

*Имеет прямое отношение к национальной безопасности любого государства*

**ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ  
«САПР ЭЛЕКТРОНИКИ ВЫШЕ МИРОВОГО УРОВНЯ»**

**© Шалумов Александр Славович, 2020**

Настоящий проект дорожной карты не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Шалумова Александра Славовича

## **СОДЕРЖАНИЕ**

- 1. Необходимость создания дорожной карты**
- 2. Основные термины в области САПР**
- 3. Основные задачи, решаемые САПР электроники**
- 4. Вспомогательные задачи в области применения САПР электроники**
- 5. Структура САПР электроники мирового уровня**
- 6. Структура САПР электроники выше мирового уровня**
- 7. Интегрированная база данных ЭКБ и конструкционных материалов**
- 8. Обучение**
- 9. Методики и стандарты**
- 10. Операционная система**
- 11. Офисные программы**
- 12. Уровень разработчиков**
- 13. Уровень руководителей**
- 14. Уровень пользователей**
- 15. Первоочередные шаги**
- 16. Финансирование и сроки**

## 1. Необходимость создания дорожной карты

1. Электроника применяется на всех жизненно важных объектах.
2. В мире участились катастрофы различных объектов, управляемых ненадёжной электроникой.
3. Электроника, создаваемая без сквозного автоматизированного проектирования с применением комплексного моделирования, обречена на низкую надёжность и отказы в процессе эксплуатации.
4. Существует дефицит кадров в области эксплуатации и разработки САПР электроники.
5. Существует дефицит средств на разработку САПР электроники.
6. Отсутствует структура САПР электроники выше мирового уровня.
7. Отсутствует интегрированная база данных параметров электронных компонентов и материалов
8. Отсутствует концепция привязки любых САПР электроники к любым операционным системам.
9. Отсутствует концепция привязки любых САПР электроники к любым офисным программам.
10. Отсутствует перечень требований к уровню разработчиков, руководителей и пользователей.
11. Отсутствует система обучения разработке и эксплуатации САПР электроники.
12. Отсутствуют стандарты по применению САПР электроники в процессе проектирования.
13. В мире отсутствуют дорожные карты по САПР электроники.

## 2. Основные термины в области САПР

**Система автоматизированного проектирования (САПР)** - организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации, и выполняющая автоматизированное проектирование.

САПР - это инструментарий проектировщика, включающий в себя 7 видов обеспечения:

- 1) техническое;
- 2) математическое;
- 3) лингвистическое;
- 4) программное;
- 5) информационное;
- 6) методическое;
- 7) организационное,

и предназначенный для автоматизации проектирования объектов на конкретном предприятии на всех этапах - от выдачи технического задания до передачи проекта заводу-изготовителю.

**Техническое обеспечение САПР** - совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих аппаратных средств ЭВМ – устройств ввода-вывода (дисплеев, принтеров, сканеров, графопостроителей и т.д.), на которых осуществляется автоматизированное проектирование.

**Математическое обеспечение САПР** - совокупность математических моделей, математических методов и алгоритмов, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

**Программное обеспечение САПР** - совокупность программ, описаний и инструкций, составленных на основе математического обеспечения и предназначенных для реализации проектных процедур на ЭВМ.

**Лингвистическое обеспечение САПР** - совокупность языков программирования, языков проектировщиков и правила формализации этих языков, представленных в форме, удобной для применения в составе САПР.

**Информационное обеспечение САПР** - совокупность сведений, представленных на машинных носителях информации, в том числе баз данных и баз знаний, содержащих нормативы, справочные данные, типовые проектные решения, закономерности и правила проектного процесса, которые необходимы для выполнения автоматизированного проектирования.

**Методическое обеспечение САПР** - совокупность документов, устанавливающих правила и инструкции по эксплуатации инструментов (подсистем) САПР.

