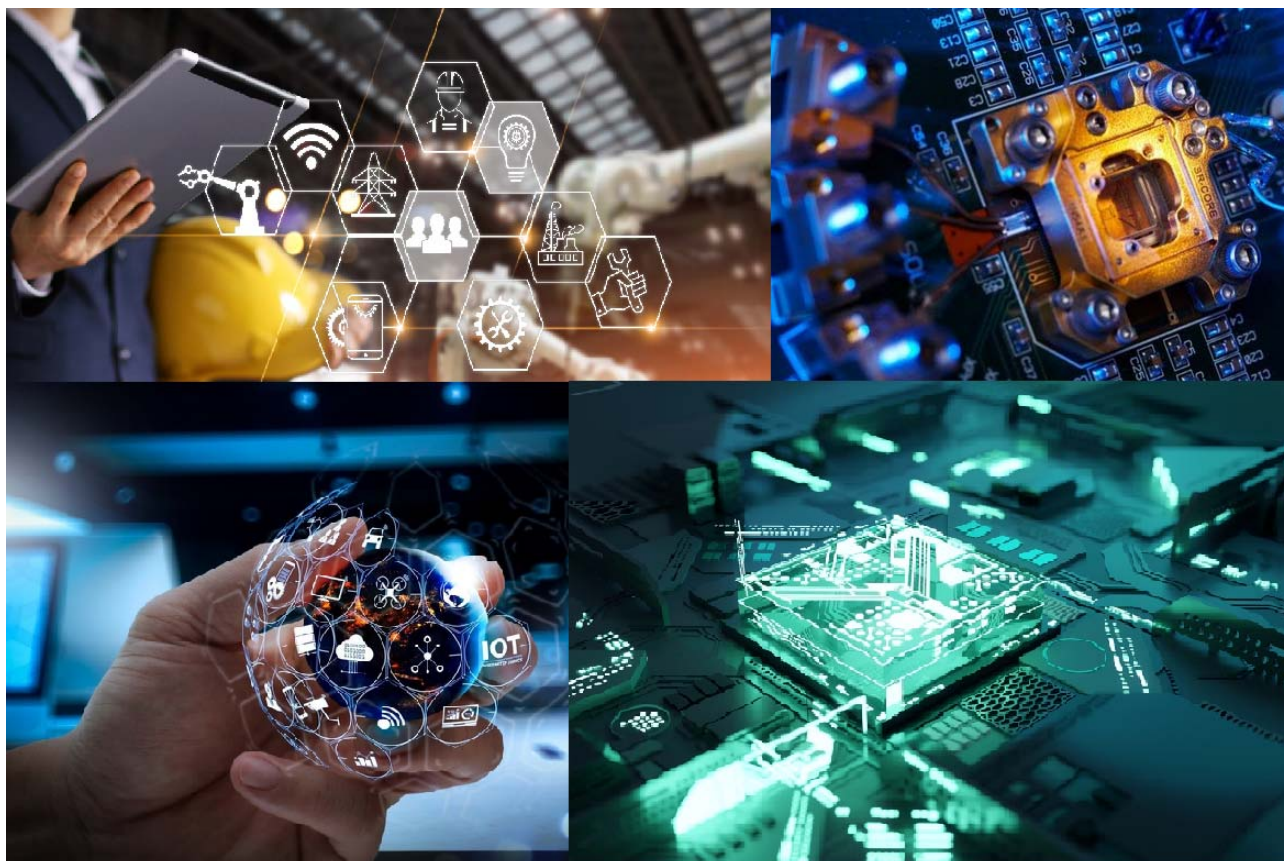


Рисунок 2.1 – Новые производственные технологии



Рисунок 2.2 – Ключевые направления изменений в современной области приборостроения, которые подразумевает «цифровое производство»

Изменения в современной области приборостроения, которые подразумевает «цифровое производство», происходят и будут происходить по следующим ключевым направлениям [1]:

1. Цифровое моделирование – развитие получает концепция цифрового двойника, то есть изготовление изделия в виртуальной модели, включающей в себя оборудование, производственный процесс и персонал предприятия.

2. «Большие данные» (big data) и бизнес-аналитика, которые возникают в процессе производства.

3. Автономные роботы, которые получают большую промышленную функциональность, независимость, гибкость и исполнительность по сравнению с предыдущим поколением.

4. Горизонтальная и вертикальная интеграция систем – большая часть из огромного количества используемых

в настоящее время информационных систем интегрировано, но необходимо наладить более тесное взаимодействие на различных уровнях внутри предприятия, а также между различными предприятиями.

5. Промышленный интернет вещей, когда поступающая с производства информация с большого количества датчиков и оборудования объединяется в единую сеть.

6. Облачные технологии, аддитивное производство и дополнительная реальность будут также влиять на развитие цифрового производства. Основные изменения будут происходить именно благодаря этим перечисленным технологиям.

Рассмотрим некоторые направления изменений в современной области приборостроения [2].

2.1.1. Интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT)

Об интернете вещей нередко говорят, как об одном из основополагающих элементов, которые используются в промышленности, его полное название индустриальный интернет вещей или Industrial Internet of Things (IIoT) [2]. Индустриальный интернет вещей предполагает оснащение производственных объектов встроенными датчиками, которые служат для передачи больших массивов данных между оборудованием, системами контроля и т.д. (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Интернет вещей

Важную роль в системах интернета вещей (IIoT-системах) играют аналитические платформы, которые позволяют в режиме

реального времени обрабатывать получаемую информацию и использовать ее для принятия оперативных, обоснованных решений [1].

Среди основных эффектов от использования интернета вещей (IIoT) можно выделить возможность проведения мониторинга, который позволяет прогнозировать возникновение сбоев. Система не только сообщает пользователю о вероятных неполадках, но и помогает определить их причины. Таким образом удается сокращать количество и время незапланированных простоев, а также предотвращать катастрофический отказ оборудования, что, в свою очередь, приводит к сокращению затрат на техническое обслуживание.

Одним из способов применения интернета вещей (IIoT) для прогнозирования неисправностей является создание цифрового двойника предприятия [2]. Анализируя поведение модели, сотрудники могут спрогнозировать поведение реального объекта и предотвратить возникновение проблем.

2.1.2. Облачные решения (cloud computing)

Системы интернета вещей (IIoT-системы) нередко работают в связке с облачными решениями (рисунок 2.4). Это объясняется тем, что датчики и контроллеры, устанавливаемые на предприятиях, генерируют огромный массив данных, для хранения которого требуется либо сложная и дорогая ИТ-инфраструктура, либо облачная платформа [1].

При этом второй вариант гораздо более гибкий и экономный в плане обслуживания. Пользователь платит только за объем памяти, который необходим ему в данный момент, и может в любой момент уменьшить или увеличить объем хранилища [2]. Еще один плюс – отсутствие необходимости тратить время и деньги на поддержку инфраструктуры, а также содержать специалиста, который бы за ней следил.

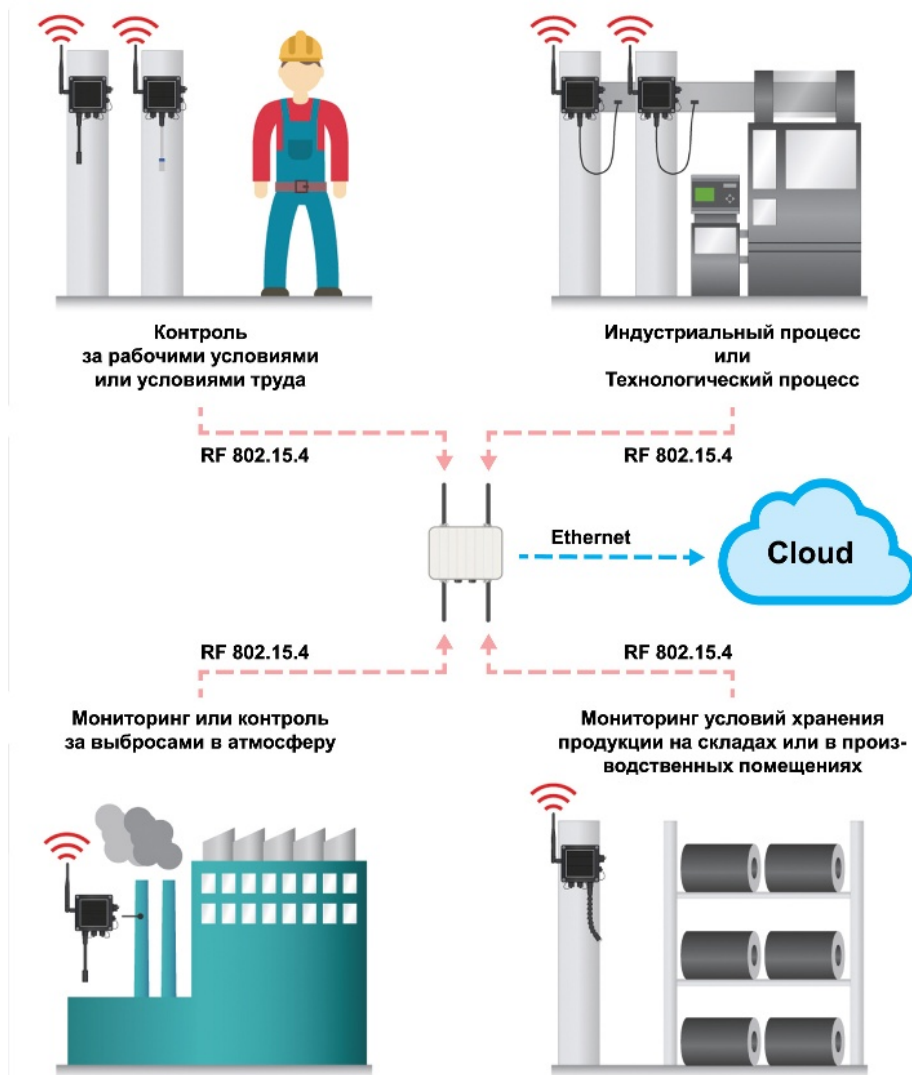


Рисунок 2.4 – Облачные решения и интернет вещей

Извлекать пользу из облачных решений могут не только предприятия, использующие интернет вещей [1]. При использовании облачных хранилищ у специалистов, занятых аналитикой, появляется возможность изучить все доступные данные и принять более взвешенное решение.

2.1.3. Искусственный интеллект

Решения, созданные на основе искусственного интеллекта (artificial intelligence, AI), позволяют проводить более глубокий и эффективный анализ данных, генерируемых предприятием (рисунок 2.5).

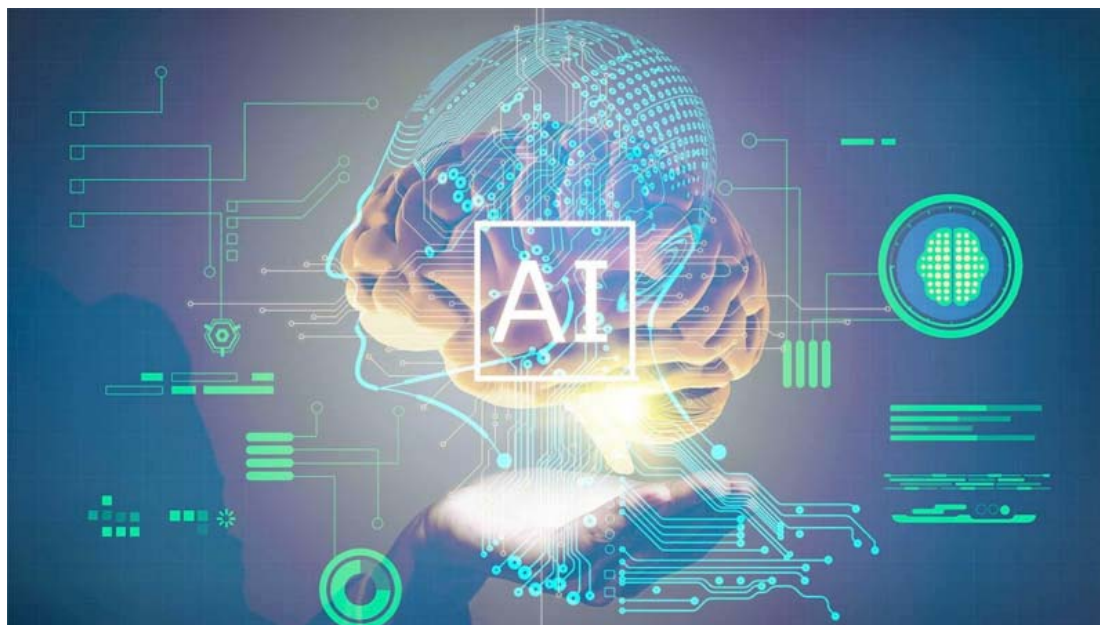


Рисунок 2.5 – Искусственный интеллект

Кроме того, для принятия некоторых решений – в том числе касающихся превентивного обслуживания необходимо строить модели, дополненные результатами виртуальных экспериментов [1]. Технологии машинного обучения позволяют системе использовать совокупность данных для выявления определенных тенденций в работе оборудования и предсказания появления новых аспектов, которые могут сказаться на работе [3].

Искусственный интеллект также позволяет сократить вероятность совершения человеческих ошибок и освободить сотрудников от выполнения многих рутинных задач [2]. Система способна проводить анализ, оперативно обнаруживать отклонения в работе программ и оборудования. Также, решения на основе искусственного интеллекта помогают пользователю подобрать оптимальный режим эксплуатации оборудования, тем самым продлить его срок службы и сократить количество внеплановых простоев. В результате предприятию удастся повысить качество продукции и снизить издержки.

2.1.4. Цифровое рабочее место

Необходимость работы с огромным массивом данных на предприятиях нередко приводит к тому, что сотрудникам приходится работать с настолько большим количеством информации, что они не могут сосредоточиться на критически важных или даже просто наиболее релевантных данных для принятия оптимального решения. Выходом из данной ситуации может стать цифровое рабочее место, оснащенное функциями визуализации данных и контроля оборудования, а также аналитическими инструментами (рисунок 2.6). Система избавляет пользователя от необходимости интерпретировать необработанные данные и дает возможность быстро получить доступ к необходимой информации [2].



Рисунок 2.6 – Цифровое рабочее место

Другим плюсом внедрения цифрового рабочего места является повышение качества взаимодействия между различными подразделениями предприятия.

Цифровое рабочее место упрощает взаимодействие между сотрудниками, находящимися в разных городах и странах, что особенно актуально для предприятий, работающих на международном уровне [3].

2.1.5. Роботизация производства

Если говорить о качественном преобразовании самого процесса производства, значительную роль может сыграть внедрение роботов (рисунок 2.7). Многие операции, осуществляемые на производстве приборостроительной отрасли, отличаются примитивностью, высокой повторяемостью действий и не требуют вмешательства человека, а использование рабочей силы в таких случаях может только тормозить развитие [4]. Тем не менее российская промышленность на данный момент отличается сравнительно низким уровнем роботизации производства.



Рисунок 2.7 – Роботизация производства

Внедрение роботов в производство помогает ускорить производственный процесс, минимизировать негативное влияние человеческого фактора, освободить специалистов от выполнения примитивной рутинной работы и доверить им более сложные операции, которые способны повысить эффективность предприятия. При этом роботы могут использоваться для решения самых разных задач [3].

2.1.6. Технология цифровых двойников

В простейшем случае цифровой двойник (Digital twin) – это виртуальная копия физического продукта, процесса или системы (рисунок 2.8). Он действует как мост между физическим

и виртуальным мирами, используя датчики для сбора данных в реальном времени о физическом объекте [4]. На основании этих данных выполняется создание цифровых двойников, что позволяет выполнять с ним различные операции: понимать, анализировать, манипулировать или оптимизировать.



Рисунок 2.8 – Цифровой двойник

2.1.7. Классификация цифровых двойников

Несмотря на то, что технология цифровых двойников существует уже несколько десятилетий, только после быстрого роста интернета вещей они стали рассматриваться как инструмент будущего [3]. Они привлекают внимание, потому что объединяют такие вещи, как искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML). Это позволяет тестировать новые идеи, выявлять проблемы, прежде чем они произойдут, получать новые ответы на новые вопросы, а также контролировать объекты удаленно.

Виртуальные модели традиционно применялись для улучшения характеристик отдельных изделий. Однако в последние годы они стали более сложными. Теперь они исследуют не один объект, а скорее системы или даже целые организации. По мере того, как они объединяют все больше вещей, их способность помогать решать сложные задачи также возрастает [4].

2.1.8. Прототипы (Digital Twin Prototype, DTP)

Цифровой двойник прототип (DTP) – это прототип физического объекта. Он содержит данные, необходимые для описания и создания изделия. Прототипы, в зависимости от ситуации, могут содержать информацию, касающуюся физических атрибутов, свойств, рабочих параметров, ведомости материалов, номеров деталей, а также многого другого [5].

Виртуальный прототип не относится к конкретному экземпляру объекта. Это скорее рецепт для создания объекта.

2.1.9. Экземпляры (Digital Twin Instance, DTI)

Цифровой экземпляр (DTI) – это двойник физического объекта. Цифровой экземпляр (DTI) остается связанным с объектом в течение его жизненного цикла. Виртуальный экземпляр, как правило, содержит данные, относящиеся к условиям эксплуатации, истории, прогнозируемому состоянию объекта и другие. Он может содержать список номеров деталей, которые были использованы для производства данного конкретного изделия, а также все этапы, которые были выполнены при производстве данного актива.

Виртуальный экземпляр начинается с базовой информации, заложенной в его прототипе, в течение жизненного цикла он обогащается эксплуатационными данными.

2.1.10. Агрегированные двойники

Агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA) – это совокупность многих виртуальных экземпляров. Они могут располагаться на одном объекте (например, 100 деталей на одном предприятии) или распределяться между объектами (например, 100 деталей на 20 предприятиях) [5].

Агрегированные двойники создаются, чтобы исследовать групповое поведение объектов, поскольку групповое поведение не является суммой индивидуального поведения каждого изделия.

2.1.11. Сферы применения цифровых двойников

Цифровой двойник предприятия. В электронном дубликате предприятия интегрированы процессы по вертикали во всей организации, от разработки продуктов и закупок до производства, логистики и обслуживания. Все данные о процессах, их

эффективности и управлении качеством, а также о планировании операций доступны в режиме реального времени.

Горизонтальная интеграция выходит за пределы внутренних операций от поставщиков до потребителей и всей цепочки создания стоимости. Двойник предприятия включает в себя технологии от устройств отслеживания и трассировки до планирования.

Цифровой двойник изделия – это очень сложная виртуальная модель, которая является точным аналогом (или близнецом) физической вещи. Датчики на физическом объекте собирают данные, которые могут быть сопоставлены с виртуальной моделью.

Виртуальный аналог является жизненно важным инструментом, помогающим инженерам понять не только то, как работают изделия, но и как они будут работать в будущем [4]. Анализ данных с подключенных датчиков в сочетании с другими источниками информации позволяет делать такие прогнозы.

Виртуальные модели дают производителям представление о том, как работают их продукты. Электронный дубликат нужен, чтобы выявить потенциальные неисправности, устранить неисправности издалека и, в конечном итоге, повысить степень удовлетворенности потребителей.

2.1.12. Стандартизация в сфере цифровых двойников

Приказом Росстандарта утвержден новый национальный стандарт серии «Численное моделирование» – ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».

Данный стандарт распространяется на изделия машиностроения, однако, при необходимости, на его основе в дальнейшем могут разрабатываться стандарты, устанавливающие требования к цифровым двойникам изделий различных отраслей промышленности с учетом их специфики. При этом необходимо отметить, что стандарт является полностью отечественной разработкой [6]. В частности, впервые в мировой практике устанавливается единое определение «цифрового двойника изделия» – «Цифровой двойник изделия: Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями». Также в рамках стандарта впервые стандартизованы

следующие понятия: «цифровые (виртуальные) испытания», «цифровой (виртуальный) испытательный стенд» и «цифровой (виртуальный) испытательный полигон» [6].

ГОСТ Р 57700.37–2021 является первым в серии национальных и отраслевых нормативных технических документов, которые определяют порядок разработки цифровых двойников, типовые требования к структуре и порядку их сопровождения при эксплуатации изделия, порядок учета и хранения и т.д.

Уникальная серия национальных стандартов ГОСТ Р 57700, первые стандарты которой появились в 2017 г., объединяет уже более 25 документов по стандартизации и формирует систему нормативных технических требований для применения компьютерных моделей и виртуальных испытаний в процессе создания и обеспечения эксплуатации высокотехнологичных промышленных изделий, в том числе военной техники [4].

Новый стандарт разработан рабочей группой под руководством Центра НТИ «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) и ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ») в рамках деятельности технического комитета №700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии» (ТК 700) и вводится в действие с 1 января 2022 г.

2.2. Системы управления цифровым производством

Система управление жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM) – концепция, направленная на управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах, на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации (рисунок 2.9).

Основные положения концепции [7].

Любые инженерные данные, возникающие на этапах жизненного цикла изделия, хранятся и управляются централизованно в электронном виде. Создается единая информационная база,

описывающая информацию о продукте и, связанных с ним, процессах и ресурсах [3]. Вся информация по изделию хранится в структурированном виде, либо связана друг с другом отношениями, позволяющими проследить их взаимосвязь.



Рисунок 2.9 – Система управление жизненным циклом изделия

Преимущества концепции.

Основным и главным преимуществом концепции является быстрый доступ к нужной и актуальной информации об изделии, что является основой для обеспечения качества, сокращения сроков и снижения себестоимости [3]. Можно выделить следующие ключевые преимущества использования системы управления жизненным циклом изделия (PLM):

1. Сокращение сроков проектирования и производства.
2. Сокращение количества ошибок.
3. Усиление контроля за качеством.
4. Сокращение издержек.
5. Сопровождение интеллектуальной собственности предприятия.
6. Обеспечение данными АСУП/ERP-систем.

Основными компонентами системы управления жизненным циклом изделия (PLM-системы) на предприятии являются:

PDM-система – система управления данными об изделии, является основой PLM, предназначена для хранения и управления данными [4].

CAD-система – проектирование изделий.

CAE-система – инженерные расчеты.

CAPP-система – разработка техпроцессов.

CAM-система – разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.

MRP-система – моделирование и анализ производства изделия.

На каждом этапе жизненного цикла используются различные программные продукты с помощью которых разрабатываются инженерные данные. Программные продукты как правило интегрированы с системой управления данными об изделии (PDM-системой), что позволяет сделать процесс обмена хранения и обработки данных более эффективным. Все инженерные данные хранятся централизованно и доступны участникам жизненного цикла. Централизованное хранение и управление инженерной нормативно-справочной информацией, так же является частью концепции системы управления жизненным циклом изделия (PLM). Это обеспечивает единообразие и актуальность нормативно-справочной информации. Система управление жизненным циклом изделия (PLM) позволяет создать своего рода связующее ПО (middleware), интегрирующее все информационные системы предприятия и поддерживающее коллективную работу над проектами [4].

2.3. Система управления производством (MES-система)

Система управления производством (MES-система, Manufacturing Execution System) – это программное обеспечение (ПО), специально разработанное для повышения эффективности планирования и управления производством.

Современные производственные предприятия – это сложные системы, в которых ежедневно протекают различные технологические процессы. Для обеспечения бесперебойной работы каждого участка производственного подразделения и эффективного решения задач были разработаны специальные программы,

позволяющие автоматизировать производство. ПО для автоматизации производственных процессов внедряется с 90-х гг. XX в., и сегодня это один из важнейших инструментов, используемых на предприятиях различных отраслей промышленности, в том числе в области приборостроения [5].

Т.е. система помогает синхронизировать, проводить анализ, а также оптимизировать производственный процесс. Использование этой системы позволяет существенно увеличить эффективность оборудования и избежать дополнительных инвестиций в производство.

MES-система управления производством дает ответы на целый ряд вопросов, такие как:

1. Как производить продукт?
2. Каковы доступные ресурсы для производства, и что из них можно получить?
3. Когда производить?
4. Какова производительность/эффективность производства?