**Организационное обеспечение САПР** - совокупность документов, устанавливающих организационную структуру САПР, формы и порядок прохождения проектных документов, изготавливаемых средствами САПР; порядок взаимодействия должностных лиц, подразделений САПР и отделов проектной организации.

**Автоматизированное проектирование** - проектирование, выполняемое при взаимодействии человека и ЭВМ.

**Проект** - совокупность проектных документов (схем, чертежей, пояснительных записок и пр.), в которых представлен результат проектирования, необходимый для создания объекта в заданных условиях.

**Проектирование** - процесс разработки проекта еще не существующего объекта на основе технического задания на проектирование, содержащего исходное первичное описание объекта и технические требования к нему.

**Модель** - аналог явления, сохраняющий существенные черты и служащий для его изучения.

**Математическая модель** - система математических соотношений, описывающих изучаемый объект (процесс, явление).

**Полная математическая модель** - модель, в которой фигурируют фазовые переменные, характеризующие состояния всех имеющихся межэлементных связей (т.е. состояния всех элементов проектируемого объекта).

**Макромодель** - математическая модель, в которой отображаются состояния значительно меньшего числа межэлементных связей, что соответствует описанию объекта при укрупненном выделении элементов.

- Понятия «полная ММ» и «макромодель» относительны и обычно используются для различения двух моделей, отображающих различную степень детальности описания свойств объекта.

**Моделирование** – исследование моделируемого объекта, базирующееся на его подобии модели и включающее построение модели, изучение ее и перенос полученных сведений на моделируемый объект.

**Математическое моделирование** - метод исследования физических явлений с помощью математических моделей и расчета этих моделей на ЭВМ.

**Анализ в САПР** - проектная процедура или группа проектных процедур, имеющая целью получение информации о свойствах заданного проектируемого объекта.

**Синтез в САПР** - проектные процедуры, заканчивающиеся получением новых описаний проектируемого объекта или его частей.

**Оптимизация** - процесс нахождения наилучшего варианта схемы, конструкции электроники, для которой выбраный критерий оценки варианта принимает максимальное или минимальное значение.

**Идентификация** - это установление соответствия между объектом, представленным некоторой совокупностью экспериментальных данных о его свойствах, и моделью объекта.

**Виртуальные испытания изделия** – воспроизведение на компьютере с помощью математического моделирования условий натуральных испытаний или реальных условий эксплуатации изделия в соответствии с техническим заданием на разработку изделия.

### 3. Основные задачи, решаемые САПР электроники

#### Укрупнённо:

1. Автоматизированное схемотехническое и конструкторское проектирование изделий электроники.
2. Виртуальные испытания электрических схем и конструкций изделий электроники.
3. Автоматизированное создание карт рабочих режимов электронной компонентной базы (ЭКБ).
4. Создание электронной модели изделия электроники.

#### Подробно:

1. Автоматизированное создание электрических схем в специализированных редакторах. Сохранение перечня ЭКБ в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ>:<полная условная запись ЭКБ>

2. Виртуальные испытания электрических схем на основе spice-моделирования.

2.1. Сохранение результатов расчета мощностей тепловыделения ЭКБ - для дальнейших виртуальных испытаний на тепловые воздействия печатных узлов (ПУ) и ЭКБ - в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ><Пробел><Значение мощности в Вт>

2.2. Сохранение результатов расчета электрических характеристик ЭКБ (токов, напряжений, мощностей и др.) - для дальнейших виртуальных испытаний на надёжность ЭКБ и изделий электроники в целом и автоматизированного создания карт рабочих режимов ЭКБ - в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭКБ> <Пробел> <Сила тока в А> <Пробел> <Напряжение в В> <Пробел> <Мощность в Вт> <Пробел> <др. возможные электрические характеристики>

3. Автоматизированное проектирование ПУ, включая размещение ЭКБ на печатной плате и трассировку печатных плат, в специализированных САПР с сохранением результатов в стандартном формате (например, IDF).

4. Виртуальные испытания ПУ на воздействие внешних дестабилизирующих факторов – тепловых, механических, климатических, биологических, радиационных, электромагнитных, специальных сред и термических.

5. Оптимизация параметров ПУ с применением виртуальных испытаний.

6. Автоматизированное создание 3D-моделей электронных шкафов, электронных блоков и ЭКБ в САД-системах с сохранением результатов в стандартном формате (например, STEP).

7. Виртуальные испытания электронных шкафов, электронных блоков и ЭКБ на воздействие внешних дестабилизирующих факторов – тепловых, механических, климатических, биологических, радиационных, электромагнитных, специальных сред и термических. Тепловые воздействия: стационарные и не-

стационарные. Механические воздействия: статические и динамические. Статические механические воздействия: гравитация, давление, распределения температур. Динамические механические воздействия: синусоидальная или случайная широкополосная вибрация, одиночный механический удар, многократный механический удар, линейное ускорение, акустический шум. Усталостная долговечность с учетом тепловых и механических воздействий. Комбинированные воздействия: одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и синусоидальной вибрации; одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и случайной вибрации; одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и многократного механического удара; одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и одиночного механического удара. Электронные шкафы и электронные блоки могут устанавливаться на виброизоляторы. Электронные шкафы и электронные блоки могут быть представляться как типовыми конструкциями (для них создаются специализированные графические интерфейсы, ускоряющие процесс моделирования), так и произвольными конструкциями (создаются в САД-системах).

8. Оптимизация параметров электронных шкафов, электронных блоков и ЭКБ с применением виртуальных испытаний.

9. Автоматизированное создание карт рабочих режимов ЭКБ по результатам виртуальных испытаний электрических схем и виртуальных испытаний электронных шкафов, электронных блоков, ПУ и ЭКБ на тепловые и механические воздействия.

10. Виртуальные испытания на надёжность ЭКБ и изделий электроники на основе карт рабочих режимов ЭКБ.

11. Создание электронной модели изделия электроники, включающей в себя:

- дерево изделия электроники (электронный шкаф – электронный блок – ПУ – ЭКБ);
- техническое задание на разработку изделия электроники;
- геометрические 3D-модели составных частей изделия;
- STEP-модели электронных шкафов, электронных блоков, ЭКБ;
- IDF-модели ПУ;
- модели электрических схем с возможностью просмотра и редактирования в составе электронной модели;
- модели физических процессов в конструкциях составных частей изделия;
- результаты виртуальных испытаний;
- результаты натурных испытаний.

Электронная модель должна воспроизводить поведение изделия электроники в реальных условиях эксплуатации, в том числе в критических режимах и режимах, которые не могут быть воспроизведены с помощью натурных испытаний.

#### **4. Вспомогательные задачи в области применения САПР электроники**

1. Наполнение интегрированной базы данных ЭКБ и конструкционных материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим, климатическим, биологическим, радиационным, электромагнитным, специальных сред, термическим и надёжностным параметрам:

- ручной поиск параметров;
- автоматизированная идентификация отсутствующих параметров;
- ручное занесение параметров в БД.