2.3.1. Функции

Основными функциями системы управления производством (MES-системы) является управление процессами производства [2]. Функциональность рассматриваемых производственных систем заключается в следующем:

1. Приведение производственных мощностей в действие;
2. Сбор информации, связанной с производством;
3. Планирование;
4. Ведение контроля качества;
5. Установление связи между персоналом и оборудованием, между производством и поставщиками, между инженерным отделом и менеджментом и т.д.;
6. Отслеживание и изменение компонентов, сырья и полуфабрикатов, которые применяют в процессе производства;
7. Управление техническим обслуживанием и ремонтом.

Алгоритмы работы систем управления производством (MES-систем) находят решение, принимая во внимание все выбранные критерии и ограничения. Затем на этапе оптимизации осуществляется составление точного расписания для выполнения заказов точно в срок и обеспечения надлежащих экономических показателей [7].

2.3.2. Примеры задач, которые решают системы управления производством (MES-системы):

- отслеживание статуса ресурса;
- диспетчеризация производства;
- управление качеством;
- управление техническим обслуживанием;
- оценка уровня производительности;
- составление расписаний;
- электронный документооборот;
- управление персоналом;
- отслеживание готовой продукции.

2.3.3. Преимущества внедрения системы управления производством (MES)

Преимущества прежде всего, заключаются в их адаптивности. Решить вопрос о доработках ПО в случае необходимости гораздо проще с российскими производителями, нежели с зарубежными [7]. Изменение системы и ее адаптация под нужды конкретного предприятия – довольно непростая задача. В случае если зарубежный разработчик пойдет на это, стоимость доработок будет весьма внушительной.

2.4. Система планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP)

Система планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP) – организационная стратегия интеграции производства и операций, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, ориентированная на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, обеспечивающего общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности [1].

Характерные особенности стратегии системы планирования ресурсов предприятия (ERP-стратегии):

-использование единой транзакционной системы для подавляющего большинства операций и бизнес-

процессов предприятия. Все операции сводятся в единую базу для последующей обработки и получения в реальном масштабе времени сбалансированных планов.

- тиражируемость: обеспечение возможности применения одного и того же программного пакета для разных организаций (возможно, с разными настройками и расширениями).

- поддержка в единой системе множества языков.

- поддержка нескольких юридических лиц, нескольких предприятий, нескольких учетных политик, различных схем налогообложения в единой системе.

Программный пакет, реализующий стратегию планирования ресурсов предприятия (ERP), обычно выполняется в виде набора модулей, перечень которых может варьироваться в зависимости от размера и особенностей предприятий, на которых внедряется система (ERP-система) [3].

Эти модули можно внедрять поэтапно. Можно выбирать только те из них, которые необходимы для предприятия на данном этапе его развития. Можно даже создавать решения на основе нескольких систем планирования ресурсов предприятия (ERP-систем), выбирая из каждой модули, лучшие в своем классе.

Данные системы могут развиваться и адаптироваться к постоянно меняющимся потребностям бизнеса [3]. Функции системы планирования ресурсов предприятия (ERP-систем) позволят использовать одну встроенную программу вместо нескольких разрозненных, исключать несанкционированный доступ, а также осуществлять планирование ресурсов предприятия:

- оптимизировать операции и получить видимость ситуации в масштабах всего предприятия;

- получить доступ к информации в любое время, в любом месте, чтобы улучшить процесс принятия решений и увеличить скорость реакции;

- легко адаптироваться к новым методам производства, изменяющимся требованиям потребителей и развивающимся бизнес-стратегиям;

- получать новые продукты на рынок быстрее и с большей прибылью;

- оптимизировать запасы и производственные ресурсы с целью повышения эффективности;

- улучшить качество и удовлетворенность потребителей.

Рассмотрены системы и технологии цифрового производства, такие как интернет вещей, цифровые двойники, облачные решение, искусственный интеллект. А также рассмотрели системы управления цифровым производством, а именно систему управления жизненным циклом изделия PLM, систему управления производственными процессами MES, систему планирования ресурсов предприятия ERP.

Контрольные вопросы

1. Какое оснащение производственных объектов предполагает индустриальный интернет вещей (IIoT)?
2. С чем очень часто работают системы интернета вещей (IIoT-системы) совместно?
3. Чем оснащено цифровое рабочее место?
4. Что помогает достичь внедрение роботов в производство?
5. Что такое Digital twin?

Тестовые задания

1. В простейшем случае что такое цифровой двойник?
 - a) это виртуальная копия физического продукта, процесса или системы;
 - b) мост между физическим и виртуальным мирами, использующий сенсоры для сбора данных в реальном времени о физическом объекте;
 - c) набор данных об объекте, который позволяет выполнять с ним различные операции: понимать или оптимизировать;
 - d) набор данных об объекте, который позволяет выполнять с ним различные операции: понимать, манипулировать или оптимизировать.
2. Дайте название определению: «двойник физического объекта»:
 - a) цифровой двойник прототип;
 - b) цифровой экземпляр;
 - c) digital Twins Instance, DTI;
 - d) digital Twins Prototype, DTP.

3. Верно ли утверждение: «Агрегированные двойники создаются, чтобы исследовать групповое поведение объектов, поскольку групповое поведение не является суммой индивидуального поведения каждого изделия»?

- a) верно;
- b) частично верно;
- c) частично неверно;
- d) неверно.

4. Приказом Росстандарта утвержден новый национальный стандарт серии «Численное моделирование»:

a) ГОСТ Р 57700.39–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники. Общие положения производства»;

b) ГОСТ Р 57700.39–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Общие положения»;

c) ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»;

d) ГОСТ Р 68800.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения производства».

5. Какое ключевое преимущество использования системы управления жизненным циклом изделия (PLM) верно:

- a) сокращение сроков проектирования;
- b) сокращение количества ошибок;
- c) уменьшение контроля за качеством мелких партий;
- d) сокращение издержек по времени.

3. СИСТЕМЫ СВЯЗИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ И ПРИБОРОВ В ЕДИНУЮ СЕТЬ, БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ

Развитие современных АСУ ТП основано на применении интеллектуальных датчиков, которые способны адаптироваться к условиям окружающей технологической среды с помощью самонастройки и корректировки рабочих параметров [1].

Интеллектуальные датчики обладают расширенными функциональными возможностями и улучшенными метрологическими характеристиками, а также совместимы с любыми современными средствами цифровой обработки сигналов, так как обладают интерфейсами использования стандартными цифровыми полевыми сетями.

3.1. Сети датчиков: особенности, топология сетей, среды передачи информации в сетях

3.1.1. История развития сетей

Область автоматизации технологических процессов активно развивается на протяжении последних десятилетий. Первыми появились локальные аналоговые системы управления, получающие данные с датчиков в виде аналоговых значений, преобразованных в электромагнитную форму (ток, напряжение), и работающие независимо друг от друга [1]. Задача передачи данных в этом случае была тривиальной и не требовала специфических решений. По мере усложнения систем автоматики возникло сразу несколько потребностей:

- сбор информации с большого количества разнесенных в пространстве датчиков. Классический подход требовал бы прокладки линии от каждого из датчиков к управляющему устройству, что увеличивало протяженность кабельных трасс и усложняло их монтаж;

- взаимодействие нескольких управляющих устройств между собой путем обмена информацией;

- построение иерархических АСУ ТП, включающих как уровень управляющих устройств, так и верхний уровень управления с участием человека.

Эти потребности привели к возникновению сетей обмена данными, ориентированных на использование в промышленной автоматике (Fieldbus). Развитие таких сетей идет параллельно с развитием локальных сетей общего назначения, и зачастую заимствует из них некоторые наиболее успешные технологии [2].

Одним из ранних стандартов для обмена данными является принятый Международной электротехнической комиссией в 1960 г. стандарт RS-232 для соединения типа «точка - точка» двух устройств по последовательному асинхронному каналу данных. Несмотря на долгий срок жизни, данный стандарт до сих пор используется в простых случаях для соединения устройств промышленной автоматики.

Первые централизованные попытки стандартизации промышленных сетей были предприняты в 1984 г. в виде проекта стандарта IEC 61158, в котором определялись требования для открытой промышленной сети, устройств удаленного ввода/вывода, контроллеров, согласующих устройств. Однако принятие этого стандарта состоялось только в 2003 г. [1].

В 1989 г. организацией VMBF (Германское федеральное министерство по исследованиям и технологии) была разработана спецификация открытой промышленной сети, получившей название PROFIBUS (PROcess Field BUS), в основу которой легла модель ISO/OSI, принятая ранее. Позднее эту спецификацию использовал в производстве своего оборудования немецкий концерн Siemens, что позволило ей выйти на мировой рынок. В 1991 г. спецификация PROFIBUS получила статус немецкого национального стандарта DIN 19245, а позднее вошла как часть в IEC 61158.

В 1996 г. стандарт PROFIBUS был оформлен в виде европейского стандарта промышленной сети (European Fieldbus Standard) EN 50170. В связи с распространением Ethernet-технологий был создан консорциум фирм, поставивший цель разработать аналог протокола PROFIBUS для Ethernet-сетей [2].

Такой протокол получил название PROFINET и вошел в одну из редакций стандарта IEC 61158. Стандарт определяет работу протоколов на физическом, канальном и прикладном уровнях модели OSI.

Параллельно стандарту PROFIBUS шло развитие других протоколов для промышленной автоматизации. В 1979 г. фирмой

Modicon (впоследствии Schneider Electric) был представлен стандарт MODBUS для обмена в режиме “ведущий - ведомый” между производимыми ею ПЛК [1]. Впоследствии фирма открыла спецификацию протокола для всех желающих, что способствовало повышению популярности его использования вплоть до настоящего времени. Наряду с MODBUS широко используются другие стандарты (CANBUS, BitBUS, ASI).

Для взаимодействия компьютеров под управлением Windows с промышленными устройствами (обычно ПЛК) в 1996 г. был разработан стандарт OPC (OLE for Process Control). Для поддержки стандарта была создана организация OPC Foundation, включающая в себя производителей промышленного автоматизирующего оборудования.

Основное преимущество OPC состоит в том, что за счет открытости стандарта компьютер под управлением ОС Windows может получать данные с контроллеров различных производителей, поддерживающих этот стандарт. Преимущественно используется для построения систем верхнего уровня автоматизации (SCADA-систем). Первые версии стандарта были основаны на разработанных Microsoft технологиях OLE (Object Linking and Embedding), COM, DCOM. Однако с целью устранения зависимости стандарта от продуктов компании Microsoft с 2010 г. развивается спецификация OPC UA (Unified Architecture), закрепленная в стандарте IEC 62541 [3].

В целом необходимо отметить, что, в отличие от сетей общего назначения, стандартизация сетей промышленной автоматики еще не закончила свое формирование и развивается под давлением отдельных групп компаний-производителей, отстаивающих свои интересы при разработке международных стандартов [2].

3.1.2. Специфика применения сетей для промышленной автоматизации

Любую современную автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) в упрощенном виде можно представить трех уровневой: технологический, производственный и управленческий уровни (рисунок 3.1).

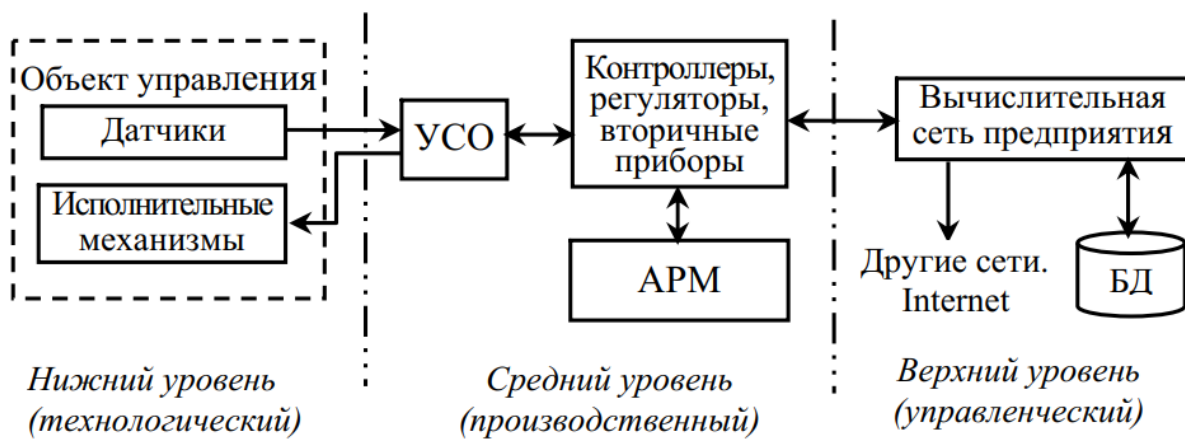


Рисунок 3.1 – Иерархия АСУ ТП

Датчики и исполнительные механизмы находятся на нижнем уровне и устанавливаются непосредственно на технологических объектах, при этом датчики получают информацию о параметрах технологических процессах, преобразовывают ее в соответствующий вид для дальнейшей передачи на более высокую ступень, а исполнительные механизмы принимают управляющие сигналы и выполняют соответствующие действия [1].

На среднем уровне находятся локальные средства автоматизации, которые вместе с техническими средствами нижнего уровня образуют локальную подсистему управления. Информационный обмен среднего уровня с нижним осуществляется через устройства связи с объектом, представляющие собой специальные усилители, преобразователи (АЦП, ЦАП, БДВ, БДВв) и т. д.

Выработку управляющих сигналов на уровне производственного участка осуществляют регуляторы и управляющие контроллеры, которые связаны непосредственно с верхним уровнем управления.

Таким образом, полевое оборудование связано с модулями устройств связи с объектом. Те, в свою очередь, связаны с контроллером, который обеспечивает сбор, первичную обработку данных, реализацию логики управления и выработку управляющих сигналов [3].

Контроллер представляет собой средний уровень АСУ ТП и связан с вычислительной сетью предприятия, в которой производится окончательная обработка данных и обеспечивается взаимодействие

системы управления, что представляет собой верхний уровень АСУ ТП.

Современные технологии позволили совершить прорыв и стереть жесткую линию разграничения между верхним и нижним уровнем. Кроссплатформенность всех составляющих компонентов системы позволяет “отвязать” программную реализацию различных ее частей от уровня в целом и от конкретных устройств в частности. Другими словами, программная часть становится переносимой не только по горизонтали (между устройствами одного уровня, работающими на различных платформах), но и по вертикали – между уровнями.

Тем не менее для функционирования системы все уровни должны иметь каналы связи как между уровнями, так и между объектами одного уровня [3].

Таким образом, задача обмена информацией между агентами автоматизации является ключевой для успешного проектирования и внедрения систем АСУ ТП. Сети обмена данными в этом случае часто называются сетями промышленной автоматизации (СПА) или промышленными сетями. Можно выделить несколько функций СПА:

- передача информации от датчиков и исполнительных механизмов к управляющему контроллеру;
- обмен информацией между контроллерами, отвечающими за различные части технологического процесса;
- передача данных от контроллера на уровень человеко-машинного интерфейса (Human – Machine Interface – HMI).

Для каждой из вышеприведенных функций разработана своя группа сетевых решений, отличающаяся требованиями к обмену данными.

Критериями обмена данными являются:

- скорость обмена;
- максимальная протяженность сети;
- время получения информации (время цикла обмена);
- максимальное количество устройств, которое может быть подключено к сети.

Скорость обмена. В СПА, соединяющих ПЛК с нижним уровнем автоматизации, основное содержание передаваемой информации представляет собой показания датчиков и команды исполнительным механизмам [2]. Этот объем информации невелик

для средних систем автоматизации (содержащих до нескольких сотен датчиков), однако следует принимать во внимание требуемое время обновления показаний: быстроуправляемые системы (например, подвижные высокоскоростные объекты) могут требовать увеличения скорости обмена между контроллером и датчиками, что потребует увеличения скорости обмена по сети. Например, типичными скоростями при обмене по специализированным сетям в АСУ ТП в области теплотехники и металлургии являются скорости 1–10 Мбит/с.

СПА для пересылки данных на АРМ оператора (НМІ-системы) более требовательна к скорости, т.к. объем информации, предоставляемый контроллером для системы верхнего уровня (SCADA-системы), как правило, включает в себя не только показания датчиков, но и информацию о состоянии технологического процесса (режимы работы, отсчитанные временные интервалы для прошедших или предстоящих событий, обработанные статистические данные и т.п) [2]. В связи с этим требования к скорости таких СПА приближаются к характеристикам современных локальных сетей: до 100 Мбит/с.

Максимальная протяженность сети. Так как промышленные сети, как правило, прокладываются в больших производственных помещениях (заводских цехах), они предъявляют повышенные требования к максимальным допустимым расстояниям между узлами [3]. Установка контроллера зачастую невозможна в непосредственной близости от объекта управления, на котором локализовано подавляющее большинство датчиков и исполнительных механизмов. Следовательно, СПА должна поддерживать работу с длинными линиями передачи данных (до нескольких километров).

Время цикла обмена. Данный параметр определяется, исходя из следующих характеристик оборудования: скорости работы датчиков и ИМ, скорости работы контроллера, требований к системе управления объектом. Очевидно, что, если датчик обеспечивает низкую скорость измерения параметра, использование более быстрого цикла его опроса нецелесообразно. В другой ситуации для быстроменяющихся характеристик объекта требуется оперативная передача данных к управляющему контроллеру, а значит и малое время цикла обмена [3]. Однако, в любом случае, быстродействие управления будет ограничено скоростью работы контроллера. Для

СПА, передающих данные на верхний уровень, время цикла обмена не так важно, как для управляющего процессом оборудования.

Максимальное количество устройств. Среди устройств, вступающих в сетевое взаимодействие, можно выделить следующие: управляющие контроллеры, агрегирующие показания датчиков, вспомогательные контроллеры (удаленная периферия), интеллектуальные измерительные и исполнительные устройства, имеющие свой выход в сеть (частотные приводы, интегрированные узлы учета и т. п.), промышленные ПК и панели оператора. Общее количество устройств для больших АСУ ТП может достигать десятков и сотен. Таким образом, требуется, чтобы архитектура СПА позволяла подключиться и бесперебойно функционировать большому количеству устройств.

3.1.3. Особенности сетей датчиков

Различные сети датчиков имеют следующие особенности:

1. Глобальные сети. Служат для передачи и приема данных на больших расстояниях, например, сотовые сети стандарта GSM для связи датчиков, находящихся на расстояниях нескольких километров и более.

2. Локальные сети. Осуществляют связь на небольшие расстояния внутри помещений или между зданиями. Для связи используются часто радиоволны и значительно реже инфракрасное излучение.

Большое значение имеет наличие препятствий между передатчиком и приемником сигнала, так как может привести к значительному ослаблению сигнала и сбою передачи данных [1].

В настоящее время для связи датчиков начинают применяться достаточно широко беспроводные системы связи, например, имеются микроконтроллеры со встроенным приемопередатчиком (продукция Atmel).

3.1.4. Топология сетей

В настоящее время наиболее широко используются следующие топологии проводных локальных сетей, различающиеся способом соединения элементов сети [3]:

1. Звезда

Это централизованная топология с центральным управляющим элементом сети, с которым соединены остальные элементы. Такая система не имеет конфликтных ситуаций, но перестает работать при выходе из строя центрального управляющего элемента.

2. Кольцо

Это последовательное соединение элементов в замкнутое кольцо, информация последовательно проходит через все элементы. Достоинством является то, что в кольце производится автоматическое усиление передаваемых сигналов.

3. Общая шина

Имеется общая шина (канал приема-передачи), с которым равноправно попеременно во времени взаимодействуют элементы сети [3]. Сложность аппаратуры адаптеров в этой сети, как правило, выше, чем в других топологиях, но надежность такой сети выше.

Для беспроводных сетей более перспективна ячеистая структура сети.

3.1.5. Среды передачи информации в проводных сетях

1. Витая пара.

Это скрученные между собой провода в диэлектрической изоляции, отличается низкой стоимостью, простотой монтажа и ремонта. Задержка сигнала обычно не превышает 8-12 нс/м.

2. Коаксиальный кабель.

Представляет собой центральный проводник в изоляции, помещенный в металлический гибкий коаксиальный экран, который значительно повышает помехозащищенность и снижает собственное излучение радиоволн в окружающее пространство. Пропускная способность достигает сотен Мбит в секунду, задержка распространения сигнала около 5 нс/м.

3. Волоконно-оптический кабель.

Используется прозрачное для света волокно, заключенное в оболочку, которая имеет меньший коэффициент преломления для достижения полного внутреннего отражения световой волны в кабеле без выхода наружу. При более высокой стоимости такой кабель обеспечивает наилучшую помехозащищенность. Скорость передачи достигает единиц Гбит в секунду, задержка распространения сигнала примерно такая же, как у коаксиального кабеля.

Для кабельных соединений необходимо обеспечивать согласование волновых сопротивлений кабеля с нагрузкой для исключения отраженных волн и передачи максимальной мощности сигнала [3].

В настоящее время беспроводные сети конкурируют с проводными так как скорость передачи данных стала сопоставимой.

3.1.6. Беспроводные соединения

1. Радиоканал.

Используются антенны для приема и передачи волн, подключенные к приемо-передатчикам. Для сетей используются фиксированные диапазоны частот с ограниченной мощностью излучения. Это вид соединения позволяет легко изменять в пространстве расположение элементов сети. Позволяет организовывать связь как на большие, так и на малые расстояния [3].

2. Инфракрасный канал.

Используются, в основном, инфракрасное излучение. Приемники и передатчики располагаются внутри помещения, отражение от стен может обеспечить устойчивую и надежную связь при отсутствии явно экранирующих излучение предметов.

3. Акустический канал.

В качестве приемников и передатчиков используются пьезоэлементы с электронными усилителями. Это предпочтительный канал связи в жидких электропроводных средах с использованием волн ультразвукового диапазона.

3.2. Новые возможности беспроводных технологий на предприятиях

Специалисты могут получать доступ к компьютерным программам и выполнять задачи, вне зависимости от того, где они находятся, включая просмотр и реагирование на предупредительные сигналы от современных цифровых электронных приборов и устройств.

Местоположение персонала и физических активов предприятия постоянно отслеживается [3].

Беспроводные интеллектуальные датчики ежедневно в режиме реального времени предоставляют вам данные о состоянии

оборудования, а не раз в месяц, квартал или один раз в межремонтный цикл работы оборудования.

Система безопасности обеспечивает предоставление доступа на предприятие только уполномоченным лицам.

Управление активами предприятия осуществляется благодаря функциям диагностики HART устройств, включая те, доступ к которым ранее был невозможен.

Решение многих из этих задач возможны сегодня без беспроводных технологий, однако затраты на прокладку проводов и технические ограничения делают их не практичными [4]. Экономичность и простота интеграции беспроводных технологий позволяет справиться с этими препятствиями, предоставляя вам более полную информацию о предприятии и, в конечном счете, делает работу персонала более продуктивной.

3.3. Проблема создания сетевых интеллектуальных датчиков

В настоящее время широко используются конкурирующие по параметрам интерфейсы RS485, HART, USB, Ethernet, 4-20 мА и промышленные сети Profibus, FieldBus, CANbus, ModBus и др. (рисунок 3.2) [4].