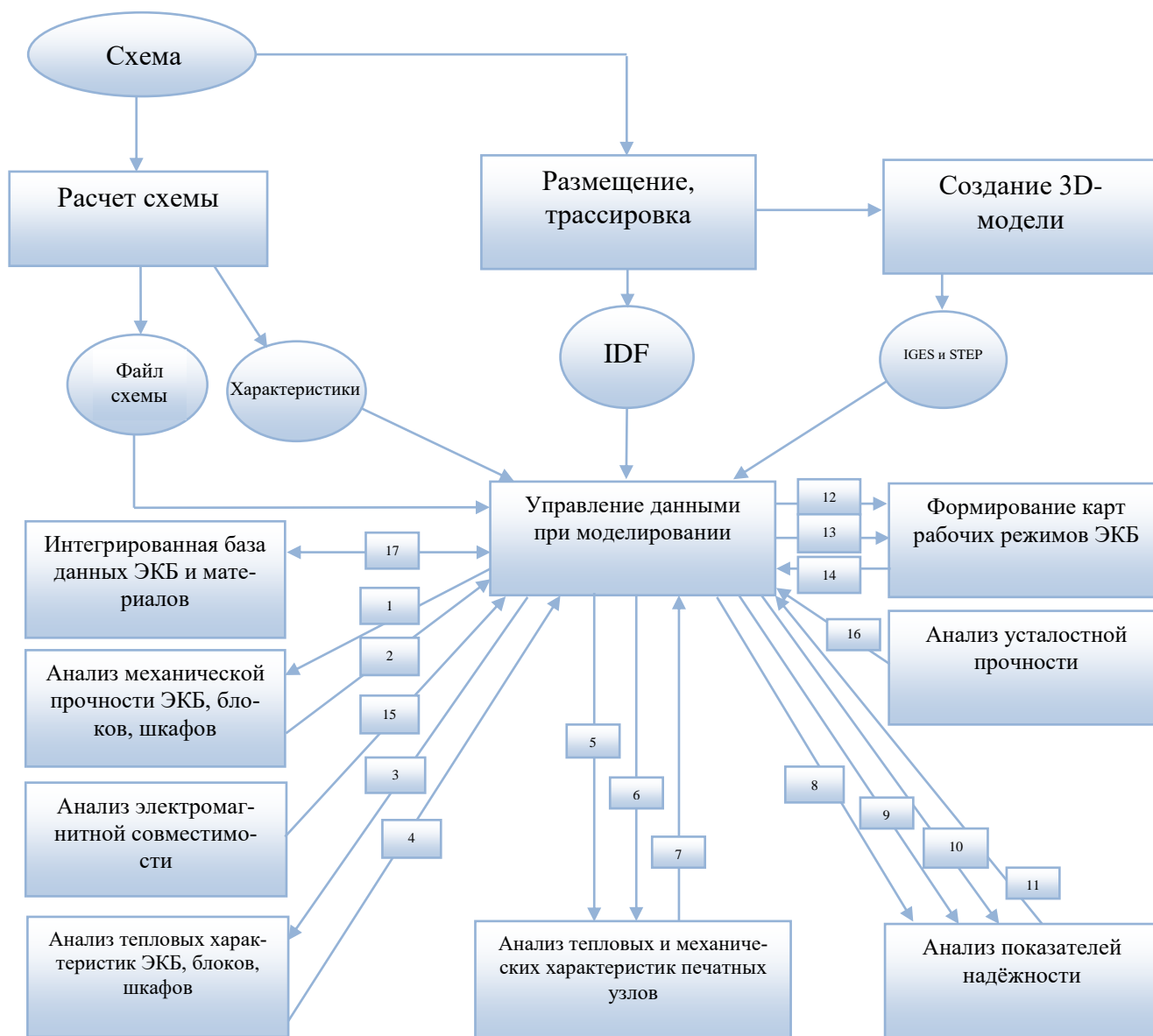
2. Разработка эксплуатационной документации и обучающих видеороликов.

3. Обучению пользователей САПР.

4. Разработка и внедрение методик и стандартов в области САПР электроники.



## 5. Структура САПР электроники мирового уровня



В процессе проектирования в соответствии с требованиями CALS-технологий на базе подсистемы управления данными при моделировании (PDM-системы) с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели. С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в подсистеме управления данными и передается в виде файла в системы анализа электрических схем, а также в системы размещения и трассировки печатных плат. Выходные файлы системы размещения и трассировки печатных плат в формате IDF либо сохраняются в подсистеме управления моделированием, либо направляются в системы 3D-моделирования для создания чертежей и сохраняются в подсистеме управления моделированием.

В подсистему управления моделированием также передаются 3D-модели электронных шкафов, электронных блоков, ЭКБ, созданные в системах 3D-

моделирования в форматах IGES и STEP, которые далее направляются в подсистемы моделирования для анализа механических процессов в электронных шкафах, электронных блоках, ЭКБ (1), а также в подсистему моделирования для анализа тепловых процессов в электронных шкафах, электронных блоках, ЭКБ (3).

Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях электронных шкафов, электронных блоков, ЭКБ сохраняются в подсистеме управления моделированием (2, 4). Чертежи ПУ и спецификации к ним, а также файлы в форматах IDF передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ (5). В подсистему для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ также передаются температуры воздуха в узлах, полученные в подсистеме моделирования тепловых процессов в электронных блоках, а также ускорения опор, полученные в подсистемах анализа механической прочности электронных блоков (6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭКБ сохраняются в подсистеме управления моделированием (7).

Перечень ЭКБ (8), файлы с электрическими характеристиками ЭКБ (9), температурами и ускорениями ЭКБ (10), результаты электромагнитного (15) и усталостного (16) анализа, полученные в подсистеме анализа электромагнитной совместимости и подсистеме анализа усталостной прочности, передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему анализа показателей надёжности электроники. Полученные в результате показатели надёжности электроники сохраняются в подсистеме управления моделированием (11). Перечень ЭКБ, файлы с электрическими характеристиками ЭКБ (12), температурами и ускорениями ЭКБ (13) передаются из подсистемы управления моделированием в подсистему формирования карт рабочих режимов ЭКБ. Полученные в результате карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме управления моделированием (14).

Описанная интеграция дает возможность развития и внедрения CALS-технологий на предприятиях. Интеграция программных продуктов позволяет выполнить сквозное автоматизированное проектирование электроники на основе комплексного моделирования физических процессов.

Применяемые на сегодня составные части САПР электроники:

1. Трассировка и размещение: Mentor Graphics, Altium Designere, Cadence, PCAD, Delta Design.
2. Создание 3D-модели: SolidWorks, ProEngineer, Inventor, КОМПАС.
3. Виртуальные испытания электрических схем: PSpice, Mentor Graphics, Altium Designere, Cadence, Delta Design (заявлено, но не проверено).
4. Виртуальные испытания на тепловые, механические, электромагнитные воздействия, на надёжность: АСОНИКА.
5. Автоматизированное создание карт рабочих режимов ЭКБ: АСОНИКА.
6. Создание электронной модели изделия электроники: АСОНИКА.

## 6. Структура САПР электроники выше мирового уровня



### **Интеллектуальный интерфейс для создания корректных STEP-моделей с точки зрения моделирования**

При создании 3-D моделей в САД-системах очень часто допускаются действия, которые не влияют на корректность самих 3-D моделей, но приводят к проблемам при импорте этих моделей в САЕ-систему и при дальнейшем моделировании. Интерфейс должен позволять в автоматизированном или автоматическом режиме устранять ошибки или давать рекомендации по их устранению. Также должны даваться рекомендации по упрощению моделей с целью сокращения их размерностей.

### **Автоматизированная методика виртуальных испытаний электрических схем**

При использовании существующих программ по spice-моделированию электрических схем в общем случае возникают сложности практического характера, не позволяющие провести полноценное моделирование и использовать полученные результаты для дальнейшего анализа электроники. Нужна методика для пользователей этих программ, позволяющая моделировать электрические схемы любой сложности.

### **Автоматизированная методика идентификации недостающих параметров всех моделей**

Отдельные параметры моделей неизвестны и получить их можно исключительно с помощью идентификации, для которой нужны специальные программы.

## 7. Интегрированная база данных параметров ЭКБ и конструкционных материалов

Интегрированная база данных ЭКБ и конструкционных материалов содержит все необходимые для моделирования и виртуальных испытаний параметры. Содержимое базы данных является динамичным. По мере появления новых подсистем и новых моделей, количество параметров в базе данных нарастает.