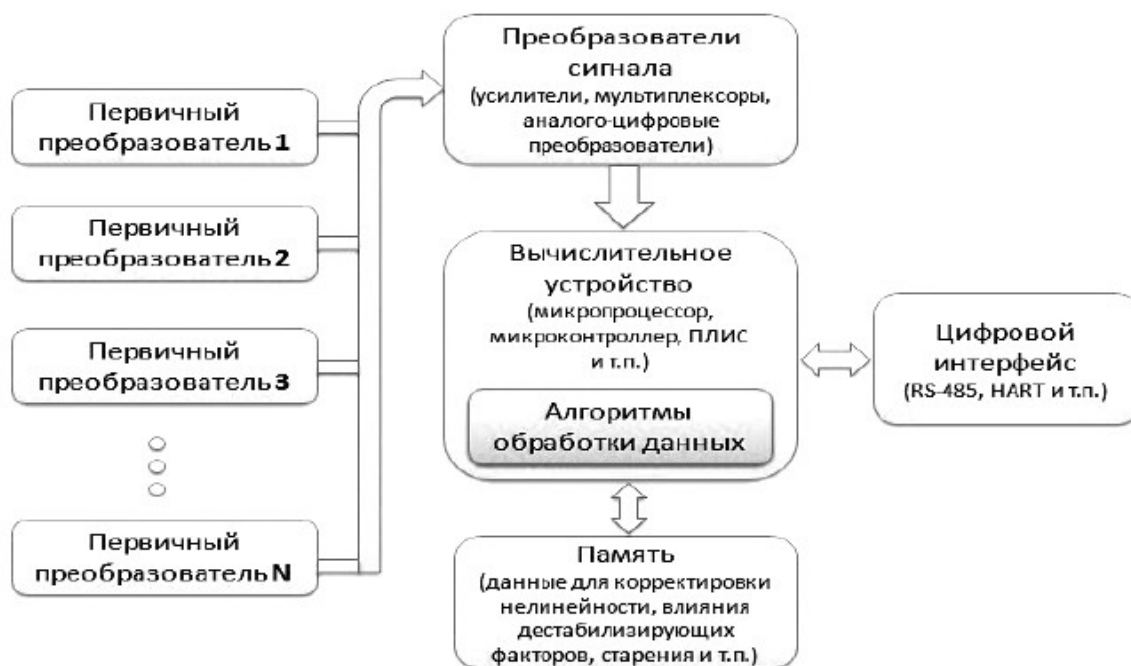


Рисунок 3.2 – Типовые функциональные блоки интеллектуальных устройств

Проблема создания сетевых интеллектуальных датчиков заключается в отсутствии отечественного единого сетевого стандарта для интеллектуальных датчиков. При производстве интеллектуальных датчиков возникают трудности с выбором интерфейса и коммуникационного протокола, т.к. производство таких датчиков только для одного типа сетей экономически невыгодно.

3.4. Уровни интеллектуальных измерительных систем

Различают следующие уровни интеллектуальных измерительных систем (рисунок 3.3).

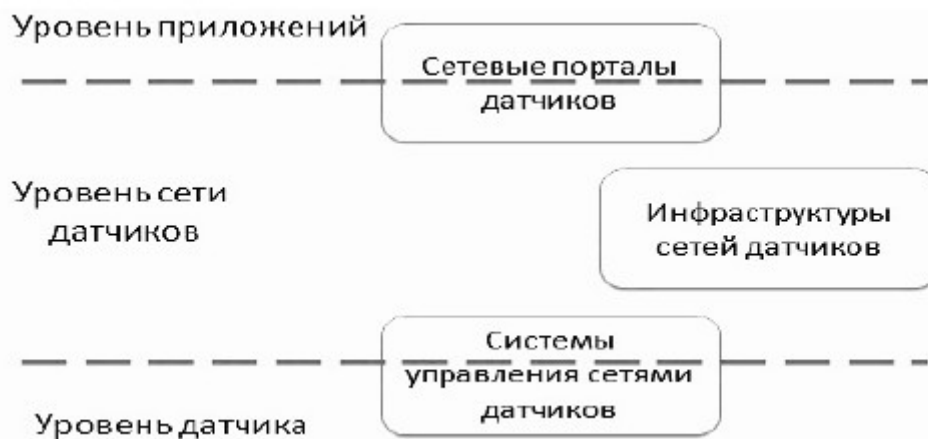


Рисунок 3.3 – Уровни интеллектуальных измерительных систем

Сеть датчиков является промежуточным уровнем между датчиками и решаемыми прикладными задачами. Уровень датчика подразумевает физическое устройство датчика и его интерфейсы.

Уровень сети датчиков подразумевает использование сетевых ресурсов датчика в связи с решаемыми прикладными задачами.

Уровень приложений предполагает прямое взаимодействие с пользователем и программным обеспечением и не зависит от аппаратной части [2].

Примерами реализации систем управления сетями датчиков являются проекты MiLAN, Mires и др.

3.5. Беспроводные технологии

Беспроводные технологии – один из наиболее динамично развивающихся сегментов рынка в России и во всем мире. Сегодня мобильность становится ключевым направлением развития всей индустрии информационных и промышленных технологий [5]. Интерес и необходимость к внедрению беспроводных технологий отмечается со стороны крупных компаний нефтегазового и энергетического комплекса при организации связи с распределенной сетью датчиков.

Беспроводные решения нашли широкое применение в обмене данными, системах охраны и безопасности, системах радионавигации, телеметрии, транспортной электронике, бытовой электронике, дистанционном управлении и контроле, системах промышленной автоматизации и многих других областях.

Выделяются **три основные показателя**, которые характеризуют различные беспроводные технологии:

- дальность;
- скорость;
- энергопотребление.

Технология GSM/GPRS

GSM - global System for mobile Communications. Глобальная система связи с подвижными объектами, являющаяся всемирным цифровым стандартом сотовой связи основана на использовании технологии TDMA (множественный доступ с временным разделением каналов) [5].

GPRS – General Packet Radio Service. Стандарт беспроводной связи, позволяющий обмениваться пакетными данными с датчиками с использованием Интернета [5].

Плюсами этих технологий является:

- высокая скорость передачи данных до 1 Мбит/с;
- передача информации на большие расстояния – более километра (в зависимости от охвата сети);
- большая площадь покрытия сетями;
- наличие серийно выпускаемых модулей, например, SIM900 для подключения датчиков.

Минусами этих технологий является:

- высокая стоимость связи;

- устройства, работающие по этим технологиям способны создавать электромагнитные помехи из-за большой мощности излучения.

Технологии WI-FI и WI-MAX

Wi-Fi (IEEE 802.11) – Wireless Fidelity – общее название оборудования, соответствующее стандарту 802.11 для беспроводных устройств, который определяет протоколы, необходимые для организации беспроводных локальных сетей [3].

Существуют три расширения этого стандарта, отличающиеся частотами и скоростью передачи:

- **IEEE 802.11a** – стандарт, описывающий устройства для диапазона 5ГГц со скоростью передачи 54Мбит/с;

- **IEEE 802.11b** – стандарт, описывающий устройства для диапазона 2.4ГГц со скоростью передачи 11Мбит/с;

- **IEEE 802.11g,n** – стандарт, описывающий устройства для диапазона 2.4ГГц со скоростью передачи 22Мбит/с и выше.

- **Wi-Max (IEEE 802.16)** – стандарт беспроводных сетей, который открывает возможности создания систем стационарного широкополосного доступа, которые станут недорогой заменой оптоволоконным кабелям при создании сетей на городских предприятиях.

Плюсами этих технологий являются:

- высокая скорость передачи больших объемов информации;
- помехозащищенность.

Минусами этих технологий является:

- ограниченная сфера применения

Технология Bluetooth

Bluetooth Wireless Technology – широко распространенный стандарт радиосвязи.

Технология Bluetooth упрощает взаимодействие сетевых устройств друг с другом, а также между сетевыми устройствами и компьютером [5].

Технология Bluetooth не предназначена для передачи больших объемов данных.

Оборудование Bluetooth работает в диапазоне 2.4 ГГц. Для передачи используется метод расширения спектра со скачкообразной перенастройкой частоты.

Суммарная пропускная способность сетей до 3 Мбит/с.

Плюсами этой технологии являются:

- Высокие скорости передачи данных на небольшие расстояния.

Минусами этой технологии является:

- может создавать помехи для сетей;
- недостаточно защищенный протокол;
- высокое энергопотребление.

Основные характеристики стандарта ZigBee

Технология **ZigBee** является наиболее перспективной технологией для построения беспроводных сетей с небольшими объемами передаваемой информации. Эту технологию описывает стандарт **IEEE 802.15.4**, ориентированный главным образом на использование в качестве средства связи между датчиками, автономными приборами и оборудованием [4].

В корпоративном секторе это могут быть складские системы, системы автоматизации производства.

Помимо низкого энергопотребления эта технология имеет возможность объединить в сеть не менее 250 устройств (для сравнения у Bluetooth их 8).

Технология ориентирована для систем сбора информации с беспроводной передачей данных [3].

Основными плюсами этой технологии являются:

- низкое энергопотребление;
- возможность создания сетей со сложной топологией, объединение не менее 250 устройств;
- совместимость оборудования;
- низкая стоимость.

Основными минусами этой технологии являются:

- небольшие скорости передачи данных.

Сравнительные характеристики технологий приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные сравнительные характеристики

| Стандарт | ZigBee | | | Bluetooth | USB | Wi-Fi |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------|
| Приложения | Мониторинг, управление, сети датчиков, бытовая и промышленная автоматика | | | Речь, данные, замена кабелей | Потоковое мультимедиа, замена кабелей аудио-видео-систем | Данные, видео, ЛВС |
| Преимущества | Цена, энергосбережение, размеры сети | | | Цена, энергосбережение, передача голоса | Высокая скорость | Скорость, гибкость |
| Частота | 868 МГц | 915 МГц | 2,4 ГГц | 2,4 ГГц | 3,1-10,6 ГГц | 2,4 ГГц |
| Максимальная скорость | 20 Кбит/сек | 40 Кбит/сек | 250 Кбит/сек | 3 Мбит/сек | 110-200 Мбит/сек | 300 Мбит/сек |
| Выходная мощность | 1 мВт | | | До 100мВт | 100-250 мВт | 100мВт |
| Дальность(м) | 10-100 | | | До 100 | 4-10 | 100 |
| Чувствительность , дБ | -92 | -92 | -85 | -70 | - | -76 |
| Срок работы от аккумуляторов, сутки | 100-1000 | | | 1-7 | 1000 | менее 5 |
| Максимальное число устройств | не менее 250 | | | 8 | До 127 | 32 |

Таким образом, основными тенденциями развития современного рынка беспроводных систем являются:

- уменьшение стоимости;
 - уменьшение энергопотребления;
 - совместимость продукции различных производителей;
 - решение проблемы нехватки частотного диапазона;
- ориентация новых технологий на сферу применения

Исходя из характеристик технологий, можно сделать вывод о том, что для реализации встраиваемых в измерительные системы беспроводных каналов передачи данных на небольшие расстояния наиболее всего подходит ZigBee, так имеет низкое энергопотребление, меньшую цену и хорошую совместимость с другими устройствами [3].

Основные характеристики стандарта ZigBee

Физический уровень предполагает [5]:

- **Три частотных диапазона:**

2,4 ГГц (16 каналов) – общий для всего мира.

915 МГц (10 каналов) – для США

868 МГц (1 канал) – для Европы

- **Скорость передачи:**

Максимальная 256 кбит/с.

Минимальная 20 кбит/с.

Скорость передачи зависит от числа используемых каналов.

- **Модуляция сигнала определяется сдвигом фазы:**

Для двух нижних диапазонов – бинарный.

Для 2,4 ГГц – квадратурный.

- **Доступ к каналу** – по контролю несущей,

т.е. сначала слушаем и если эфир свободен, начинаем передачу (CSMA).

- **Выходная мощность:** 1 мВт.

- **Чувствительность:**

Для двух нижних диапазонов: –92 dBm

Для 2,4 ГГц: –85 dBm

Логический уровень представляет программный стек, реализующий:

- логику сети, позволяя тем самым создавать сети различной топологии;
- маршрутизацию данных;
- адресацию;
- формирование пакетов;
- обеспечение безопасности;
- сканирование сети;
- идентификацию устройств;
- объединение устройств в сеть.

Временное разделение ZigBee базируется на использовании режима синхронизации, при котором подчиненные сетевые устройства, большую часть времени находящиеся в «спящем» состоянии, периодически подключаются для приема сигнала синхронизации от сетевого координатора, что позволяет устройствам внутри локальной сетевой ячейки знать, в какой момент времени осуществлять передачу данных [5].

Недостатком является состояние ожидания сигнала синхронизации, что приводит к незначительному увеличению энергопотребления из-за наличия небольших временных интервалов задержки [1].

Профили устройств сетей ZigBee

Пользовательские профили – это набор сервисов, необходимый для устройств определенного типа, например, систем освещения или пожарных датчиков. Они находятся на вершине стека ZigBee и предоставляют типовые программные модули для использования в отдельных приложениях [3].

Профили устройств нацелены на соответствие с архитектурой ZigBee стека устройств различных производителей.

Профили приложений определяются для каждой области возможного применения. Каждый профиль определяет набор описаний и сервисов устройства, который, в свою очередь, задает для приложения индивидуальный режим работы [4].

Сетевые возможности ZigBee стека

Сетевые функции стека включают в себя [5]:

- сканирование сети для обнаружения активных каналов;
- идентификацию устройств на активных каналах;

- создание сети на незадействованных каналах;
- объединение с существующей сетью в зоне персональной беспроводной сети;
- распознавание поддерживаемых сервисов согласно определенным;
- профилям устройств;
- маршрутизацию.

Особенности технологии ZigBee

Основная особенность технологии **ZigBee** заключается в том, что она при малом энергопотреблении поддерживает не только простые топологии сети («точка-точка» и «звезда»), но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую топологию (**mesh**) с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений (рисунок 3.4).

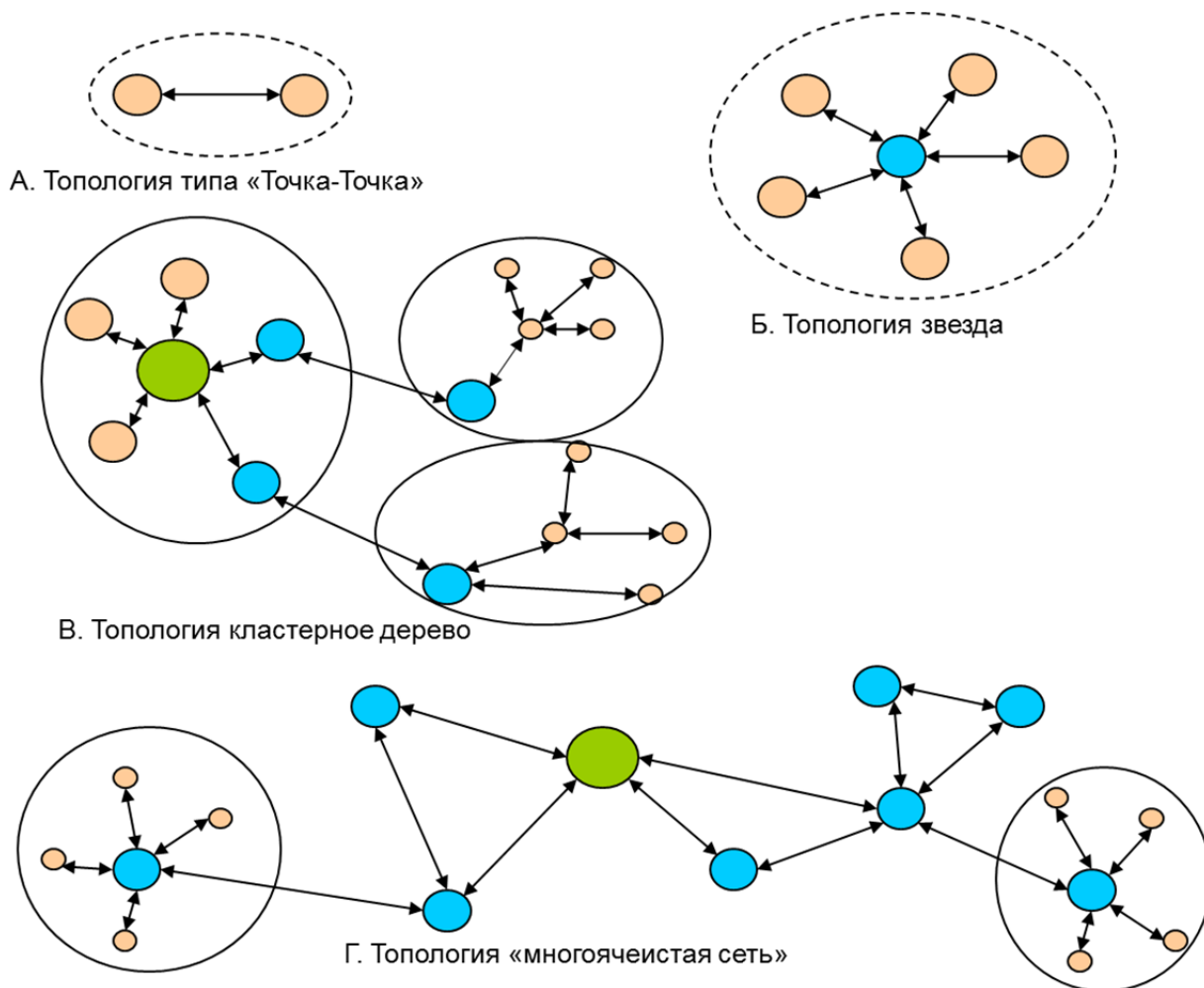


Рисунок 3.4 – Варианты топологий сетей ZigBee

ZigBee (стандарт IEEE 802.15.4) относится к беспроводным персональным вычислительным сетям (WPAN). Она ориентирована на приложения, требующие гарантированной безопасной передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания, т.к. устройства большую часть времени находятся в режиме пониженного энергопотребления [2].

ZigBee работает в промышленных, научных и медицинских (ISM-диапазон) радиодиапазонах 2,4 ГГц. Это общий для всего мира диапазон. На частоте 2,4 ГГц есть 16 каналов ZigBee, каждый канал требует определенной ширины диапазона (5 МГц и др.) [2]. Применение сетей ZigBee в Российской Федерации в частотном диапазоне 2400–2483,5 МГц не требует получения частотных разрешений и дополнительных согласований (Решение ГКРЧ при Мининформсвязи России от 07.05.2007 № 07-20-03-001).

Выпускаются **микросхемы с ZigBee**, являющиеся объединенными радиомодулями и микроконтроллерами. Это, например, устройства Freescale MC13213, Texas Instruments CC2430 и Atmel ATmega128RFA1, микроконтроллеры серии STM32W от компании STMicroelectronics [4].

Существуют **три различных типа устройств ZigBee**.

- **Координатор ZigBee (ZC)** – устройство, формирует пути древа сети, может связываться с другими сетями и обеспечивает безопасность сети. В каждой сети есть один координатор ZigBee.

- **Маршрутизатор ZigBee (ZR)** – устройство может выступать и в качестве промежуточного маршрутизатора.

- **Конечное устройство ZigBee (ZED)** – устройство позволяет обмениваться информацией с координатором или маршрутизатором, но оно не может передавать данные с других устройств. Это устройство большую часть времени может пребывать в спящем состоянии, что позволяет экономить энергоресурс батарей.

Широко используются модули XBee. XBee – это модуль с возможностью использования протокола ZigBee. XBee производится, например, компанией Digi (ранее MaxStream). Мощности передатчика хватает для связи на расстоянии до 120 м на улице и до 35 м в помещении. Скорость обмена данными: до 250 кбит/с. Устройство работает на частоте 2,4 ГГц. Модуль работает от напряжения 2,8–3,4 В, потребляет 45 мА в режиме приема, 50 мА в режиме передачи и 0,01 мА в режиме энергосбережения.

Сеть интеллектуальных датчиков должна иметь возможность самоидентификации для однозначного их опознавания, сети должны быть надежными и иметь высокую помехозащищенность [4].

Значительным препятствием в создании таких сетей является отсутствие **единого** сетевого стандарта, поэтому в представленном материале рассматриваются различные варианты. В такой ситуации перед производителями датчиков возникает непростой выбор, т.к. производство однотипных датчиков для каждого популярного стандарта связи экономически не выгодно [1]. Активные работы в направлении унификации сетей датчиков ведутся и появились новые проекты, например, сети с названиями «Sensor Web Enablement», «Milan», IEEE1451 и другие.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры сетей обмена данными, ориентированных на использование в промышленной автоматике?
2. Какие стандарты относятся только к беспроводной связи?
3. В каком частотном диапазоне наиболее широко используется беспроводная связь?
4. Какие стандарты обеспечивают более низкое энергопотребление?
5. В каком частотном диапазоне работают радиомодули ZigBee и XBee?
6. Чему равна чувствительность стандарта ZigBee на частоте 2,4 ГГц?
7. Какой тип устройств ZigBee может связываться с другими сетями?

Тестовые задания

1. Какие сети осуществляют связь внутри зданий?
 - a) глобальные и локальные;
 - b) локальные;
 - c) смешанные;
 - d) локальные и смешанные.

2. Какие проводные соединения отличаются самой низкой стоимостью?

- a) витая пара и коаксиальный кабель;
- b) коаксиальный кабель;
- c) волоконно-оптический кабель и витая пара;
- d) витая пара.

3. Какие кабельные соединения обеспечивают скорость передачи несколько единиц Гбит в секунду?

- a) коаксиальный и волоконно-оптический кабели;
- b) волоконно-оптический кабель;
- c) волоконно-оптический кабель и витая пара;
- d) витая пара.

4. Какие топологии сетей реализуют централизованное управление?

- a) кольцо;
- b) звезда и общая шина;
- c) кольцо и звезда;
- d) звезда.

5. В чем основное преимущество беспроводных технологий передач данных с датчиков?

- a) обеспечение долговременной мобильности;
- b) обеспечение долговременной мобильности и минимальной стоимости приемо-передатчиков;
- c) обеспечение максимальной скорости обмена данными;
- d) обеспечение максимальной скорости обмена данными и долговременной мобильности.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ И ЭЛЕКТРОНИКЕ

4.1. Программное обеспечение, применяемое в производстве на различных стадиях разработки изделий

Приборостроение и электроника – одна из базовых отраслей промышленности.

В ходе разработки устройства в приборостроении специалистам приходится сталкиваться с целым перечнем различных задач. Логично предположить, что единой универсальной системы, которая решала бы все эти задачи на должном уровне, не существует. Кроме того, появляется проблема взаимодействия между «островами компетенции», и, как следствие, ошибки часто выявляются только на этапе создания и исследования физических прототипов. Приходится дорабатывать изделие и вновь создавать опытные образцы, что приводит к увеличению сроков проектирования и повышению стоимости продукции [1].

Применение программных пакетов, призванных создавать конструкторскую и технологическую документацию, 3D модели и чертежи (систем автоматизированного проектирования или САПР), конструкторами, технологами, архитекторами, исследователями, программистами стало практически повсеместным. Поэтому инженеры-разработчики должны обладать знаниями основ автоматизации проектирования и уметь работать со средствами САПР [1].

Система автоматизированного проектирования – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

Для обозначений всего спектра различных технологий автоматизации с помощью компьютера в англоязычной литературе используется термин CAx (англ. computer-aided technologies). Например, CAD-system (computer-aided design) – автоматизированное проектирование (разработка) объектов производства, а также

оформления конструкторской и/или технологической документации, CAE-system (computer-aided engineering) – системы автоматизации инженерных расчетов, анализа и проверки проектных решений, CAM-system (computer-aided manufacturing) – системы автоматизации технологических расчетов. Русскоязычное понятие САПР более общее и включает специализированные понятия англоязычной литературы [1].

Важно отметить, что слово «автоматизированный» подчеркивает участие человека в процессе, так как в САПР часть функций выполняет человек, а автоматическими являются только отдельные проектные операции и процедуры.

На сегодняшний момент, в большинстве случаев САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР – повышение эффективности труда инженеров, включая [1]:

- 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.

Достижение этих целей обеспечивается путем:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений,
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- 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.

Именно поэтому предприятия, работающие без САПР или использующие ее в малой степени, становятся неконкурентоспособными, а области применения САПР постоянно расширяются и охватывают сферы энергетики, медицины, электроники, промышленности, дизайна, строительства, научных исследований и многое другое (рисунок 4.1) [2].

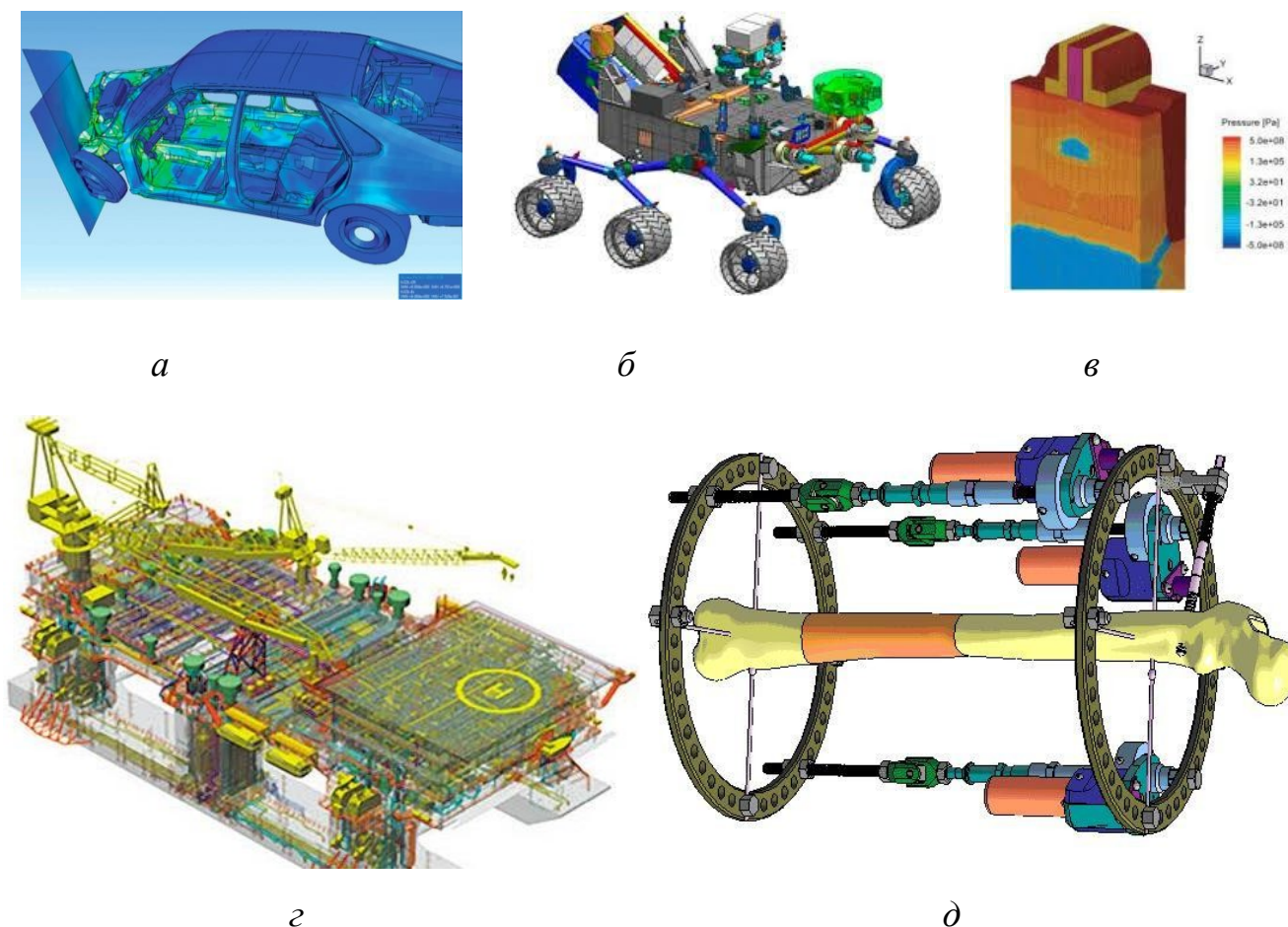


Рисунок 4.1 – Области применения САПР: *а* – автомобильная промышленность; *б* – приборостроение; *в* – микроэлектроника; *г* – нефтедобыча; *д* – медицина

Выделяют следующие виды обеспечения САПР [2]:

Техническое обеспечение – совокупность связанных и взаимодействующих технических средств (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование, линии связи, измерительные средства).

Математическое обеспечение, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы, используемые для решения задач автоматизированного проектирования.

Программное обеспечение, которое подразделяется на общесистемное и прикладное [3]:

прикладное ПО реализует математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур. Включает пакеты прикладных программ, предназначенные для обслуживания определенных этапов проектирования или решения групп однотипных задач внутри различных этапов;

общесистемное ПО предназначено для управления компонентами технического обеспечения и обеспечения функционирования прикладных программ. Примером компонента общесистемного ПО является операционная система.

Информационное обеспечение – совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования. Состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий и их моделей, правил и норм проектирования. Основная часть информационного обеспечения САПР – базы данных [1].

Лингвистическое обеспечение – совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, а также для осуществления диалога "проектировщик ↔ ЭВМ" и обмена данными между техническими средствами САПР. Включает термины, определения, правила формализации естественного языка. В лингвистическом обеспечении выделяют класс различного типа языков проектирования и моделирования (VHDL, VERILOG, UML, GPSS) [3].

Методическое обеспечение – описание технологии функционирования САПР, методов выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов. Включает в себя теорию процессов, происходящих в проектируемых объектах, методы анализа, синтеза систем и их составных частей, различные методики проектирования.

Организационное обеспечение – совокупность документов, определяющих состав проектной организации, связь между подразделениями, организационную структуру объекта и системы автоматизации, деятельность в условиях функционирования системы, форму представления результатов проектирования.

Эргономическое обеспечение объединяет взаимосвязанные требования, направленные на согласование психологических, психофизиологических, антропометрических характеристик и возможностей человека с техническими характеристиками средств автоматизации и параметрами рабочей среды на рабочем месте [3].

В классификации САПР по типу объекта проектирования согласно ГОСТу 23501.108-85 рассматриваются объекты и процессы машиностроения и приборостроения, объекты и процессы строительства, программные средства и организационные системы. На рисунке 4.2 представлен пример структуры САПР в области приборостроения и электроники [2].

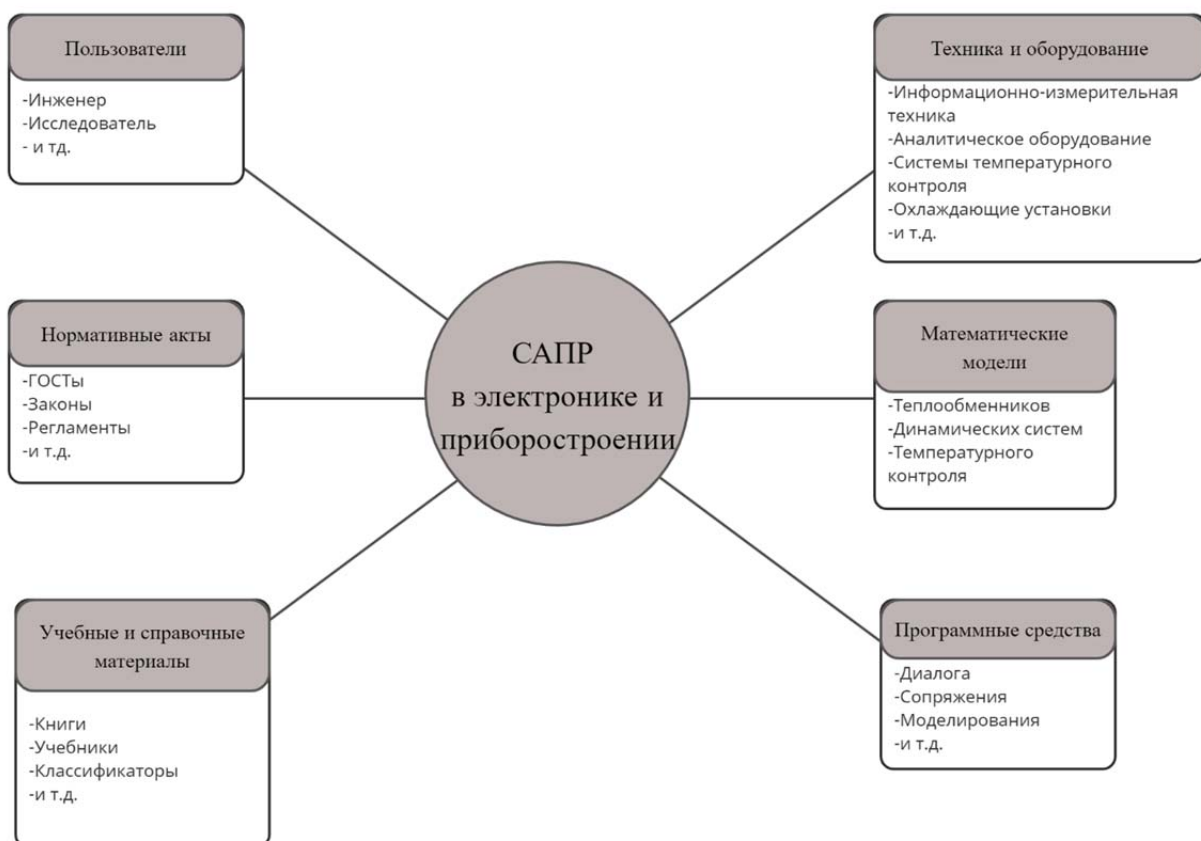


Рисунок 4.2 – Пример структуры САПР в области приборостроения и электроники

Примером комплекса решений, который реализует весь цикл проектирования в области приборостроения, и отвечает всем требованиям по качеству и эффективности решения типовых задач является Teamcenter - пакет масштабируемых программных решений для поддержки жизненного цикла изделий, созданный на основе открытой платформы PLM (Product Lifecycle Management –

управление данными о продукте на протяжении его жизненного цикла) [4]. При использовании данного комплекса решений, каждый этап работы над изделием производится с помощью специализированного инструмента, позволяющего выпускать необходимую документацию и производить исследования еще на этапе проектирования. Благодаря интеграции инструментов между собой отсутствуют ошибки и потери данных.

Комплекс программного обеспечения для приборостроения, радиотехнической и электронной промышленности представлен на рисунке 3.

От технического задания на изделие до производства данного изделия реализуется два основных этапа: конструкторская подготовка производства и технологическая подготовка производства [5].

- Разработка механической части изделия может производиться с использованием современной САПР Solid Edge;
- разработка электронной части изделия – с применением пакетов PADS, Solid Edge IDF Modeler, Xpediton;
- разработка электрической части изделия – ElectricCS Pro, Solid Edge Wire Harness Design;
- математическое моделирование и программирование – в пакетах PTC Mathcad, MATLAB, Simulink;
- анализ изделия – с применением HyperLynx, АСОНИКА, Solid Edge Flow Simulation;
- разработка технологии изготовления изделия возможна в пакете Solid Edge;
- разработка пресс-форм и электродов – с применением Solid Edge Mold Tooling and Electrode Design;
- создание управляющих программ для станков с ЧПУ – Техтран, Solid Edge CAM Pro;
- анализ литья из термопластичных материалов – в пакете Moldex3D;
- пакет масштабируемых программных решений для поддержки жизненного цикла изделия (ЖЦИ), PLM: Teamcenter, Teamcenter Mechatronics.

Комплекс программного обеспечения для приборостроения, радиотехнической и электронной промышленности представлен схематично на рисунке 4.3.

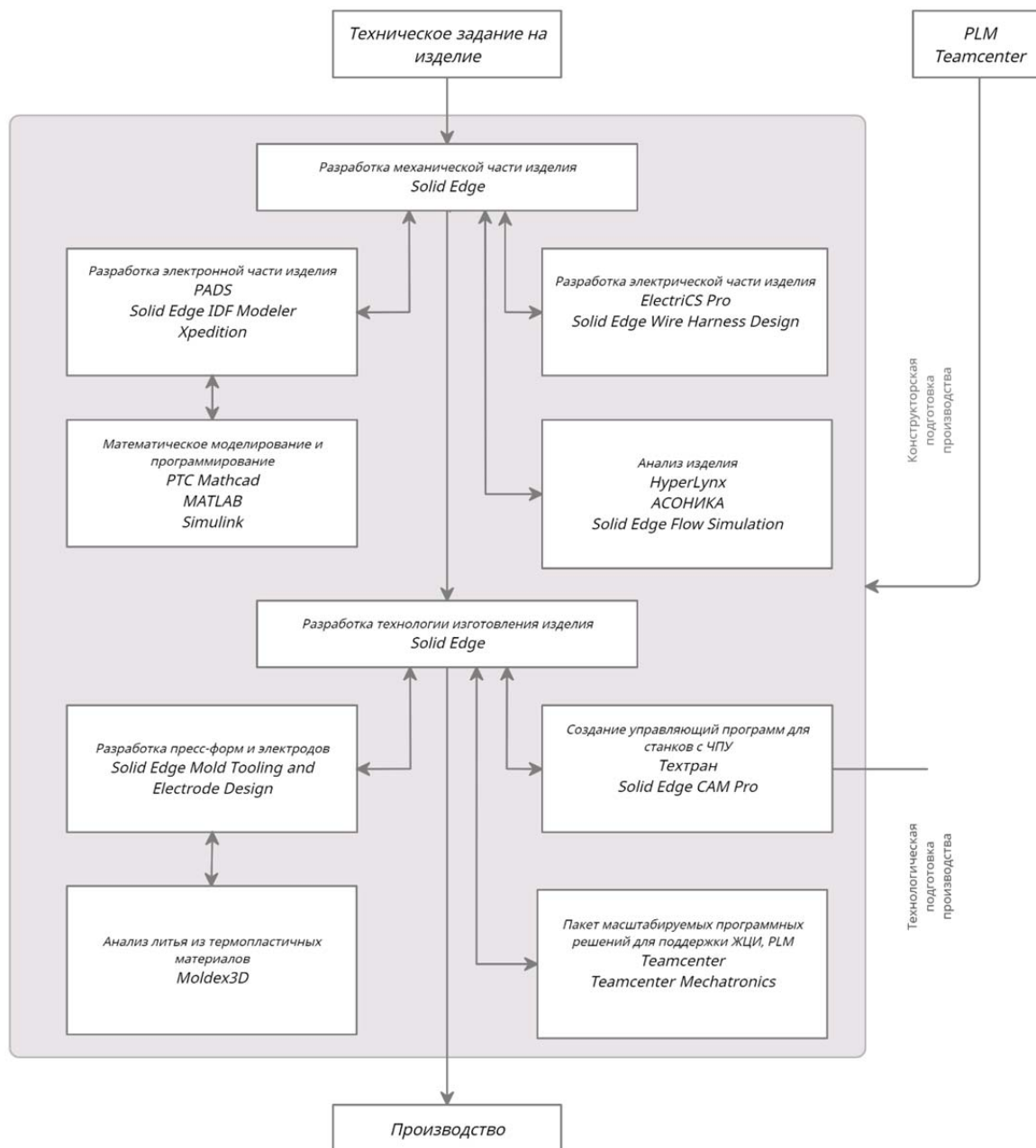


Рисунок 4.3 – Комплекс программного обеспечения для приборостроения, радиотехнической и электронной промышленности

4.2. Программное обеспечение для автоматизации электронного проектирования

Автоматизация проектирования электронных устройств (англ. electronic design automation, EDA) – комплекс программных средств для облегчения разработки электронных устройств, создания микросхем и печатных плат [5].

Комплекс позволяет создать принципиальную электрическую схему проектируемого устройства с помощью графического интерфейса, создавать и модифицировать базу радиоэлектронных компонентов, проверять целостность сигналов на ней. Современные программные пакеты позволяют выполнить автоматическую расстановку элементов, и автоматически трассировать дорожки на чертеже многослойной печатной платы, соединяя тем самым выводы радиоэлектронных компонентов в соответствии с принципиальной схемой. Введенная схема непосредственно или через промежуточный файл связей («netlist») может быть преобразована в заготовку проектируемой печатной платы, с различной степенью автоматизации [6].

Системы автоматизации проектирования электроники могут иметь возможность моделирования разрабатываемого устройства и исследования его работы до того, как оно будет воплощено в аппаратуру.

На современном рынке существует большое количество САПР, которые решают разные задачи.

AutoCAD – это базовая САПР, разрабатываемая и поставляемая компанией Autodesk. AutoCAD – самая распространенная САД-система в мире, позволяющая проектировать как в двумерной, так и трехмерной среде. С помощью AutoCAD можно строить 3D-модели, создавать и оформлять чертежи и многое другое. AutoCAD является платформенной САПР, т.е. эта система не имеет четкой ориентации на определенную проектную область, в ней можно выполнять хоть строительные, хоть машиностроительные проекты, работать с изысканиями, электрикой и многим другим [1].

SolidWorks – трехмерный программный комплекс для автоматизации конструкторских работ промышленного предприятия. Разработчик – компания Dassault Systemes.

SolidEdge – система трехмерного моделирования машиностроительных изделий, которую разрабатывает Siemens PLM Software.

Компас-3D – это система параметрического моделирования деталей и сборок, используемая в областях машиностроения, приборостроения и строительства. Разработчик – компания Аскон (Россия). Преимущества системы Компас-3D: простой и понятный интерфейс, использование трехмерного ядра собственной разработки

(С3D), полная поддержка ГОСТ и ЕСКД при проектировании и оформлении документации, большой набор надстроек для проектирования отдельных разделов проекта, гибкий подход к оснащению рабочих мест проектировщиков, что позволяет сэкономить при покупке, возможность интеграции с системой автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ и другими системами единого комплекса [2].

NX – флагманская система САПР производства компании Siemens PLM Software, которая используется для разработки сложных изделий, включающих элементы со сложной формой и плотной компоновкой большого количества составных частей.

Altium Designer – комплексная система автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных средств, разработанная австралийской компанией Altium. Ранее эта же фирма разрабатывала САПР P-CAD, который приобрел необычайную популярность среди российских разработчиков электроники. В 2008 г. фирма Altium заявила о прекращении поставки программных пакетов P-CAD, и предложила разработчикам использовать программу Altium Designer, которая появилась в 2000 г. и изначально имела название Protel. В 2006 г. был проведен ребрендинг программного продукта и он получил текущее название, последняя версия которого называется Altium Designer [3].

Сегодня Altium Designer – это система, позволяющая реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации проектировщику ПЛИС или печатной платы. Отличительной особенностью программы является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования. Так же в качестве приоритетного направления разработчиков данной программы стоит отметить интеграцию ECAD и MCAD систем. Теперь разработка печатной платы возможна в трехмерном виде с двунаправленной передачей информации в механические САПР (Solid Works, Pro/ENGINEER, NX и др.)

Proteus Design Suite – пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем. Разработка компании Labcenter Electronics (Великобритания). Пакет представляет собой систему моделирования, базирующуюся на основе моделей электронных компонентов, принятых в PSpice. Отличительной чертой пакета

PROTEUS VSM является возможность моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров, DSP и проч. Причем в Proteus полностью реализована концепция сквозного проектирования. Библиотека компонентов содержит справочные данные. Дополнительно в пакет PROTEUS VSM входит система проектирования печатных плат. Пакет Proteus состоит из двух частей, двух подпрограмм: ISIS – программа синтеза и моделирования непосредственно электронных схем и ARES – программа разработки печатных плат с возможностью увидеть 3D-модель печатной платы, что позволяет разработчику оценить свое устройство еще на стадии разработки. Система поддерживает подключение новых элементов и подключение разных компиляторов [1].

DipTrace – это многофункциональная САПР по разработке электронных печатных плат и схмотехнической документации для проектов любой сложности, от идеи до готового устройства. DipTrace включает четыре модуля: редактор схем, редактор компоновки печатных плат со встроенным автотрассировщиком на основе форм, а также предварительный просмотр и экспорт в 3D, редактор компонентов и редактор посадочных мест.

В настоящее время на рынке присутствуют самые разные современные САПР, которые отличаются между собой как по функциональности, так и по стоимости. Выбрать подходящую систему автоматизированного проектирования среди многих САД систем – непростая задача. При принятии решения необходимо ориентироваться на потребности предприятия, задачи, которые стоят перед пользователями, стоимость приобретения и содержания системы и многие другие факторы [3].

4.3. Сравнительный анализ САПР Altium Designer, Proteus PCB Design, DipTrace и т.п.

Приведем сравнительный обзор систем проектирования печатных плат.

Proteus PCB – коммерческий пакет программ класса САПР, объединяющий в себе две основных программы (рисунок 4.4): ISIS – средство разработки и отладки в режиме реального времени электронных схем и ARES – средство разработки печатных плат. Все

продукты Proteus PCB включают встроенный автокорректор на основе фигур и базовую способность моделирования SPICE, как стандарт. Более продвинутые режимы маршрутизации включены в Proteus PCB Design Level 2 и выше, в то время как возможности моделирования могут быть улучшены за счет приобретения опций Advanced Simulation и/или возможностей моделирования микроконтроллеров [3].

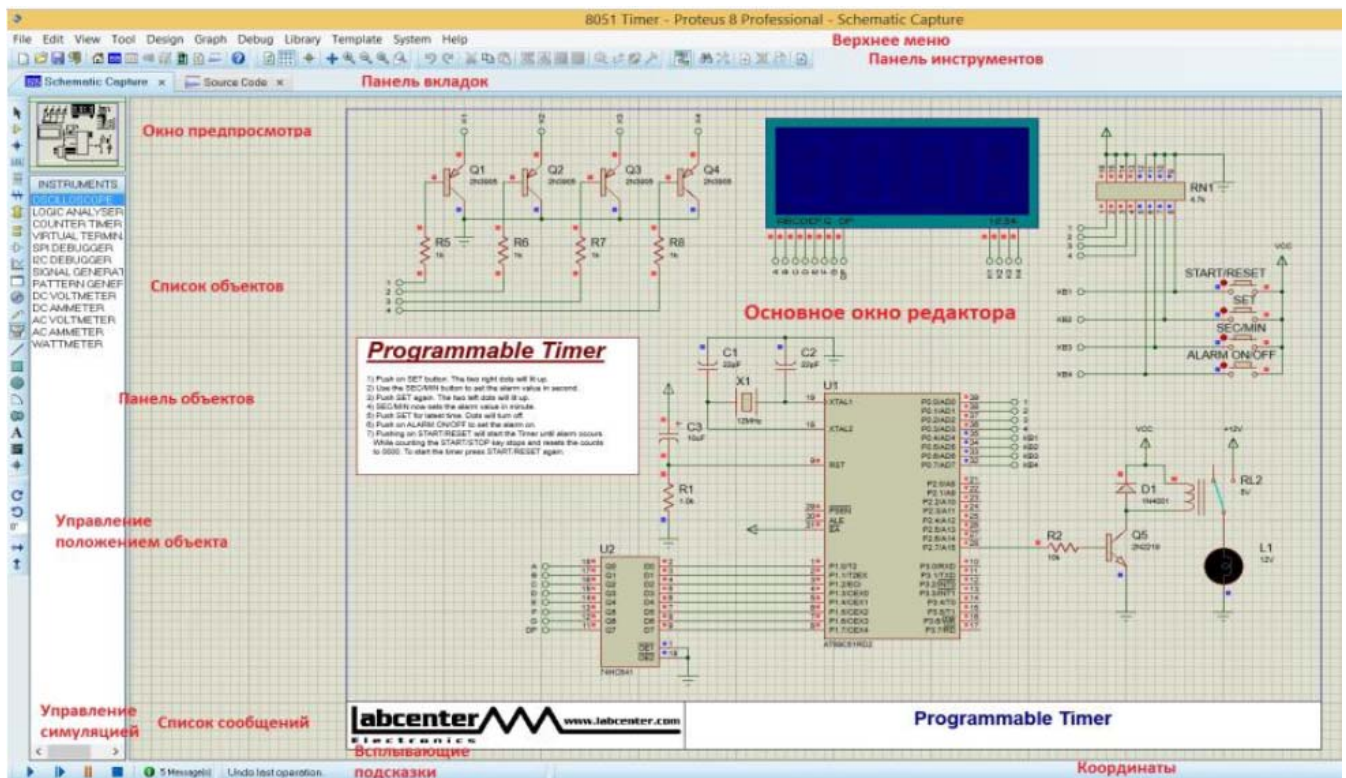


Рисунок 4.4 – Структура рабочего поля Proteus Design Suite 8.x

Особенностью Proteus Design Suite 8.x является [4]:

- единая среда для разработки электронных схем, программного обеспечения и печатной платы (включая и 3D моделирование);
- удобство разработки схем: разработка проекта начинается с диалога, при котором выбирается микроконтроллер, компилятор и предоставляются шаблоны для разработки электрической схемы и программы;
- единая база данных компонентов обеспечивает обмен данными между модулями Proteus в текущем проекте;
- расширенные средства для работы с документацией к проекту;
- большое количество различных моделей (десятки тысяч): аналоговые и цифровые электронные компоненты ведущих фирм, периферийные устройства (светодиодные и ЖК индикаторы,

температурные датчики, часы реального времени), интерактивные элементы ввода-вывода: кнопки, переключатели, клавиатуры, двигатели различных типов, нагреватели, реле, виртуальные терминалы (UART, SPI, I2C, USB), виртуальные измерительные приборы (13 видов) и генераторы (15 видов), возможность построения различных интерактивных графиков и так далее. Такой набор моделей отсутствует в других подобных программах;

- виртуальные модели разработаны на основе программы моделирования ProSPICE и позволяют в процессе проектирования изменять свойства существующих моделей и разрабатывать новые;

- возможность работы в многопроцессорном режиме;

- большое количество примеров проектирования устройств.