В настоящее время база данных содержит следующие параметры:

1. Параметры материалов печатных узлов, несущих конструкций, выводов ЭКБ, а также лаков (клеев), применяемых при установке ЭКБ на печатную плату (справочные, механические, тепловые, допустимые, температурные зависимости).

2. Оптические свойства материалов конструкций электроники: свойства тонового, диффузного, испускаемого и зеркального цветов, каждый из которых определяется красной, зеленой и синей составляющими и должен быть задан при помощи диалогового окна задания цвета. Также задаются степень прозрачности (альфа-составляющая цвета) и коэффициент зеркального отражения (задается на закладке «зеркальный цвет»). Геометрическая фигура отображает, как будет выглядеть деталь из данного материала в пространстве.

3. Параметры ЭКБ:

- классы и группы ЭКБ;
  - полные условные записи ЭКБ;
  - параметры, входящие в полную условную запись, и их возможные значения;
  - варианты установки ЭКБ на печатную плату;
  - геометрические, физико-механические, теплофизические, усталостные, электрические, надёжностные, допустимые параметры ЭКБ;
  - изображения ЭКБ на плоскости и в пространстве.
4. Параметры для карт рабочих режимов ЭРИ.  
5. Характеристики радиаторов охлаждения.  
6. Характеристики виброизоляторов.  
7. Модели надёжности ЭРИ.

В основе БД заложена система управления базами данных PostgreSQL с открытыми исходными кодами. Она обладает высокими скоростными характеристиками и надёжностью, оперативной технической поддержкой, развитой функциональностью.

***В дальнейшем предстоит добавить в базу данных:***

- spice-модели ЭКБ;
- параметры spice-моделей ЭКБ;
- модуль синтеза новых вариантов установки ЭКБ.

***В дальнейшем предстоит занести в базу данных параметры для всей актуальной ЭКБ и постоянно пополнять базу данных.***

## 8. Обучение

Для успешного применения САПР электроники необходимо наличие высококвалифицированных пользователей на предприятиях, разрабатывающих электронику. Пользователем является разработчик электроники. САПР - это инструментарий проектировщика. Подход, когда один специалист разрабатывает схему или конструкцию, а другой проводит виртуальные испытания, является устаревшим и крайне неэффективным.

Таких специалистов должны прежде всего готовить вузы. А для этого вузы должны поэтапно внедрять в учебный процесс составные части САПР электроники. Преподаватели должны проходить обучение по программе повышения квалификации у разработчиков программ.

В настоящее время Центром компетенций «АСОНИКА» в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и электронной аппаратуры (ЭА) на внешние воздействия проводится обучение системе АСОНИКА. Аналогичные центры компетенций должны возникнуть и по другим составным частям САПР электроники.

## 9. Методики и стандарты

Для успешного применения САПР электроники необходимы соответствующие методики и стандарты.

В настоящее время Центром компетенций «АСОНИКА» в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и электронной аппаратуры (ЭА) на внешние воздействия разрабатываются следующие типовые методики виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА:

- 1) на отсутствие резонансных частот в заданном диапазоне частот;
- 2) на воздействие статических нагрузок (гравитации, давления, распределения температур);
- 3) на виброустойчивость и вибропрочность воздействием синусоидальной или случайной широкополосной вибрации;
- 4) на ударную устойчивость и ударную прочность при воздействии одиночного механического удара;
- 5) на ударную устойчивость и ударную прочность при воздействии многократного механического удара;
- 6) на воздействие линейного ускорения;
- 7) на воздействие акустического шума;
- 8) на воздействие синусоидальной вибрации с повышенной амплитудой ускорения (в критических режимах, в том числе невозпроизводимых при натурных испытаниях);
- 9) на воздействие случайной широкополосной вибрации с повышенной спектральной плотностью ускорения (в критических режимах, в том числе невозпроизводимых при натурных испытаниях);
- 10) на воздействие повышенной и пониженной рабочей и предельной температуры среды;
- 11) на воздействие изменения температуры среды;
- 12) на усталостную долговечность с учетом тепловых и механических воздействий;
- 13) одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и синусоидальной вибрации;
- 14) одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и случайной вибрации;
- 15) одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и многократного механического удара;
- 16) одновременное воздействие тепла (статическое и циклическое) и одиночного механического удара.