Программа Proteus PCB design предназначена для реализации таких функций, как «Макет печатной платы», «Разработка программного обеспечения» и «Схемотехника». Proteus PCB design – это платная программа с закрытым исходным кодом, работающая на многих платформах, в числе которых Windows.

Недостатком Proteus Design Suite 8.x является относительно высокая стоимость [5].

DipTrace – САПР компании Новарм для проектирования печатных плат (PCB). В пакет включено четыре программы: Schematic – разработка принципиальных схем; DipTrace - создание плат, ручная и автоматическая трассировка; ComEdit - редактор корпусов; SchemEdit – редактор компонентов. DipTrace содержит минимальное количество управляющих элементов, отражающих основные функции, при этом переход в большинство режимов, таких как выбор, перемещение, создание связей, редактирование трасс - осуществляется автоматически при попытке пользователя сделать необходимую операцию [7]. Вся работа сопровождается подсветкой редактируемых и зависящих от них элементов, позволяющих наглядно оценивать ситуацию (рисунок 4.5). Логическая структура принципиальной схемы или платы формируется сразу при построении и изменение одного элемента отражается на зависящих от него DipTrace поддерживает экспорт плат в Gerber, и N/C Drill. Для Gerber существует возможность разметки отверстий. При экспорте текста осуществляется векторизация с заданным шагом, таким образом что можно использовать любой шрифт, установленный в системе. Также поддерживается векторизация и экспорт в Gerber

растровых черно-белых изображений. Имеется большое количество библиотек корпусов и компонентов [2]. Стандартные библиотеки содержат более 10 тыс. компонентов наиболее известных фирм-производителей. Система имеет 3D предпросмотр, причем с программой поставляются более 2,5 тыс. 3D-моделей корпусов.

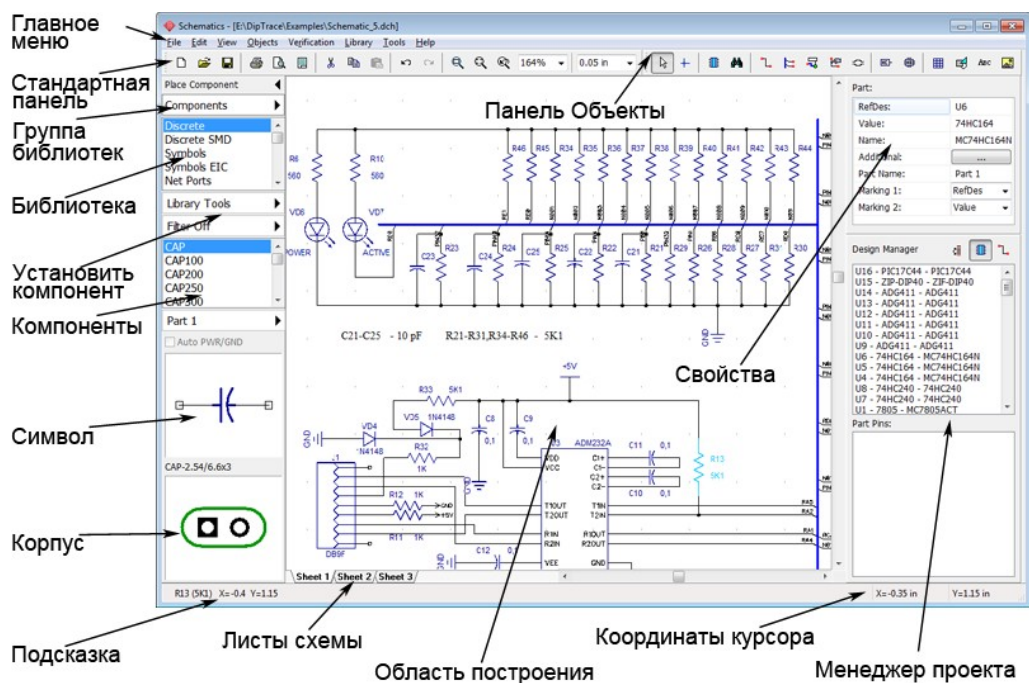


Рисунок 4.5 – Структура рабочего поля DipTrace

С появлением Altium Designer, компания Altium Limited принципиально изменила технологию проектирования, моделирования и отладки электронных устройств в общем процессе разработки электроники: она предоставила всем разработчикам электроники возможность использовать весь потенциал современного поколения программируемых устройств для создания высокоинтеллектуального оборудования в кратчайшие сроки, независимо от базового знания основ ПЛИС и языков программирования HDL [4]. В отличие от многочисленных аналогичных систем сторонних производителей, которые рассматривают разработку электронных устройств как пошаговую работу в нескольких продуктах, Altium Designer объединяет схемную, программную и аппаратную части в единой оболочке. Это позволяет разработчикам электроники максимально сосредоточиться на задачах проекта с целью создания качественных электронных устройств [8]. В этой системе работа над проектами принципиальных схем и печатных плат ведется в тесной интеграции с программированием

цифровых устройств на уровне ПЛИС в единой управляющей оболочке Design Explorer. В Altium Designer реализованы такие возможности, как трассировка дифференциальных сигналов от схемного уровня до уровня топологий печатных плат, сваппирование пинов на уровне интегрированных проектов ПЛИС и печатных плат, технологии управления библиотеками и генерации отчетов Bill of Materials, поддержка интерфейса с библиотекой OrCAD Capture CIS (Component Information Systems), поддержка PSpice моделей и многое другое. На сегодняшний день данный продукт один из немногих имеет русскоязычный интерфейс.

В Altium Designer введена разработка принципиальной схемы и печатной платы электронного устройства в рамках одного проекта, файлы которого связаны между собой (рисунок 4.6). То есть, к примеру, изменение номинала резистора, вносимое на печатную плату, автоматически вызывает его изменение на принципиальной схеме. Это упрощает и ускоряет разработку электроники, избавляет от необходимости вносить исправления в несколько файлов, а в итоге оберегает разработчика от потенциальной возможности допустить ошибку.

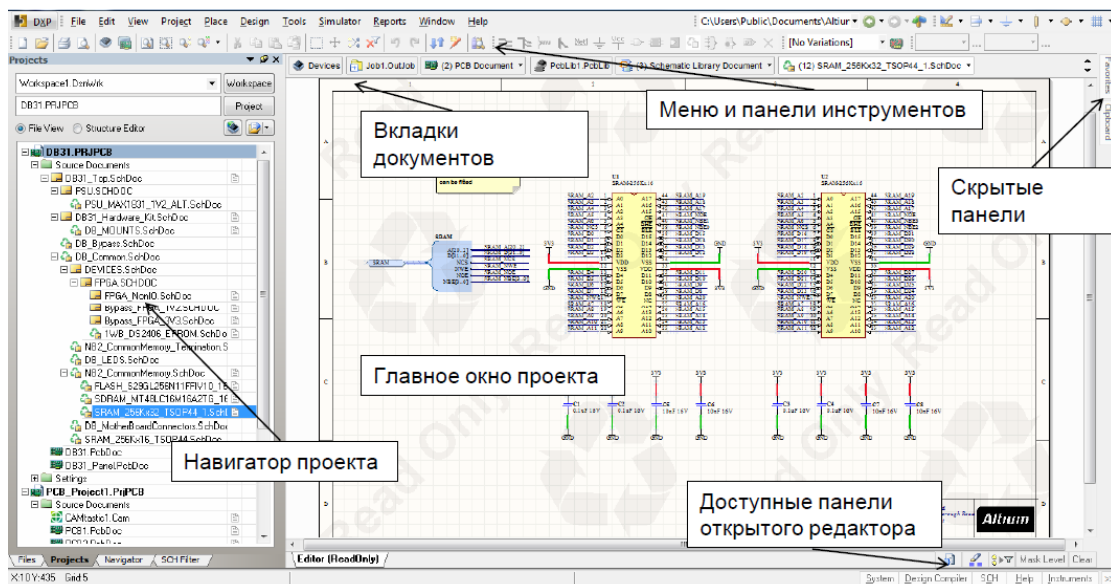


Рисунок 4.6 – Структура рабочего поля Altium Designer

Altium Designer имеет огромное количество качественных библиотек элементов с удобным поиском по ним. К примеру, можно задать параметрах поиска "7805", и будут найдены все компоненты, сразу во всех имеющихся библиотеках, расположенных в указанной

папке, содержащие в своем наименовании "7805". А также Altium Designer позволяет увидеть 3D-модель разрабатываемой печатной платы. В этом режиме можно перемещать компоненты по плате. Особенно удачно применение данной функции для случаев расположения одних компонентов под другими [4]. При попытке перетащить один компонент, с габаритами больше допустимых, под другой компонент, нависающий сверху, программа подсвечивает перемещаемый компонент и указывает, что выполняется его перемещение в недопустимое пространство.

Поставив цель ослабления технологической зависимости от других стран (импортозамещения и/или импортовытеснения), повышения уровня национальной безопасности за счет развития собственной промышленности предлагаем рассмотреть программное обеспечение для автоматизации электронного проектирования отечественного производства [1].

4.4. Применение отечественного программного обеспечения для автоматизации электронного проектирования: состояние и перспективы развития, обзор возможностей (на примере программ Компас 3D и SiminTech)

Моделирование в научных исследованиях применяется во всех областях научных знаний: техническом конструировании, строительстве и архитектуре, астрономии, физике, в химии, в биологии и даже в общественных науках [4].

Повысить качество и скорость проектирования радиоэлектронной аппаратуры можно, используя только специализированные программы. Применение машиностроительных САПР не даст ожидаемого результата (рисунок 4.7). Необходимы узконаправленные инструменты, например, такие как КОМПАС-3D V20: Приборостроение – это комплект, решающий задачи проектирования всевозможных электроприборов и устройств, таких как системы сигнализации и управления, частотные преобразователи, датчики, логические модули и кабельные системы и т.д. Это необходимые и полнофункциональные наборы специализированных приложений, объединенных одной идеей автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры и электрооборудования [5].

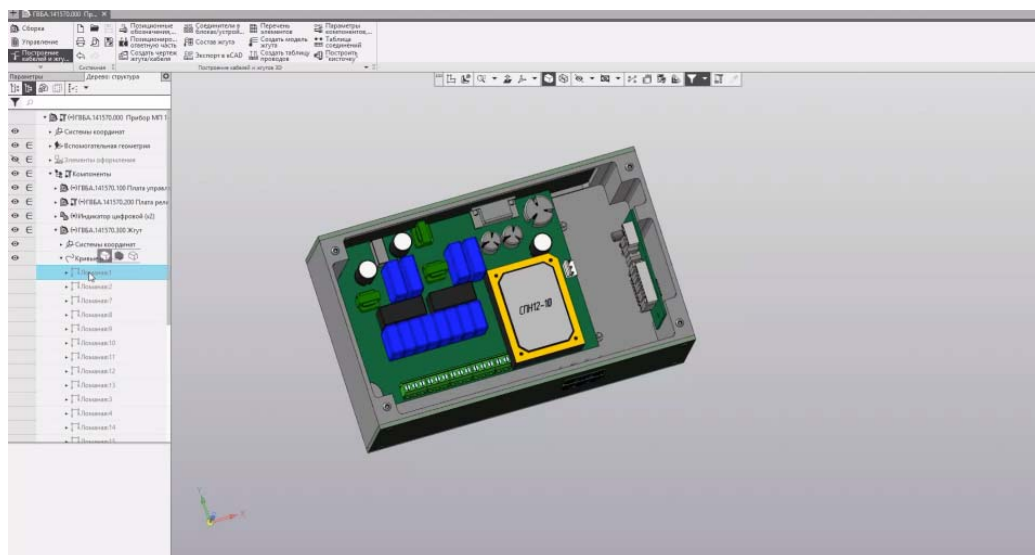


Рисунок 4.7 – Реализация работы в КОМПАС-3D: Приборостроение

В зависимости от задач приложения позволяют: конвертировать 3D-модели печатных плат, разработанных в сторонних ECAD-системах, создавать и редактировать модели печатных плат, разрабатывать принципиальные схемы и выпускать проектную документацию, проектировать кабели и жгуты, заниматься пространственной компоновкой частей радиоэлектронной аппаратуры [3].

КОМПАС-3D v20 – российская система проектирования, построенная на собственном геометрическом ядре C3D. Новая версия умеет напрямую читать форматы практически всех популярных CAD-систем без необходимости их предварительной конвертации, а также появились инструменты прямого редактирования геометрии, было доработано поверхностное и листовое моделирование, расширены базовые возможности 3D- и 2D-проектирования, проделана большая работа над скоростью и производительностью системы [5].

Прямое чтение форматов других CAD-систем

КОМПАС-3D научился напрямую открывать модели практически всех популярных CAD-систем без использования дополнительного конвертера. Поддерживаются форматы систем: UGS/NX, CATIA, ProE/Creo, SolidWorks, SolidEdge и Inventor [5]. Новинка доступна в базовой функциональности КОМПАС-3D v20.

Управление наборами инструментальных панелей и другие изменения в интерфейсе

Появилась возможность управлять наборами инструментальных панелей: создавать свой набор, наполнять его необходимыми

командами, перемещать, скрывать и удалять. Контекстные панели тоже можно настроить под себя. Их состав зависит от документа, с которым работает пользователь, а также от выбранного объекта: грани, ребра или отрезка на чертеже.

Новинки поверхностного моделирования

Функциональность поверхностного моделирования КОМПАС-3D пополнилась абсолютно новым типом поверхностей – «Поверхностью конического сечения», которая образуется путем перемещения кривой конического сечения по двум направляющим с возможностью изменения параметров этого сечения. В итоге формируется очень гладкая поверхность на всем своем протяжении.

Переработана поверхность по сети кривых. Теперь в качестве границ поверхности можно использовать многосегментные кривые, явно задавать цепочки соединения характерных точек, контролировать направление сопряжения поверхностей, оптимизировать форму поверхности для получения более предсказуемого результата на нечасто заданной, но достаточно искривленной сетке кривых [8].

Для диагностики гладкости поверхностей создана новая команда «Сетка графиков кривизны». Результат работы команды – графики кривизны для линий пересечения поверхности с плоскостями, расположенными либо параллельно базовой плоскости, либо радиально вокруг указанной точки.

Новинки листового моделирования

Твердотельную или поверхностную модель, в т.ч. модель без истории построения, теперь можно превратить в листовую деталь, а затем получить развертку. При этом задаются различные параметры самого листового тела, углов и сгибов. Доступен автоматический поиск скруглений, определяющих положение сгибов в листовом теле, а полученное листовое тело сохраняет ассоциативную связь с исходной моделью. Новая команда «Отбортовка» строит сгиб в листовой детали вдоль плоского ребра произвольной формы. «Штамповка телом» – еще одна новая команда, создает в листовом теле штамповку по форме другого, заранее созданного в модели тела [3].

Новая панель управления свойствами изделия и его составных частей

Появилась новая панель управления «Состав изделия», предназначенная для работы со свойствами изделия и его составных частей. «Состав изделия» поможет просматривать и изменять свойства составных частей, управлять их вхождением в спецификацию текущего стиля, добавлять и удалять их.

Новое приложение «Оборудование: Кабельные каналы»

Приложение позволит быстро построить кабельные каналы без предварительно созданной траектории. Настроить стили с указанием профиля канала, поворотов и ветвлений. Автоматически подсчитать крепежные элементы и добавить их в спецификацию. Пользователь сможет добавить свои элементы в состав кабельного канала и задать профиль канала с помощью библиотеки фрагментов.

«Изоляция» металлоконструкций и импорт из IFC

В приложении «Оборудование: Металлоконструкции» появилась группа команд для изолирования каркасных конструкций. Можно изолировать профиль, тело или грань целиком [7]. Новые команды пригодятся при проектировании набора судна.

Вторая крупная новинка приложения – импорт из IFC (Industry Foundation Classes). Новая команда открывает файл формата IFC, содержащий металлоконструкции, для последующего редактирования.

Преимущества приложения Приборостроение в КОМПАС-3D:

- оптимальное инструментальное решение профильных задач;
- ускорение процесса проектирования и выпуска проектной документации за счет использования полного набора приложений;
- экономию бюджета – стоимость комплекта значительно ниже стоимости КОМПАС-3D и приложений, что входят в набор;
- конкурентное преимущество от использования самых современных инструментов проектирования АСКОН.

SimInTech – система автоматизированного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений, а также описываемых в виде расчетных схем (так называемых

«нодализационных» схем) для специализированных математических решателей (расчетных кодов) термогидродинамических и электромеханических процессов (рисунок 4.8). Название SimInTech является сокращением от Simulation In Technic [8]. SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных технических системах, в системах автоматического управления, в следящих приводах и роботах, и, вообще говоря, в любых технических системах, описание динамики которых может быть представлено в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализовано методами структурного моделирования [5]. Основными направлениями использования SimInTech являются создание моделей, проектирование алгоритмов управления, их отладка на модели объекта, генерация исходного кода на языке Си для программируемых контроллеров.



Рисунок 4.8 – Технология SimInTech

Другими словами, в SimInTech реализована технология сквозного проектирования алгоритмической части (функционального программного обеспечения, ФПО) АСУ ТП, когда ФПО аппаратуры управления создается в SimInTech совместно со всережимной моделью объекта управления, алгоритмы моделируются и тестируются сначала на модели, а затем эти же алгоритмы, но уже перенесенные на исполнение в аппаратуру, испытываются

на имитаторе объекта управления (другой программно-аппаратный комплекс), завершая процесс изготовления аппаратуры АСУ ТП как конечного изделия [5].

SimInTech может:

- использоваться для моделирования нестационарных процессов в физике, в электротехнике, в динамике машин и механизмов, в астрономии и т.д., а также для решения нестационарных краевых задач (теплопроводность, гидродинамика и др.);
- функционировать в мультикомпьютерных моделирующих комплексах, в том числе и в системах удаленного доступа к технологическим и информационным ресурсам;
- функционировать как САПР при групповой разработке и сопровождении жизненного цикла изделия (проекта) при модельноориентированном подходе к проектированию.

Контрольные вопросы

1. Для чего нужно общесистемное ПО?
2. Что такое автоматизация проектирования электронных устройств?
3. Чем отличаются САПР Altium Designer, Proteus PCB Design, DipTrace и т.п.?
4. Перечислите основные направления использования SimInTech.
5. для проектирования чего нужна САПР компании Новарм?

Тестовые задания

1. Верно ли следующее утверждение: «Система автоматизированного проектирования – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности»?
 - a) верно;
 - b) частично верно;
 - c) частично неверно;

d) неверно.

2. Что такое CAD-system?

a) автоматизированное проектирование (разработка) объектов производства, а также оформления конструкторской и/или технологической документации;

b) системы автоматизации инженерных расчетов, анализа и проверки проектных решений;

c) системы автоматизации технологических расчетов;

d) computer-aided drafting.

3. Выберите верное утверждение: «Основная цель создания САПР – повышение эффективности труда инженеров, включая: ...»

a) сокращение трудоемкости проектирования и планирования;

b) сокращение сроков мат. моделирования;

c) сокращение себестоимости проектирования эксплуатации;

d) повышение качества результатов проектирования оборудования.

4. Что такое Proteus Design Suite?

a) пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем;

b) система трехмерного моделирования машиностроительных изделий, которую разрабатывает Siemens PLM Software;

c) коммерческий пакет программ класса САПР, объединяющий в себе две основных программы;

d) система проектирования, построенная на собственном геометрическом ядре C3D.

5. КОМПАС-3D поддерживает форматы систем:

a) АСКОН;

b) САТIA;

c) ProC/Ergo;

d) SiemensWorks.

5. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

5.1. Обзор аддитивных технологий и 3D-моделирование с применением систем автоматизированного проектирования

Современное производство уже немыслимо без систем автоматизированного проектирования (САПР), представляющих собой автоматизированные системы, реализующие информационную технологию выполнения функций проектирования [9].

Системы автоматизации способны решать проектно-конструкторские и расчетные задачи любого уровня. Для моделирования и исследования процессов объемного напряженно-деформированного состояния трехмерных стержневых устройств существует достаточно много специализированных и общеинженерных пакетов конечно элементного анализа (программных комплексов ANSYS, NASTRAN, COSMOS и др.), которые могут использоваться в комбинации с другими видами физического анализа.

Быстрое развитие компьютерной графики обеспечило высококачественную 3D-визуализацию.

Цель внедрения САПР – максимально использовать возможности программного обеспечения при решении прикладных задач.

Использование САПР дает возможность внедрить прототипирование. Технологии 3D-печати обеспечивают осуществление наглядного представления предмета, а также быстрое изготовление требуемых наглядных пособий по различным предметным областям [1].

Внедрение 3D-моделирования и организация коллективной работы в автоматизированной системе – неотъемлемая часть эффективной и разумной организации деятельности предприятий в области приборостроения и электроники в современных условиях.

Аддитивные технологии (англ. Additive Manufacturing) – технологии послойного наращивания и синтеза объектов. Широкое применение получили для так называемой *фаббер-технологии* (англ. fabber technology, также распространено наименование «3D-печать») – группы технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном формировании изделия

путем добавления материала на основу (платформу или заготовку) [2].

Аддитивные технологии предполагают послойное изготовление изделия по трехмерной модели, полученной в САПР, за счет добавления материала в виде пластиковых, керамических, металлических порошков и их связки термическим, диффузионным или клеевым методом. За три десятилетия технология перешла от изготовления бумажных и пластиковых прототипов к непосредственному получению готовых функциональных изделий. К настоящему времени технология позволяет получать металлические и неметаллические прототипы и функциональные изделия, которые не требуют механической пост-обработки.

Технологии аддитивного производства совершили значительный рывок благодаря быстрому совершенствованию электронной вычислительной техники и программного обеспечения [9].

Свое применение аддитивные технологии нашли в производстве функциональных изделий авиакосмической отрасли, приборостроения, электронной промышленности, в медицине в части протезирования, то есть там, где существует острая потребность в изготовлении высокоточных изделий и их прототипов в кратчайшие сроки.

3D-печать (3D Printing, 3DP) – технология послойного аддитивного производства с использованием лазера, объект формируется из порошкового материала путем склеивания, с использованием струйной печати для нанесения жидкого клея. Данная технология позволяет производить цветное моделирование за счет добавления в клей красителей (непосредственно во время печати), или за счет использования нескольких печатающих головок с цветным клеем.

Рассмотрим системы автоматизированного проектирования, такие как DipTrace, Altium Designer, Компас и другие, применяемые аддитивном производстве и 3D-моделировании изделий электронной промышленности [8].

DipTrace – это многофункциональная САПР по разработке электронных печатных плат и схемотехнической документации для проектов любой сложности, от идеи до готового устройства. Данное программное обеспечение включает четыре модуля [9]:

1. Схемотехника. DipTrace Schematic Capture поддерживает многолистовые и многоуровневые иерархические схемы и позволяет с легкостью создавать связи между выводами визуально и логически, по именам, без соединений, с помощью сетевых портов и шин. Проверка связей (ERC) и верификация иерархии помогают избежать ошибок при создании проекта. Схемотехника импортирует и экспортирует данные из многих электронных САПР - PCAD, OrCAD, PADS и других.

2. Редактор Плат. DipTrace PCB Layout – это разработка печатных плат с удобной ручной трассировкой и позиционированием компонентов, мощным автотрассировщиком, поддержкой дифференциальных пар и возможностью копирования готовых узлов между иерархическими блоками. Продвинутое функции проверки проекта в том числе Real-Time DRC, отображают возможные ошибки еще до их совершения. Импорт файлов проекта, списков соединений ("нетлислов") и производственных файлов позволит использовать предыдущие наработки.

3. Создание Библиотек. Программная среда DipTrace включает редакторы компонентов и корпусов, которые тесно интегрированы между собой. Множество стандартных шаблонов значительно облегчают создание нужного корпуса. Функции массового переименования, нумерации и редактирования - отличные инструменты для сложных многосекционных компонентов с сотнями выводов.

4. 3D Предпросмотр. Этот модуль работает внутри PCB Layout и Редактора Корпусов. 3D предпросмотр с аппаратным ускорением позволяет увидеть трехмерную модель разрабатываемой платы на всех этапах с установленными на ней компонентами. Пользователь может вращать модель во всех плоскостях, менять масштаб, цвета и многое другое. Плату можно экспортировать в механические САПР-системы. DipTrace предлагает более чем 6,5 тыс. моделей, а также возможность импортировать STEP, IGES, VRML и 3DS модели корпусов.

DipTrace - интуитивная САПР-система которая включает [9]:

- простой пользовательский интерфейс,
- многолистовую и многоуровневую иерархию,
- скоростной shape-based трассировщик,
- ручную трассировку с дифференциальными парами,

- широкие возможности экспорта/импорта,
- верификацию с Real-Time DRC,
- 3D предпросмотр платы и STEP экспорт,
- экспорт Gerber, DXF, N/C Drill, Pick & Place,
- стандартные библиотеки на 130 тыс. компонентов,
- бесплатную поддержку пользователей.

Все модули DipTrace имеют общие функциональные принципы и множество настраиваемых «горячих» клавиш для быстрой работы. DipTrace соответствует требованиям как начинающих, так и опытных профессионалов, оптимальный выбор для успешной и эффективной работы.

Проект **Altium Designer** – основа для изготовления устройства [7].

Комплект документов для разработки и изготовления одного самостоятельного изделия формируется в виде файла проекта, содержащего все установки и настройки, в том числе связи с каждым документом проекта. Файл проекта представляет собой текстовый файл-оболочку, объединяющую иерархически организованный набор документов, предполагающих воплощение их в единственном объекте. Каждый документ проекта, включая выходные данные, представляет собой отдельный файл, который связан с проектом через относительные ссылки на одном логическом устройстве или абсолютные ссылки на различных логических устройствах.

Основные типы проектов в Altium Designer [10]:

1. Проект печатной платы (PCB Project. Документы проекта объединяются оболочкой с именем файла: *.PrjPcb).
 2. Проект ПЛИС (FPGA Project. Имя файла оболочки проекта: *.PrjFpg).
 3. Интегрированная библиотека (Integrated Library. Файл оболочки: *.LibPkg. Файл библиотеки: *.IntLib).
 4. Встроенный проект (Embedded Project. Имя файла оболочки: *.PrgEmb).
 5. Проект ядра (Core Project. Имя файла оболочки: *.PrjCor.)
 6. Скрипт-проект (Script Project. Файл: *.PrjScr).
1. Проект печатной платы (PCB Project. Документы проекта объединяются оболочкой с именем файла: *.PrjPcb).

В графическом схемном редакторе на основе библиотек компонентной базы строится электрическая принципиальная схема, проводится схемотехническое моделирование [11].

Описание схемы передается в графический редактор печатной платы, в котором каждый компонент представляется как посадочное место (корпус), а линии связи на схеме преобразуются в соединительные металлизированные проводники от вывода к выводу.

- строится контур печатной платы,
- задается число и свойства слоев печати,
- правила выполнения трассировки (ширины проводников и зазоры), выполняется импорт описания схемы,
- размещение компонентов на монтажном пространстве,
- трассировка печатного монтажа,
- формируются стандартные файлы выходных данных для изготовления печатной платы, сборки и монтажа функционального узла.

2. Проект ПЛИС (FPGA Project. Имя файла оболочки проекта: *.PrjFpg).

Разработка начинается с формирования схемного или HDL-описания логики проектируемого устройства. В проект вводятся файлы, в которых содержатся ограничения, связанные с выбором семейства и типа ПЛИС, определяется коммутация входов и выходов логических сигналов на выводы выбранной ПЛИС, задаются требования к рабочей частоте, подключению внешних тактовых сигналов и т.п. [10, 12].

Заданная логика компилируется в комбинации логических ячеек нижнего уровня внутренней структуры ПЛИС. Результаты логического синтеза выдаются в виде описания в конструкциях языка обменного формата EDIF (Electronic Design Interchange Format – формат определяется семантическими и синтаксическими правилами для обмена информацией электронных проектов. При экспорте в EDIF получается графический файл всего проекта целиком с расширением. EDF).

Данные EDIF-формата передаются в специализированные САПР производителя выбранного семейства ПЛИС, в которой программируется коммутация логических ячеек и блоков внутренней структуры ПЛИС и вывод логических сигналов на физические контакты выбранной микросхемы. Вырабатываются управляющие

файлы для программирования ПЛИС в аппаратуре пользователя или на специальном программаторе [13]. В результате микросхема ПЛИС может быть запрограммирована и протестирована на стенде.

Завершающей стадией реализации такого проекта является исполнение всего такого устройства в виде ячейки (модуля) на печатной плате, т.е. выполнение проекта печатной платы, на которой ПЛИС выступает как обычный компонент, наравне с остальными.

3. Интегрированная библиотека (Integrated Library. Файл оболочки: *.LibPkg. Файл библиотеки: *.IntLib).

В редакторе библиотек формируются [10]:

- наборы схемных символов (УГО) электрорадиокомпонентов,
- ссылки на модели компонента.

В качестве модели выступает топологическое посадочное место (ТПМ), а также формируемые в среде редактора библиотек, модели:

- для схемотехнического моделирования,
- для анализа целостности сигнала – расщепления фронтов логических сигналов в быстродействующих устройствах за счет отражений от концов печатного проводника,
- трехмерные геометрические модели компонентов.

Файлы описаний моделей, либо ссылки с указанием пути к ним, включаются в структуру библиотечного пакета *.LibPkg.

После этого выполняется компиляция компонентов библиотечного пакета в единый файл интегрированной библиотеки.

4. Встроенный проект (Embedded Project. Имя файла оболочки: *.PrgEmb).

Это набор проектных документов, образующих программное приложение.

Исходный текст программы и/или подпрограмм формируется в конструкциях языка С и (или) Ассемблера, компилируется в объектные модули. Объектные файлы затем связываются в исполняемый модуль в машинном коде, готовый для загрузки в качестве исполняемого файла в выбранный процессор или микроконтроллер [14].

5. Проект ядра (Core Project. Имя файла оболочки: *.PrjCor).

По существу, это первая половина ПЛИС-проекта, заканчивающаяся формированием графического схемного символа и описания логики в формате EDIF.

6. Скрипт-проект (Script Project. Файл: *.PrjScr).

Программирование в среде Altium Designer, имеющее целью модификацию объектов в других открытых проектах. Для управления используется интерфейс программирования приложений API (DXP Application Programming Interface), в котором для выполнения проектных процедур используются специализированные командные языки (например, SQL или Tcl).

Наиболее популярной и востребованной САПР печатных плат, имеющей возможность работы в 3D-пространстве, является система Altium Designer, так как она одна из немногих САПР печатных плат, которая позволяет инструментальными средствами системы проектировать 3D-модели простой формы: конструктива платы, корпусов электронных компонентов (разъемов, средств индикации, трансформаторов, кнопок, переключателей), установочных изделий, а также создавать видео с 3D-объектами, которое в дальнейшем можно применять для создания презентаций и роликов [15]. В процессе проектирования в системе Altium Designer можно получить габаритные и детализированные 3D-модели печатных узлов, с помощью инструментальных средств системы и посредством импорта данных из сторонних САПР соответственно.

Рассмотрим современные программные обеспечения отечественного производства, применяемое в области приборостроения и электроники.

КОМПАС-3D V20: Приборостроение – это комплект, решающий задачи проектирования всевозможных электроприборов и устройств, таких как системы сигнализации и управления, частотные преобразователи, датчики, логические модули и кабельные системы и т.д. [15]. Это необходимые и полнофункциональные наборы специализированных приложений, объединенных одной идеей автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры и электрооборудования.

В зависимости от задач приложения позволяют: конвертировать 3D-модели печатных плат, разработанных в сторонних EСAD-системах, создавать и редактировать модели печатных плат, разрабатывать принципиальные схемы и выпускать проектную документацию, проектировать кабели и жгуты, заниматься пространственной компоновкой частей радиоэлектронной аппаратуры [8].

В КОМПАС-3D для задания формы объемных элементов выполняется такое перемещение плоской фигуры в пространстве, след от которого определяет форму элемента.

При этом доступны следующие типы операций [10]:

1. Вращение эскиза вокруг оси, лежащей в плоскости эскиза,
2. Выдавливание эскиза в направлении, перпендикулярном плоскости эскиза,
3. Кинематическая операция – перемещение эскиза вдоль указанной направляющей.

SimInTech – система автоматизированного проектирования логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений, а также описываемых в виде расчетных схем для расчетных кодов термогидродинамических и электромеханических процессов [7].

Для SimInTech созданы и разрабатываются модули расширения (рисунок 5.1), позволяющие создавать модели (рисунок 5.2) на базе специализированных расчетных кодов и интегрировать их в комплексные модели и проекты [7].

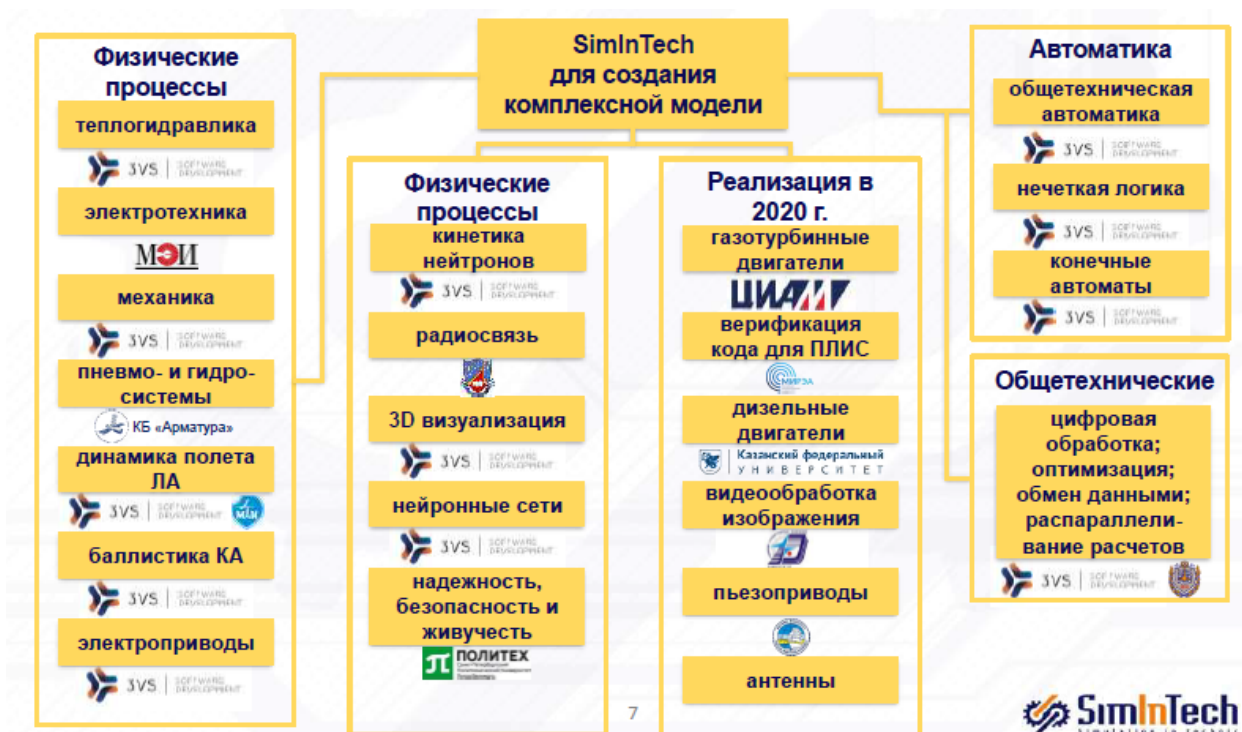


Рисунок 5.1 – Библиотеки моделирования SimInTech

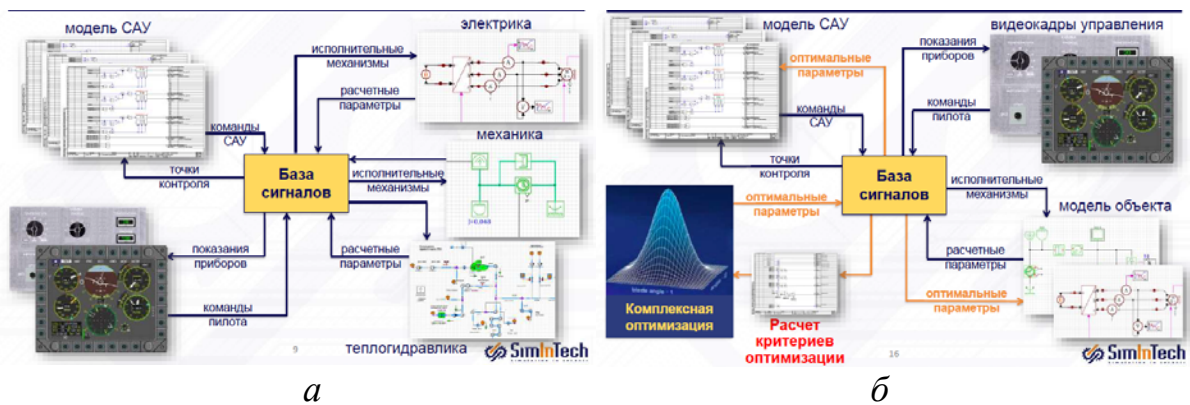


Рисунок 5.2 – Модель объекта в SimInTech:
а – комплексная, *б* – оптимизации

Областями применения SimInTech являются [16]:

- проектирование автоматических регуляторов.
- проектирование алгоритмов логико-дискретного и функционально-группового управления.
- проектное расчетное обоснование алгоритмов автоматизированных систем управления технологическими процессами.
- программно-инструментальное средство разработки и функционирования модели АСУ ТП в составе полномасштабной модели объекта управления.

К основным функциональным возможностям SimInTech относятся:

- универсальная модульная графическая оболочка, позволяющая реализовать возможность подключения сторонних модулей и создания расчетных схем различного класса и уровня сложности, в сочетании с возможностью создания видеокадров (виртуальных пультов управления) для отображения и управления расчетом или моделью.
- возможность моделирования систем различного типа в рамках единой оболочки с обменом данными между различными расчетными программами через единую базу сигналов и синхронизацией.
- моделирование и анализ систем управления.
- генерация кода для исполнительной системы.
- возможность удаленной отладки программ, собранных на целевой системе по сгенерированному коду, с выводом данных непосредственно на исходную схему алгоритма.

SimInTech реализует несколько режимов работы, основными из которых являются – создание расчетной схемы, моделирование, анализ результатов на графиках, оптимизация тех или иных параметров схемы, создание видеокадров (панелей управления), сетевой расчет на нескольких вычислительных узлах, генерация кода Си, удаленная отладка исполнения алгоритмов в аппаратуре, пакетный расчет нескольких проектов, в том числе и на нескольких вычислительных узлах. Также, доступна интеграция с большим количеством сторонних программ и аппаратных решений [13, 15].

Приведем некоторые особенности некоторых режимов работы:

Моделирование – режим работы, который обеспечивает:

– моделирование нестационарных процессов в непрерывных, дискретных и гибридных технических системах, в том числе и при наличии обмена данными (синхронный или асинхронный) с внешними программами и устройствами;

– редактирование параметров структурной схемы и расчета в режиме "on-line";

– расчет в реальном времени или в масштабированном модельном времени;

– рестарт, архивацию и воспроизведение результатов моделирования.

Оптимизация – позволяет решать задачи:

– параметрической оптимизации САУ и идентификации опытных данных;

– синтеза оптимальных регуляторов и оптимального управления в многокритериальной постановке при наличии ограничений на значения динамических переменных, управляющих воздействий, параметров элементов системы автоматического управления, функционалов качества [8].

Анализ – режим работы, который обеспечивает:

– расчет амплитудно-фазовых частотных характеристик для любой линейной и большинства нелинейных систем (ЛАХ, ФЧХ, различные годографы и др.);

– расчет коэффициентов, полюсов и нулей передаточных функций.

Контроль и управление – этот режим позволяет:

– создавать электронные (виртуальные) аналоги измерительных приборов и управляющих устройств – для оперативного контроля и управления переходными процессами в объекте моделирования;

– выполнять статистическую обработку сигналов (в том числе и внешних), основанную на быстром преобразовании Фурье.

Генерация кода – обеспечивает:

– автоматическое создание кода на языке Си или на языке промышленных контроллеров ST по набранным в SimInTech схемам алгоритмов;

– сборку расчетного модуля, загрузку его на целевую систему, отладку выполнения модуля (алгоритма) на внешней целевой системе;

– автоматизированную организацию межприборного обмена в случае программирования нескольких приборов одновременно.

SimInTech не имеет аналогов среди отечественного ПО [15]. За рубежом его аналогами являются такие программные продукты, как, например, Matlab/Simulink (MathWorks), Dymola (Dassault), AMESim (Siemens), SCADE (ANSYS), VisSim (Visual Solutions), SimulationX (ESI ITI GmbH), Simscape, Modelica, LabVIEW (National Instruments) и т.д.

Графическая часть с версии SimInTech 1.2, использует технологию Direct2D, минимально необходимой операционной системой для которой является Windows 7. Начиная с 2018 г., версии именуются как 1.уу.мм.дд, где уу – номер года, мм – месяц, дд – день выпуска данной версии. Разработчиком и распространителем системы является ООО «ЗВ Сервис», на сайтах которой www.simintech.ru и www.3v-services.com представлены подробные данные о системе и большой объем справочной информации.

5.2. Прототипирование печатных плат – обязательный этап проектирования

В области приборостроения пользователям доступно большое количество САПР: EDA (англ. electronic design automation) – САПР печатных плат; MCAD (англ. mechanical computer-aided design) – машиностроительные САПР; ECAD (англ. electrical computer-aided design) – электротехнические САПР [16].

САПР печатных плат – это группа программ, предназначенных для проектирования электронных устройств, интегральных схем, печатных узлов. САПР печатных плат представляет собой сложный комплекс программ, обеспечивающий сквозной цикл, начиная

с прорисовки принципиальной схемы и заканчивая генерацией управляющих файлов для изготовления фотошаблонов, сверления отверстий, сборки и электроконтроля. К наиболее популярным САПР печатных плат относятся: Altium Designer; PCB Design Studio; P-CAD; DipTrace; KiCad и многие другие [12].

Проведем обзор аддитивных технологий и 3d-моделирования с применением систем автоматического проектирования, таких как Altium Designer, DipTrace, и покажем процесс прототипирования печатных плат [12].

Реализация схем, печатных плат и ее 3D-моделирование в САПР DipTrace представлены на рисунках 5.3, 5.4.

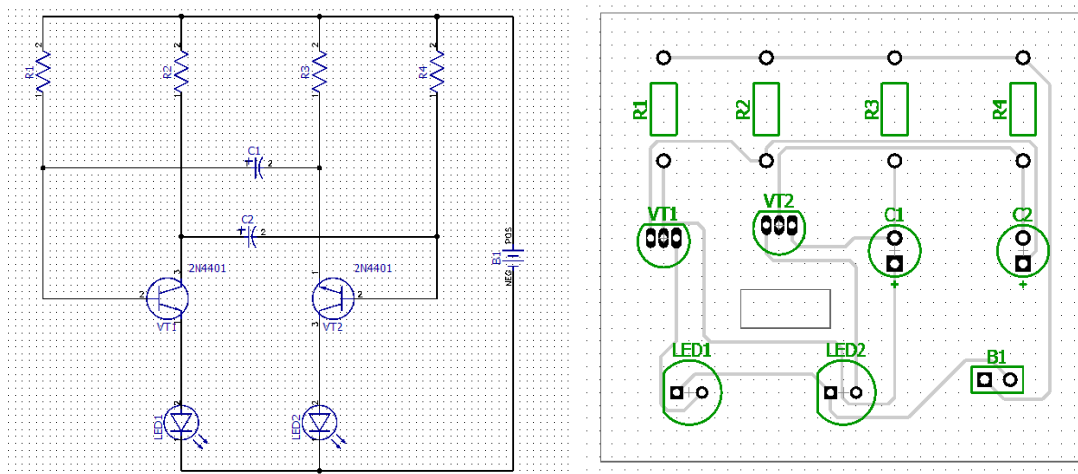


Рисунок 5.3 – Создание в DipTrace:
а – принципиальной схемы мультивибратора и на ее основе;
б – печатной платы

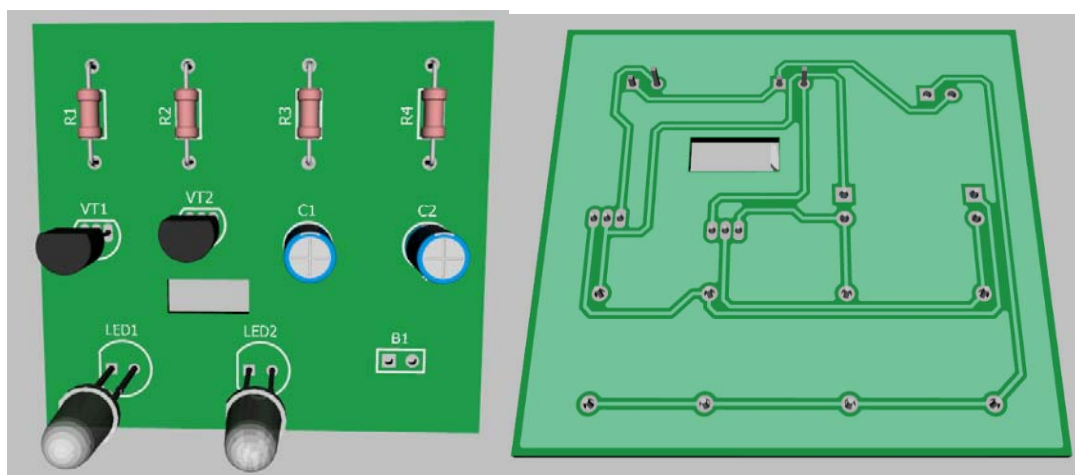


Рисунок 5.4 – 3D-предпросмотр платы созданной печатной платы

Реализация схем и печатных плат в САПР Altium Designer представлены на рисунках 5.5–5.7.