В настоящее время Центром компетенций «АСОНИКА» в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и электронной аппаратуры (ЭА) на внешние воздействия разрабатываются следующие стандарты в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА:

1. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла.

2. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на механические воздействия при проектировании.

3. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на тепловые воздействия при проектировании.

4. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на электромагнитные воздействия при проектировании.

5. Методы создания карт рабочих режимов ЭКБ на основе математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействующие факторы при проектировании.

6. Методы построения баз данных ЭКБ и конструкционных материалов для математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла.

7. Методы математического моделирования показателей надёжности и виртуализации испытаний на надёжность ЭКБ и ЭА при проектировании.

***В дальнейшем предстоит разработка:***

1) автоматизированной методики виртуальных испытаний электрических схем;

2) автоматизированной методики идентификации недостающих параметров всех моделей электроники;

3) методики виртуальных испытаний электроники на воздействие пониженного и повышенного давления;

4) методики виртуальных испытаний электроники на воздействие снеговой нагрузки, атмосферные выпадающие осадки;

5) методики виртуальных испытаний электроники на воздействие статической и динамической пыли;

6) методики виртуальных испытаний электроники на радиационное воздействие (в том числе на солнечное излучение);

7) методики виртуальных испытаний электроники на воздействие пониженной и повышенной влажности воздуха.

На основе данных методик также будут разработаны стандарты.

## 10. Операционная система

Существует мировой эталон операционной системы. Все известные составные части САПР электроники настроены на этот эталон. Любая новая операционная система должна полностью функционально повторять эталон. Результатом тестирования любой новой операционной системы является работоспособность всех существующих составных частей САПР электроники в этой операционной системе.

Таким образом, не САПР электроники подстраивается под новые операционные системы, а операционные системы подстраиваются под существующие САПР электроники, а точнее, под существующий мировой эталон операционной системы.

**Таким эталоном на данный момент является Windows.**



## 11. Офисные программы

Существует мировой эталон офисных программ. Все известные составные части САПР электроники при формировании отчётов настроены на этот эталон. Любые новые офисные программы должны полностью функционально повторять эталон. Результатом тестирования любых новых офисных программ является работоспособность всех существующих составных частей САПР электроники при использовании офисных программ для формирования отчётов.

Таким образом, не САПР электроники подстраивается под новые офисные программы, а офисные программы подстраиваются под существующие САПР электроники, а точнее, под существующий мировой эталон офисных программ.

**Таким эталоном на данный момент является Microsoft Office.**

## 12. Уровень разработчиков

Разработчики САПР электроники - высококвалифицированные специалисты (преимущественно кандидаты технических наук), подготовленные в негосударственной научной школе профессора-практика – руководителя разработки составной части САПР электроники.

Требования к разработчикам САПР электроники:

- владение теорией и практикой САПР и CALS-технологий;
- владение математическими методами, используемыми для моделирования физических процессов в электронике, в том числе численными методами - методом конечных разностей, методом конечных элементов и др.;
- владение физикой процессов, протекающих в электронике;
- знания в области конструирования и автоматизации проектирования электроники;
- умение и опыт разработки вычислительных алгоритмов;
- умение и опыт программирования на языках высокого уровня: Си++, Дельфи и др.

Минимальное время подготовки 10 лет: 4 года - бакалавриат, 2 года - магистратура, 4 года – аспирантура с защитой кандидатской диссертации по специальности САПР.