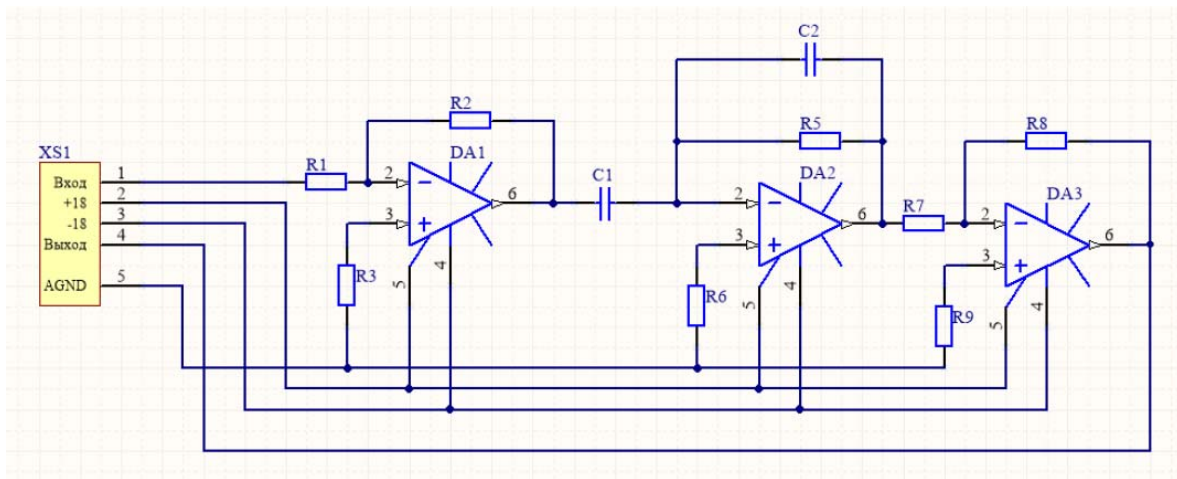


Рисунок 5.5 – Создание принципиальной схемы устройства с применением графического редактора Altium Designer Schematic

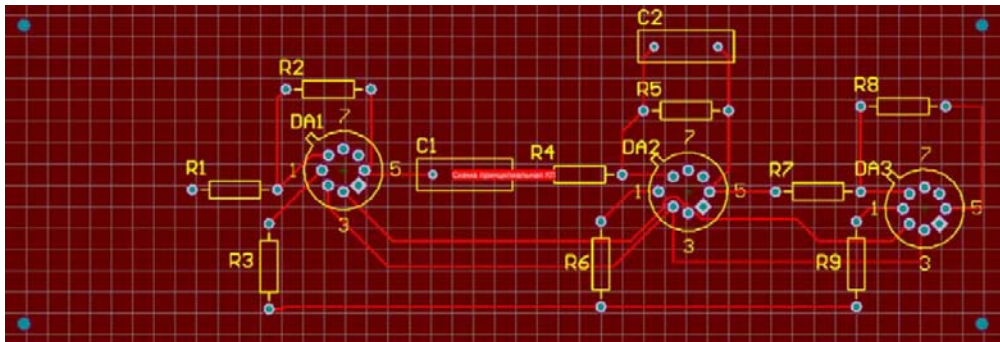


Рисунок 5.6 – Интерактивная трассировка печатной платы с применением графического редактора Altium Designer PCB

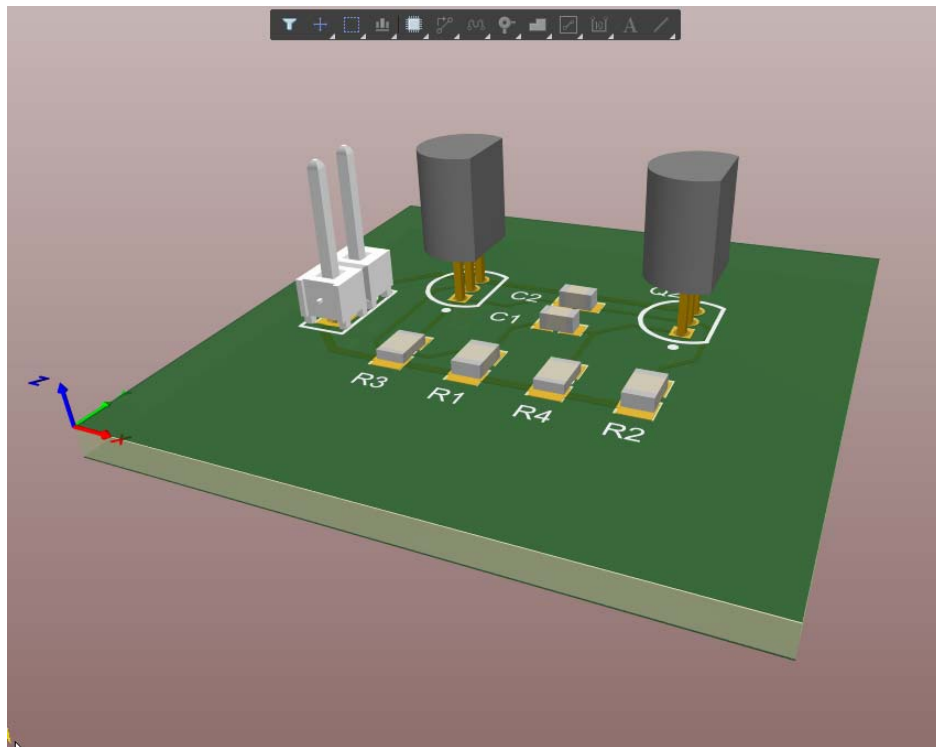


Рисунок 5.7 – 3D предпросмотр печатной платы

Процесс создания 3D-модели печатной платы в программе Компас-3D отображен на рисунке 5.8.

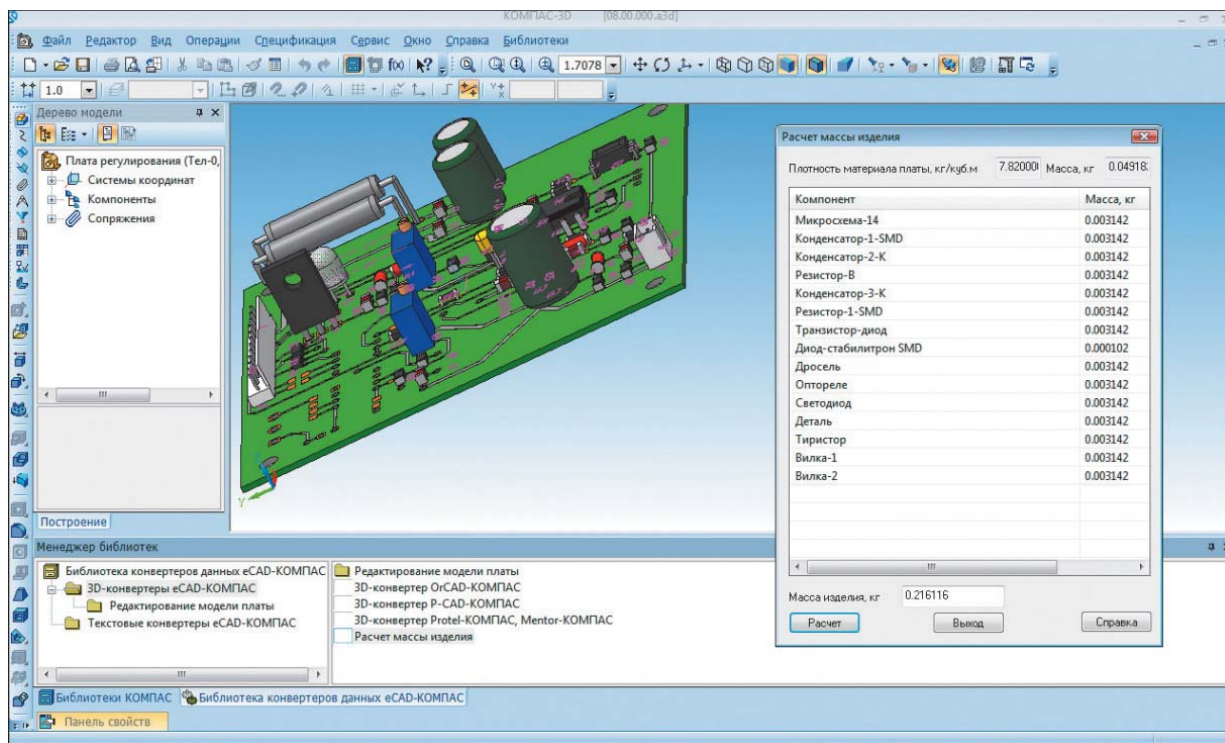


Рисунок 5.8 – Создание 3d-модели печатной платы в программе Компас-3D

5.3. Сравнительный анализ создания плат и их 3D-моделей в САПР Altium Designer и DipTrace

В результате анализа современного рынка САПР, согласно данным опроса российских пользователей САПР печатных плат, используемых для 3D-моделирования печатных узлов представим их предпочтения к САПР в процентном отношении на рисунке 5.9.

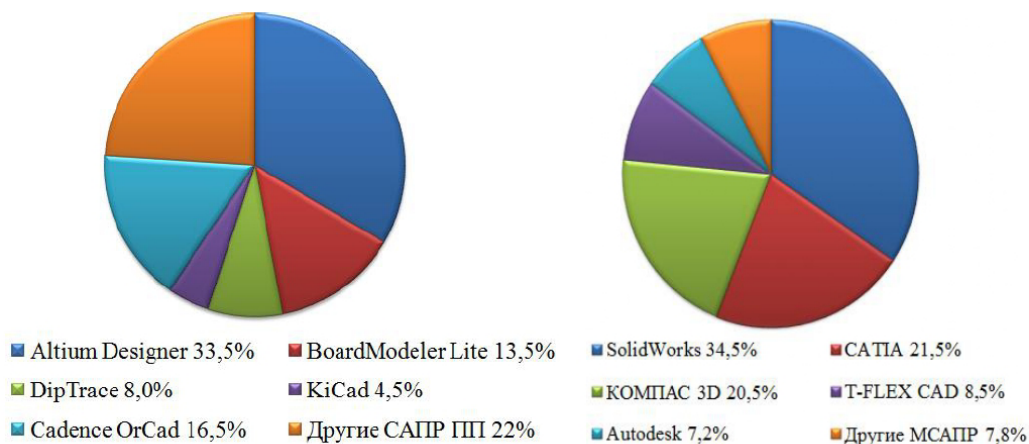


Рисунок 5.9 – Данные опроса российских пользователей САПР, проведенного на форуме electronix.ru

В результате анализа полученных данных видно, что наиболее популярной среди САПР печатных плат является система Altium Designer, а в области машиностроения наиболее популярными САПР – SolidWorks и Компас 3D [17].

Процесс разработки 3D-моделей печатных узлов в КОМПАС 3D включает следующие основные этапы: импорт данных из САПР печатных плат, генерация импортированного файла, формирование габаритной 3D-модели печатного узла, разработку детализированной 3D-модели печатного узла средствами САПР [15].

САПР печатных плат изначально разрабатывались как двухмерные системы. Так как требования к процессам конструирования и производства постоянно усложняются, разработчики вынуждены расширять возможности САПР, за счет возможности 3D-моделирования, но не все САПР печатных плат поддерживают данную возможность.

Большинство САПР печатных представляет собой сложный комплекс программ, обеспечивающий полный цикл проектирования, начиная с создания библиотеки электронных компонентов, прорисовки принципиальной схемы и заканчивая генерацией гербер-файлов для изготовления фотошаблонов, сверления отверстий, сборки и электроконтроля. Этапы проектирования установочных изделий, крепежных деталей, жестких кабелей и жгутов, инженерные расчеты (климатические, механические) в САПР печатных плат осуществлять в полном объеме невозможно и поэтому необходимо прибегать к помощи сторонних САПР. Большинство САПР печатных плат поддерживающих 3D-моделирование печатных узлов используют 3D вьюеры (3D Viewer) системы трехмерной визуализации, позволяющие просматривать изображения 3D-моделей. К САПР печатных плат поддерживающим возможность 3D-моделирования относятся такие системы как: Altium Designer, DipTrace, KiCad, Компас и другие [10].

Наглядность 3D моделирования в процессе проектирования позволяет выявлять недочеты, которые можно устранить до сборки физического образца. Таким образом, внедрение программных продуктов в производство для реализации 3D-моделирования приводит к сокращению времени реализации проекта, повышает уровень коммуникации с заказчиком и улучшает взаимодействие между отделами, приводит к сокращению себестоимости изделий, к конкурентоспособности предприятия [18].

КЕЙС-ЗАДАНИЕ

Цель работы: ознакомиться с функциональными возможностями программы DipTrace и разобрать базовые примеры их реализации на практике, научиться создавать принципиальную схему, провести преобразование в печатную плату, провести трассировку данной платы, изучить виды проверок на ошибки и научиться создавать компоненты на примере корпуса SOIC-28 и микроконтроллера PIC18F24K20.

Практическая часть:

1. В программе DipTrace создать принципиальную схему мультивибратора согласно рисунку 1. Для этого необходимо выбирать библиотеку Fairchild из группы «Польз. Компоненты», установить выбранный компонент в области построения, создать связи, то есть вывод №1 резистора R1 с базой транзистора VT1 (вывод №2), зеркально отобразить транзистор VT2, подсоединить R4 к базе VT2, R2 к коллектору VT1 и R3 к коллектору VT2.

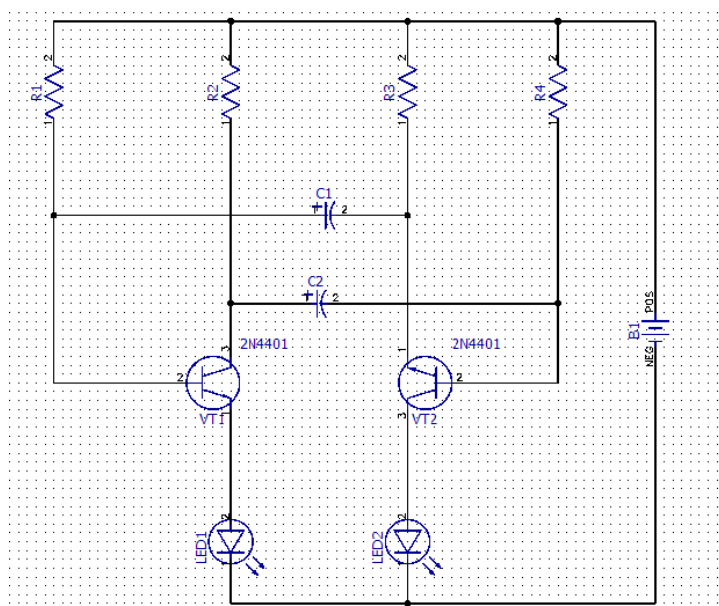


Рисунок 1 – Принципиальная схема мультивибратора

Проведем работу над созданием технической документации в программе DipTrace - разместим созданную принципиальную схему мультивибратора в рамку со штампом согласно рисунку 2.

Для создания нового штампа нажимаем кнопку «Добавить» и выбираем новый появившийся штамп в списке.

После этого в поля «Ширина» и «Высота» вносим соответствующие размеры штампа, указываем количество ячеек по ширине и по высоте. Потом нажимаем кнопку «Создать».

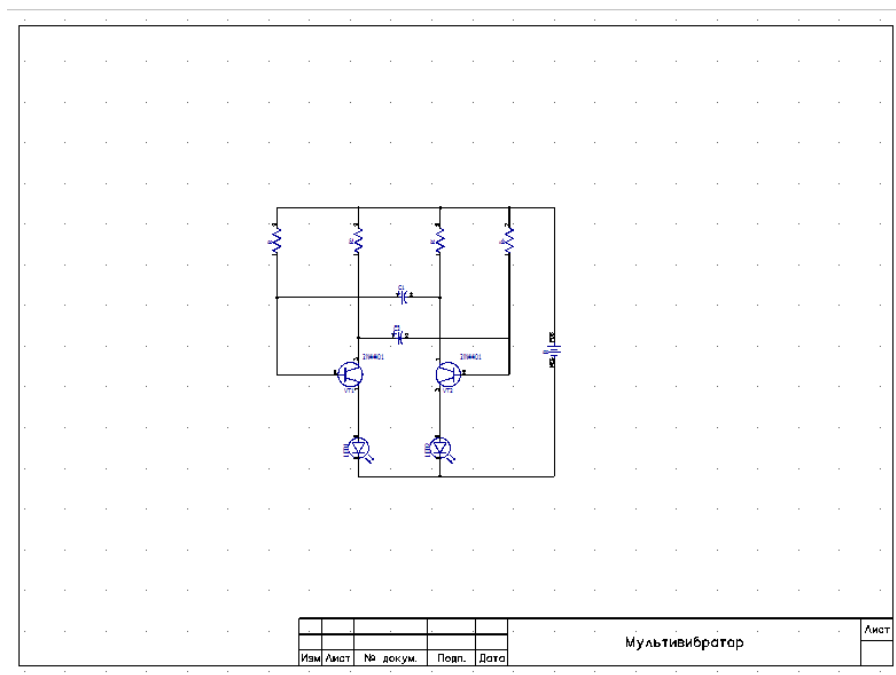


Рисунок 2 – Создание штампа

2. Преобразуем принципиальную схему в печатную плату, при этом проведем ручное позиционирование корпусов: резисторы расположим сверху, а светодиоды снизу согласно рисунку 3.

Сохраненные файлы Схемотехники DipTrace (*.dch) открываем в Редакторе Плат PCB Layout или выбираем «Файл/Преобразовать в плату» из главного меню Схемотехники.

Перед маркировкой компонентов убеждаемся, что метки компонентов отображаются в области построения, для этого выберите пункт «Вид / Надписи корпусов / Основная / Метки» из главного меню. Эта команда отобразит метки для всех корпусов компонентов на плате. Если расположение маркировки нам не подходит, выбираем пункт «Вид / Надписи корпусов / Основная / Выравнивание / По размерам» главного меню или выравниваем надписи другими режимами. Для изменения размера шрифта меток корпусов, выбираем «Вид / Надписи корпусов / Шрифт / 5 pt».

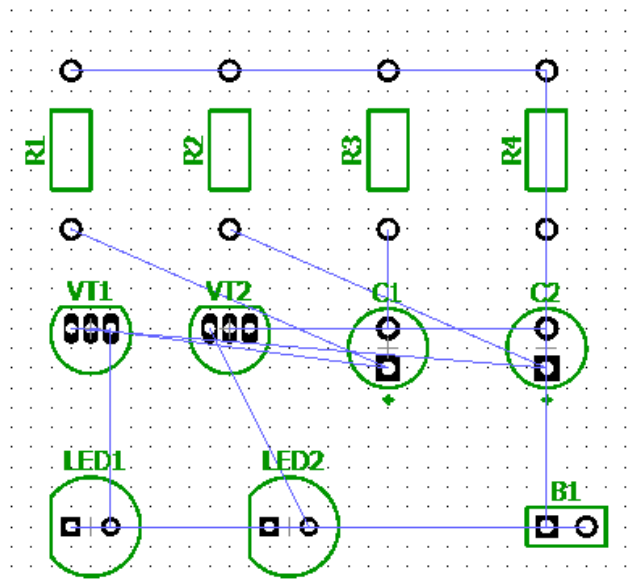


Рисунок 3 – Маркировка компонентов

Зададим границы платы согласно рисунку 4. Выбираем «Объекты / Границы платы» из главного меню, затем задаем углы платы и для завершения полигона и выбираем Ввод из подменю. Для данного проекта нам потребуется прямоугольная или квадратная плата размером около 5 см.

Создадим прямоугольный вырез в плате между светодиодами и транзисторами. Проведем автоматическую трассировку платы. Поскольку проект не отличается сложностью, то автоматической трассировки достаточно для такого проекта. Ручная трассировка платы может привести к возникновению большого количества потенциальных ошибок.

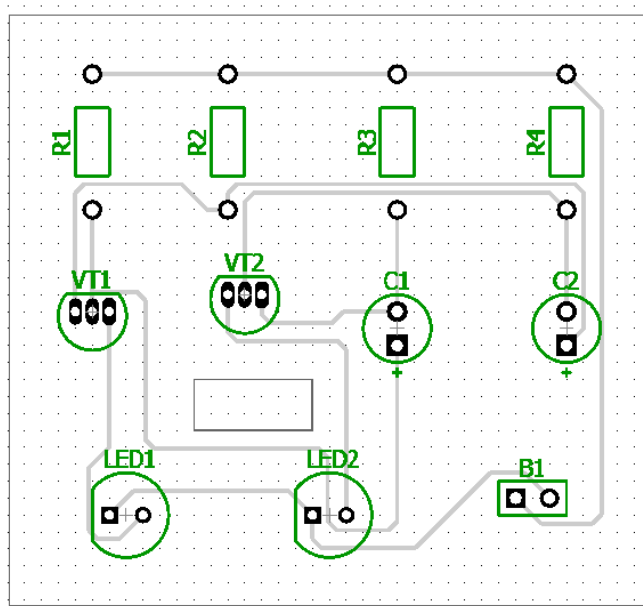


Рисунок 4 – Печатная плата

3. Проведем проверку на ошибки. Для этого автоматически после трассировки запускается проверка DRC – она работает в двух режимах «в реальном времени» и «обычный», и проверяет размеры объектов и зазоры между ними, а также следит за соблюдением параметров длины и фазами высокоскоростных сигналов в соответствии с правилами, которые определяет пользователь. Все нарушения отображаются в появляющемся списке, а также отмечаются прямо в области построения кружочками красного.

В случае, если ошибок не обнаружено, то выводится соответствующее сообщение, как на рисунке 5.

Также в системе автоматизированного проектирования DipTrace, кроме проверки трассировки (DRC), существуют проверка целостности сетей и сравнение платы со схемой. Проверка целостности сетей проверяет, все ли сети проекта правильно соединены, выводит список несоединенных или замкнутых сетей.

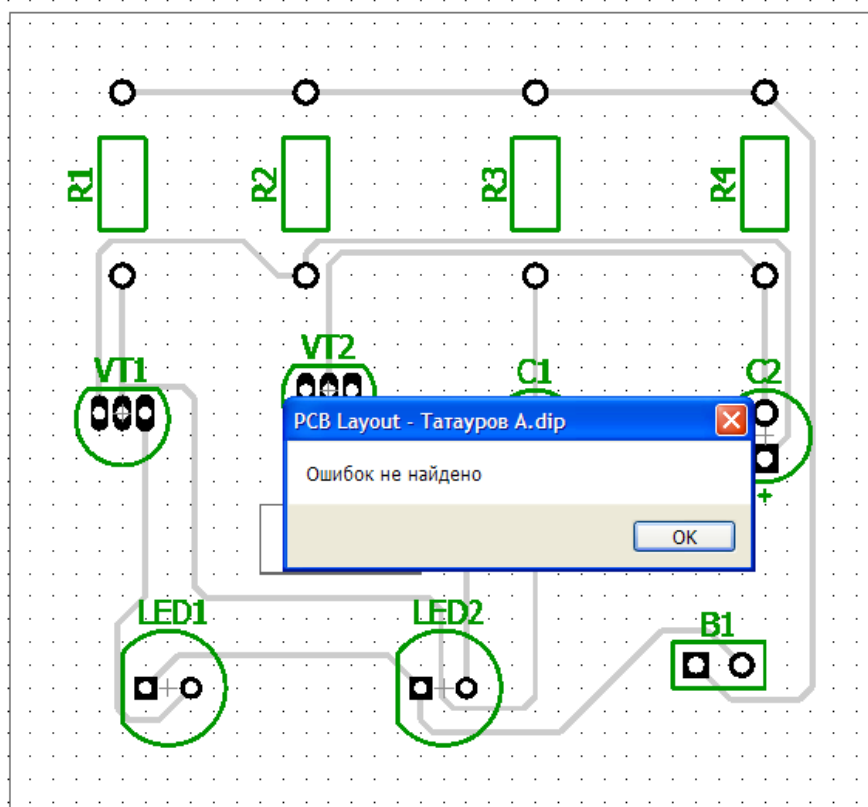


Рисунок 5 – Проверка на ошибки DRC

4. Создадим заливку печатной платы. В качестве примера приведена медная заливка согласно рисунку 6, использующаяся на

платах в качестве низкоимпедансного проводника для сетей земли и питания.

Зачастую заливки располагаются на внутренних слоях платы, но могут быть и на верхнем или нижнем слое. DipTrace позволяет создавать медную заливку для плат любого размера.

Для начала устанавливаем размер сетки 0,025 дюйма. Выбираем нижний слой, затем «Объекты / Заливка пустых областей» в главном меню или нажимаем на кнопку на «Панели объектов». Рисуем полигон заливки на плате. Нужно создать заливку, которая покроет всю поверхность платы. Можно нарисовать ее вручную или же создать изначально полигон любой формы и потом, с помощью специальной функции «По границам платы», покрыть всю поверхность.

В диалоговом окне создания заливки есть три закладки: Заливка, Соединения и Граница.

Заливка – выбрать тип заливки, установить зазоры, ширину линий, зазоры между линиями, опции по удалению островков, параметры приоритета и состояния. Можно применить параметр «зазора класса сетей» как зазор заливки с помощью соответствующей галочки. DipTrace имеет бессеточную систему создания заливки. Область металлизации формируется из линий фиксированной ширины. Параметр «Между линиями» используется если выбрана заливка нецельного типа.

Соединения – подключить заливку к какой-либо сети проекта, установить типы термобарьеров для компонентов поверхностного монтажа и монтажа в отверстия. Параметр «Скрывать связи» может автоматически показывать синие линии связей только если нет электрического контакта, или другое.

Граница – установить или изменить точки границ полигона заливки. Опция «По границам платы» помогает экономить время, создавая полигон заливки на всю плату. Если активна опция «Сохранить привязку», то полигон заливки будет изменяться при изменении границ платы. Поставьте галочку «По границам платы», другие параметры указываем, как на рисунке и нажмите «ОК» чтобы применить их и создать заливку.

В программе DipTrace можно выставить приоритет заливки. Для этого необходимо во вкладке «Заливка» в поле приоритета ввести значение «1». Можно ввести любое значение, в зависимости от

количества заливок, которое планируется в одном слое. Чем ниже значение, тем больше приоритет этой заливки, т.е. заливка со значением «0» будет иметь более высокий приоритет, а со значением «1» – более низкий.

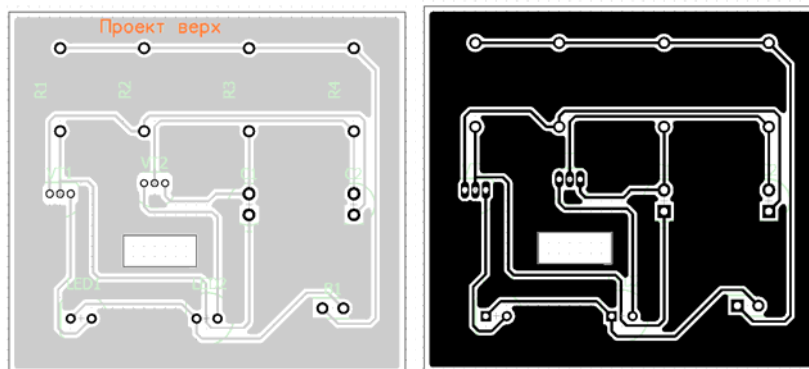


Рисунок 6 – Заливка платы

Все слои печатной платы делятся на два основных типа: сигнальные и не сигнальные. Сигнальные – это основные слои – верхний и нижний. Они делятся на непосредственно сигнальные и экранные слои, первые содержат дорожки и иногда медные заливки, на экранных слоях помещают один или несколько полигонов медной заливки. Графика, маркировка, маска и паста – стандартные не сигнальные слои. Например, маркировка – это слои, куда автоматически добавляется маркировка компонентов и другая графическая информация; паста и маски – слои, указывающие производителю, где нужно печатать маску и где наносить припой.

Рассмотрим вопрос межслойных переходов. Они делятся на динамические и статические. Обычные (динамические переходы) межслойные переходы появляются автоматически при переводе трассы в другой слой. Статические переходы похожи на обычные контактные площадки и имеют больший функционал, чем обычные. Динамикой переход можно преобразовать в статический и обратно. Если изначально выбран статический переход, то преобразовать его в динамический нельзя.

5. Перейдем к вопросу создания 3D-модели печатной платы, как на рисунке 7. В программе Редактор плат PCB Layout есть встроенный модуль 3D визуализации с возможностью экспорта трехмерной модели платы в STEP и VRML форматы. В Редакторе плат нажимаем «Файл / Открыть» в главном меню, а затем выбираем файл «Документы\DipTrace\Examples\PCB_6.dip». Нажимаем на

Стандартной панели или выбираем «Инструменты / 3D-Предпросмотр / 3D-Визуализация» из главного меню.

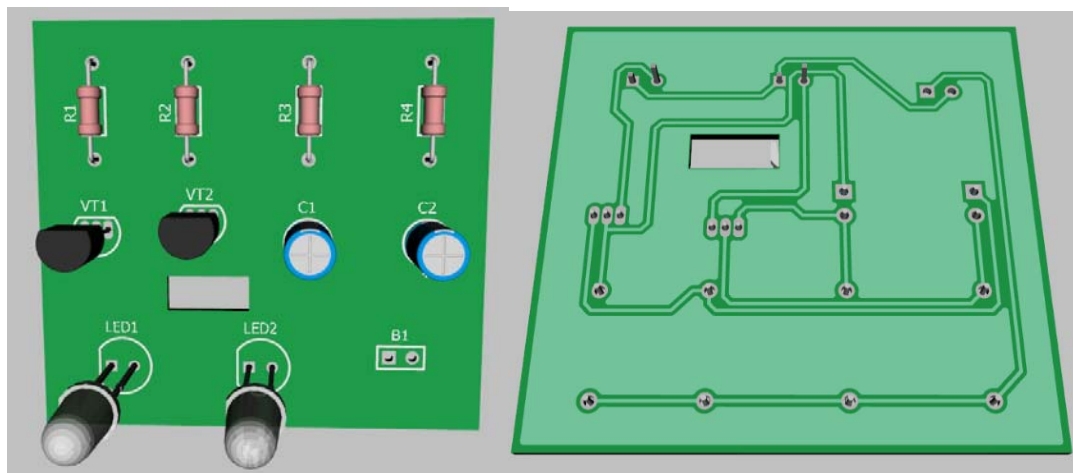


Рисунок 7 – 3D предпросмотр платы

6. Создадим компонент

6.1. Корпус SOIC-28 согласно рисунку 8, который используется в качестве корпусов для микроконтроллера и микропроцессора.

В окне свойства компонентов зададим стиль и количество выводов, а также укажем параметры контактных площадок.

Добавляем новый корпус в библиотеку («Корпус/Добавить в библиотеку» из главного меню), затем вводим его имя "SOIC-28" и метку "IC". Выбираем Стиль: Линии и Кол-во выводов: 28 на панели Свойства корпуса.

На плате: Поверхностные, Форма: Прямоугольник, Ширина: 0.6, Высота 2 и нажмите ОК. Затем укажите: Между линиями: 9.4. Между выводами: 1.27 на панели свойств корпуса (все размеры в mm).

Для того чтобы нарисовать дугу, выбираем Дуга на Панели рисования. Нажимаем левой кнопкой мыши, чтобы обозначить ее первую точку, затем кликаем на второй точке, чтобы обозначить ее вершину, а затем кликаем, чтобы завершить рисование дуги. «Даташит» требует, чтобы корпус был ориентирован вертикально, поэтому выбираем «Правка / Вращать корпус» с главного меню.

Подключим 3D модель soic-28_300mil.step из библиотеки_General к корпусу, как показано на рисунке 9. Сохраняем библиотеку и закрываем Редактор Корпусов.

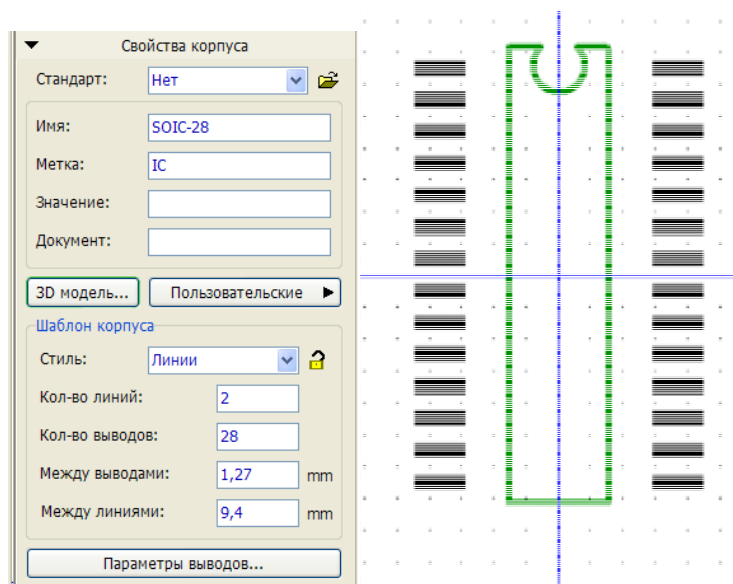


Рисунок 8 – Создание корпуса

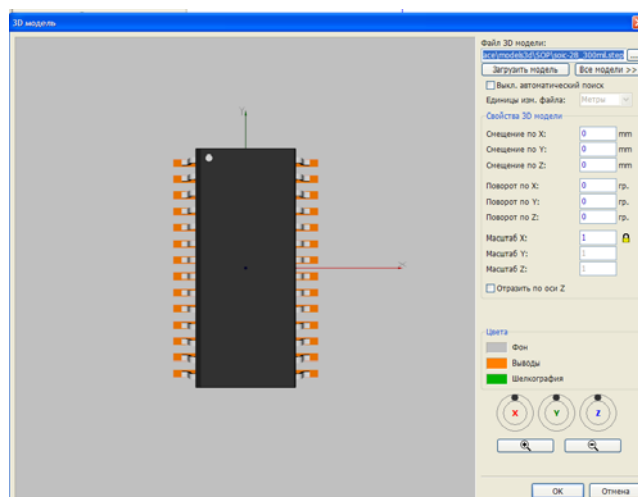


Рисунок 9 – 3Dмодель корпуса

6.2. Создание микроконтроллера PIC18F24K20 согласно рисунку 10.

Открываем сайт Microchip, находим компонент PIC18F24K20 и выбираем Datasheets, там находим документацию к указанной микросхеме. Открываем страницу Pin Diagrams, первая диаграмма – то что нам нужно. Теперь вернемся к Редактору Компонентов и добавим новый компонент.

Установим: Стиль: 2 сторонняя микросхема, Выводов слева: 14, Выводов справа: 14, вводим название и метку.

На панели «Свойств компонента» меняем ширину на 1.9 и высоту на 2 дюйма Большая высота символа компонента необходима,

чтобы сгруппировать выводы и расположить их вдоль прямоугольника.

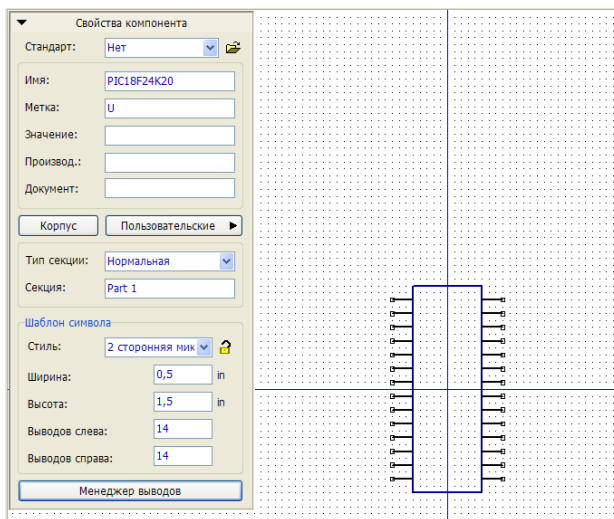


Рисунок 10 – Создание микроконтроллера

В менеджере выводов введем имена выводов, используя информацию из «даташита», там же укажем электрический тип для выводов питания.

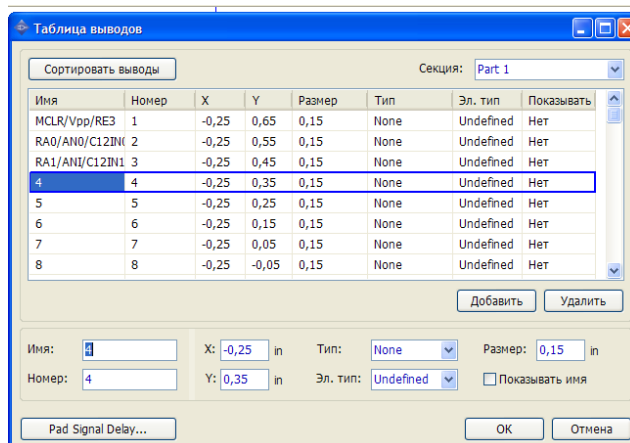


Рисунок 11 – Свойства компонента

Изменим ширину и высоту компонента согласно рисунку 12. Автоматическая сортировка выводов по шинам: нам нужно объединить выводы по логическим группам (шинам), выбираем «Компонент/Сгруппировать выводы по шинам» из главного меню. По умолчанию выбран только «/», но этого достаточно для данного компонента. Нажимаем «Извлечь» и появится список найденных шин а также количество выводов в них. Мы выберем три шины – RA, RB и RC. Вводим 1.3 в поле Расстояние между шинами, поскольку имена выводов длинные.

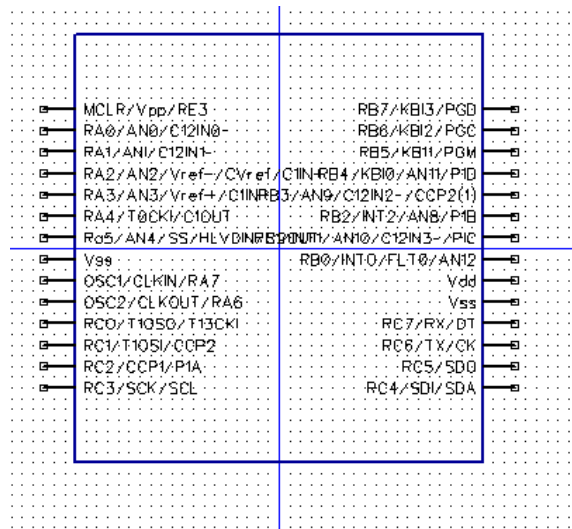


Рисунок 12 – Микроконтроллер PIC18F24K20

Выполним автоматическую сортировку по шинам и подключим к корпусу SOIC-28, как показано на рисунке 13. Корпус на панели Свойств корпуса и выбираем Польз. Корпуса (User Patterns) в списке Библиотеки корпусов. Затем выбираем библиотеку «Мои Корпуса» и в ней выбираем корпус SOIC-28, нажимаем ОК.

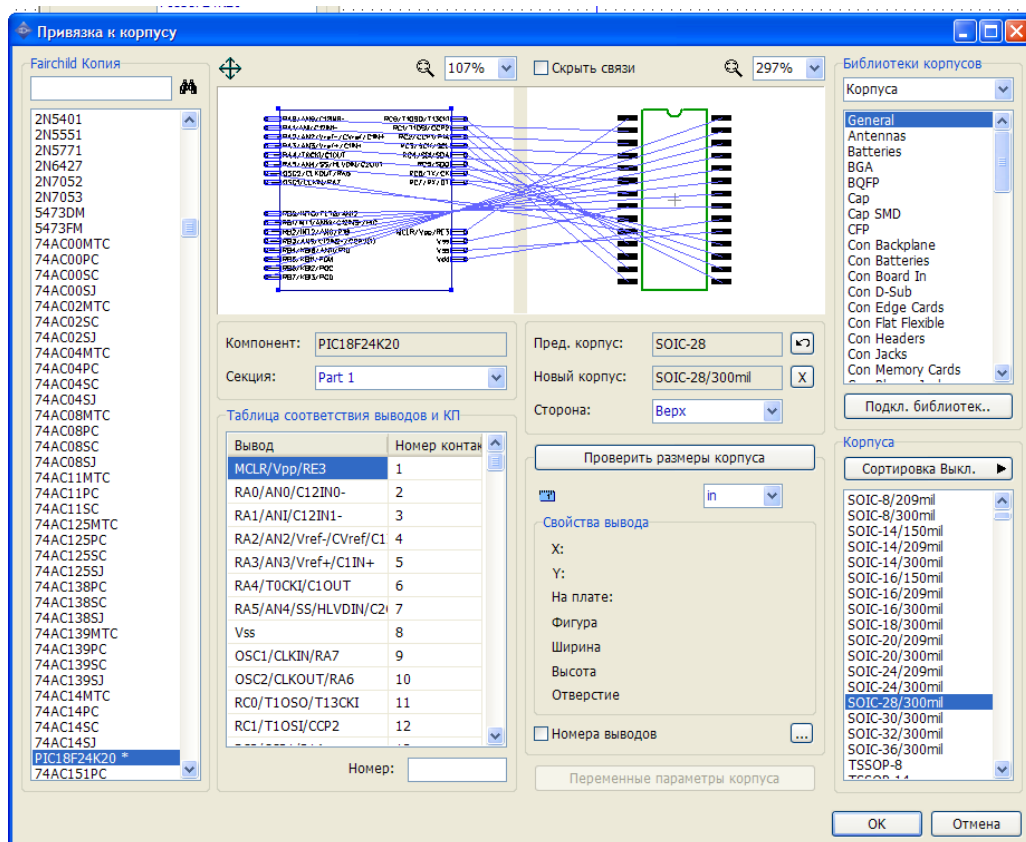


Рисунок 13 – Подключение микроконтроллера к корпусу

В отличие от микропроцессора, все опорные устройства, такие как ПЗУ, ОЗУ, таймер, интерфейсы и порты ввода/вывода располагаются на одном кристалле.

Финальным этапом задания является сохранение работы, чтобы сохранить все измененные файлы.

Вы прошли весь процесс проектирования в DipTrace на примере простого проекта, через все основные этапы создания электронной печатной платы, научились создавать принципиальную схему, печатную плату и просматривать ее 3D-модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Перспективы и актуальные проблемы цифровизации в приборостроении и электронике

1. Умное производство в электронной промышленности: электронный ресурс // оф. сайт Siemens Digital Industries Software. URL: https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/ru/Siemens-PLM-Smart-manufacturing-for-electronics-RU-wp-76696-A2_tcm52-57411.pdf (дата обращения: 17.11.2021)
2. Подтверждение соответствия // оф. сайт Росстандарт. URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/compliance> (дата обращения: 18.11.2021)
3. PLM Эксперт // оф. сайт Siemens Digital Industries Software. URL: https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/ru_ru/plm-expert-september-2020_tcm66-87995.pdf (дата обращения: 17.11.2021)
4. Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий // оф. сайт Сколково. URL: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf (дата обращения: 17.11.2021)
5. Промышленные технологии и инновации : учеб. пособие / Ю. В. Плохих и др. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017.
6. Грибанов Ю. И. Цифровая трансформация социально-экономических систем на основе развития института сервисной интеграции: дисс. ... д-ра экон. наук. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», 2019.

Новые производственные технологии

1. Экспертное мнение. Что такое цифровое производство? // Управление производством. URL: https://up-pro.ru/library/information_systems/automation_production/digital-expert1/ (дата обращения: 17.11.2021)
2. Ключев С. Цифровой завод: 5 эффективных решений на производстве URL: <https://rb.ru/opinion/cifrovoj-zavod/> (дата обращения: 17.11.2021)

3. Технология цифровых двойников // Умный дом. URL: <https://future2day.ru/tehnologiya-cifrovux-dvojnikov/> (дата обращения: 17.11.2021)

4. Управление жизненным циклом изделия (концепция PLM) // PLM Урал URL: <https://www.plm-ural.ru/resheniya/upravlenie-zhiznennym-ciklom-izdeliya-konceptsiya-plm> (дата обращения: 17.11.2021)

5. MES-системы: назначение и возможности // Технологика. URL: <https://ivctl.ru/o-kompanii/blog/mes-sistemy/> (дата обращения: 17.11.2021)

6. Enterprise Resource Planning, ERP // Технологии и концепции Industry 4.0. URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/enterprise-resource-planning-erp> (дата обращения: 17.11.2021)

7. Что такое ERP–система и ее функции планирования на предприятии // Компьютерный мир. URL: <http://we-it.net/index.php/planirovanie-resursov-predpriyatiya-erp/171-chto-takoe-erp-sistema-i-ee-funktsii-planirovaniya-na-predpriyatii> (дата обращения: 17.11.2021)

8. В России утвержден первый в мире стандарт в области цифровых двойников изделий // официальный сайт «РОССТАНДАРТ». URL: [https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/presscenter/news/newsRST/redirect/news/1/5241?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNs_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVVOZXdzVmllldwACaWQAAAABAAQ4MzM5AAdfX0VPRi9f#:~:text=ГОСТ%203%2057700.37-2021%](https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/presscenter/news/newsRST/redirect/news/1/5241?portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16&navigationalstate=JBPNs_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVVOZXdzVmllldwACaWQAAAABAAQ4MzM5AAdfX0VPRi9f#:~:text=ГОСТ%203%2057700.37-2021%20) (дата обращения 17.11.2021)

Системы связи интеллектуальных датчиков и приборов в единую сеть, беспроводная передача данных

1. Управление данными в технических системах: учеб. пособие / С. А. Темербаев и др. Красноярск: СФУ, 2018. 192 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/117790> (дата обращения: 05.03.2020).

2. Технологии современных беспроводных сетей Wi-Fi : учеб. пособие / Е. В. Смирнова и др.; под общ. ред. А. В. Пролетарского. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 446 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/106534> (дата обращения: 05.03.2020)

3. Сергеев А. Н. Основы локальных компьютерных сетей: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2016. 184 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/87591> (дата обращения: 05.03.2020)
4. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с английского М. А. Райтман. М.: ДМК Пресс, 2019. 454 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/112923> (дата обращения: 05.03.2020).
5. Кутузов О. И. Татарникова Т. М., Цехановский В. В. Инфокоммуникационные системы и сети: учебник / СПб.: Лань, 2020. 244 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/136177> (дата обращения: 05.03.2020)

Аддитивные технологии и 3D-моделирование

1. Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD) // оф. сайт «Поинт». URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya> (дата обращения: 20.11.2021)
2. Компас 3D // оф. сайт «Компас». URL: <https://ascon.ru/products/7/review/> (дата обращения: 20.11.2021)
3. САПР и 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ // оф. сайт «Syscode». URL: <https://syscode.ru/programmnoe-obespechenie/sapr-i-3d-modelirovanie> (дата обращения: 19.11.2021)
4. Altium Designer // оф. сайт «Tadviser». URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Altium_Designer (дата обращения: 23.11.2021)
5. Среда динамического моделирования SimInTech // оф. сайт «SimInTech». URL: <https://simintech.ru/> (дата обращения: 25.11.2021)
6. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. ГОСТ 34.003–90.
7. Щипачев А., Письмеров К., Мамедов И. Методологические основы внедрения систем автоматизированного проектирования // САПР и графика. М.: КомпьютерПресс, 2010. № 11. С. 82–84.
8. BBC News technology. Engineers pioneer use of 3D printer to create new bones. URL: <http://www.bbc.co.uk/news/technology-15963467> (дата обращения: 20.11.2021)

9. Андрейченко Д. К. и др. О реализации конечно-элементного моделирования в задачах остеосинтеза на кластерных системах СГУ // Математика. Механика. Информатика: Изд. Саратовского гос. университета. Саратов. 2010. № 3. С. 77–85.
10. Рынчаг В. Н., Уразбахтина Н. Г., Стыскин А. В. Технология производства электрооборудования. Уфа: УГАТУ, 2009. 188 с.
11. Сабунин А. Altium Designer 13.3: новые возможности // Электроника: наука, технология, бизнес. 2013. № 4. С. 138–141
12. Сабунин А. Программа Altium Designer 14 – новые возможности для проектирования печатных плат // Электроника: наука, технология, бизнес. 2014. № 1. С. 138–150.
13. Сабунин А. Организация единой базы данных ЭРИ. Пример работы с Altium Designer // Электроника: наука, технология, бизнес. 2012. № 5. С. 160–164.
14. Щипачев А., Письмеров К., Мамедов И. Методологические основы внедрения систем автоматизированного проектирования // САПР и графика. М.: КомпьютерПресс, 2010. № 11. С. 82–84.
15. DipTrace. Руководство пользователя. URL: https://www.diptrace.com/books/tutorial_rus.pdf (дата обращения: 17.11.2021)
16. Билибин К. И., Власов А. И., Журавлева Л. В. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов / под общ. ред. В. А. Шахнова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 528 с.
17. Белоус М., Панишев А. КОМПАС-3D V15 Учебная версия // PC Magazine. 2014. № 10. С. 10.
18. Новиков И., Панишев А. КОМПАС-3D V15 // PC Magazine. 2014. № 5. С. 16.
19. Бурлов В. В., Привалов И. И., Ремонтова Л. В. Инженерная компьютерная графика в системе компас-3D: учеб.-метод. пособие. М.: ПензГТУ, 2014.