В подчинении разработчиков САПР электроники могут находиться программисты без ученой степени кандидата технических наук, которые программируют по уже разработанным вычислительным алгоритмам и которые предварительно прошли годовую стажировку в коллективе разработчиков САПР электроники.

### 13. Уровень руководителей

Руководители разработки САПР электроники - доктора технических наук, профессора-практики высочайшего уровня квалификации, руководители негосударственных научных школ в области САПР электроники.

Требования к руководителям разработки САПР электроники:

- многолетний (не менее 10-и лет) опыт разработки и внедрения (наличие не менее 20-и договоров) собственной составной части САПР электроники;
- многолетний (не менее 10-и лет) опыт подготовки кандидатов технических наук в области САПР электроники (не менее 10-и человек), которые стали разработчиками собственной составной части САПР электроники;
- владение одновременно глубокими теоретическими и практическими знаниями в области САПР и CALS-технологий, электроники, физики процессов в электронике, математического моделирования, схемотехники, конструирования и автоматизации проектирования электроники, испытаний электроники на внешние воздействия, теории прочности, теории теплопроводности, теории электромагнетизма, теории надёжности;
- опыт программирования на языках высокого уровня;
- наличие не менее 20-и лет научно-педагогического стажа в государственных вузах;
- наличие большого числа (более 200-т) научных публикаций в области САПР электроники в специализированных изданиях, в том числе не менее 10-и научных монографий.

Руководителей разработки САПР электроники нигде не готовят. Ими становятся со временем по собственному желанию талантливые и продвинутые разработчики САПР электроники, имеющие организаторские способности.

Минимальное время на вызревание руководителя разработки САПР электроники составляет 36 лет: 11 лет – отличная учёба в средней школе с активным участием и победами в математических и физических олимпиадах, 4 года - бакалавриат, 2 года - магистратура, 4 года – аспирантура с защитой кандидатской диссертации по специальности САПР, 5 лет – докторантура с защитой докторской диссертации по специальности САПР, 10 лет – подготовка 10-и кандидатов технических наук в области САПР. **При этом необходимым условием является наличие таланта.**

## **14. Уровень пользователей**

Пользователями САПР электроники являются разработчики электроники, так как САПР - это инструментарий проектировщика. На одном автоматизированном рабочем месте один разработчик использует САПР электроники и для автоматизированного проектирования электроники, и для её виртуальных испытаний. Это наиболее оптимальный и современный подход. Подход, когда один специалист разрабатывает схему или конструкцию, а другой проводит виртуальные испытания, является устаревшим и крайне неэффективным.

Требования к пользователям САПР электроники:

- базовое образование в области схемотехники и конструирования электроники;
- тяга к обучению вопросам автоматизации схемотехнического и конструкторского проектирования электроники и её виртуальным испытаниям;
- обучение в центрах компетенций в области САПР электроники с выдачей сертификатов пользователей (по типу Центра компетенций «АСОНИКА» в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействия), в которых обучение проводят высококвалифицированные специалисты – преподаватели.

## **15. Первоочередные шаги**

Внедрение вначале того, что уже есть, а потом постепенное совершенствование, то есть шаг за шагом.

## **16. Финансирование и сроки**

Нет смысла финансировать начинающих разработчиков. Им надо присоединяться к существующим уже известным коллективам. Например, интегратором может выступить коллектив разработчиков Автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА, которой в 2019 году исполнилось 40 лет, которая внедрена на многих передовых предприятиях и которая не имеет аналогов в мире. Финансирование должно быть целевым, а не на конкурсной основе.

Показатели только технические, выручка не должна быть показателем на период разработки. В случае бюджетного финансирования не должно быть требования внебюджетного финансирования.

В 2020 году можно уже внедрить САПР электроники мирового уровня.

В 2020 – 2022 гг. развить САПР электроники до уровня выше мирового. При этом не ждать окончательной разработки всей САПР, а запускать каждую подсистему по мере её разработки.