

Научная статья

УДК 004.896

DOI: <https://doi.org/10.18127/j19997493-202502-03>

Разработка и анализ требований к автоматическим средствам проектирования электронных модулей

В.П. Корячко¹, Д.А. Перепелкин², В.Ю. Ликучев³

^{1,2} Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина (г. Рязань, Россия)

³ АО «Рязанское конструкторское бюро «Глобус» (г. Рязань, Россия)

² rerepelkin.d.a@rsreu.ru, ³ v.liukhov@yandex.ru

Аннотация

Постановка проблемы. В условиях постоянного функционального, конструкционного и технологического усложнения устройств электронной техники возрастает потребность в использовании автоматических средств проектирования (АСП) электронных модулей, что позволило бы сократить сроки выполнения типовых конструкторских процедур. В настоящее время наблюдается отстающее несоответствие функциональных возможностей современных АСП обширным теоретическим наработкам в области математического обеспечения данных программных средств. Это выражается в низком качестве решений оптимизационных задач средствами АСП и, как следствие, в ограниченном практическом применении последних. Первоочередным источником данных для формирования единого подхода к построению и совершенствованию АСП являются требования к их функциональному составу, которые в большей степени исходят из специфики практического выполнения типовых процедур конструкторского проектирования устройств.

Цель. На основе анализа функционального состава современных АСП и специфики практического выполнения типовых процедур конструкторского проектирования электронных модулей сформировать общие требования к программным средствам данного назначения.

Результаты. Проведен анализ интегрированных в современные САПР ЭС АСП электронных модулей. По результатам анализа сформированы бизнес-требования, функциональные и нефункциональные требования, список прецедентов, модель деятельности АСП. Предложен подход к обеспечению наиболее сложных требований к АСП электронных модулей.

Практическая значимость. Полученные результаты могут служить основой для формирования единого методологического подхода к разработке эффективных АСП электронных модулей различного назначения.

Ключевые слова

Требования к ПО, автоматизация проектирования, проектирование ЭС, размещение элементов, трассировка соединений

Для цитирования

Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Разработка и анализ требований к автоматическим средствам проектирования электронных модулей // Динамика сложных систем. 2025. Т. 19. № 2. С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.18127/j19997493-202502-03>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Автоматические средства проектирования (АСП) – программные средства, предназначенные для выполнения процедур проектирования без участия оператора. К таким процедурам (для которых возможно применение АСП) относятся, например, компоновка функциональных узлов, размещение элементов на печатной плате и трассировка соединений в процессе конструкторского проектирования модулей ЭС. Далее такие процедуры мы будем называть целевыми.

В основе математического обеспечения АСП лежат алгоритмы оптимизации по заданным критериям – топологическим, метрическим или надежностным [1]. Взаимодействие с оператором обычно осуществляется через графический интерфейс, который может содержать элементы настройки и управления процессом выполнения и представлять информацию о его ходе.

Большинство современных САПР энергетических систем (ЭС) имеют в своем составе АСП размещения элементов и трассировки соединений, что позволяет сократить сроки разработки за счет их применения. Однако на практике в подавляющем большинстве случаев инженеры-конструкторы печатных плат (как операторы САПР) отдают предпочтение автоматизированному способу проектирования, при котором оператор выполняет все действия вручную при помощи интерактивных функций редактора пе-

чатных плат в визуальной среде САПР. В случаях проектирования модулей ЭС специального назначения, для которых характерны высокие функциональная сложность и размерность схем, а также большое количество предъявляемых требований к точности функционирования и надежности готовых изделий, выбор автоматизированного способа однозначен. Это связано с тем, что результаты применения АСП (на нынешнем уровне развития) требуют значительной корректировки решения, сравнимой по времени с полным перепроектированием.

Основная причина низкой эффективности АСП заключается в эвристическом характере выполнения процедур проектирования (суть – решение оптимизационных задач), которым обусловлены приблизительные (локальные) решения, по ограниченному числу, в основном, метрических критериев, например, суммарной длине соединений. Это лишь отчасти удовлетворяет всему спектру требований к модулям ЭС, где обычно отражаются также аспекты электромагнитной совместимости, тепловой защищенности, узловой симметрии и т.д.

Еще одним доводом к нецелесообразности использования АСП является их ограниченная функциональность в условиях возрастающей сложности объектов проектирования.

Цель работы – на основе анализа функционального состава современных АСП и специфики практического выполнения типовых процедур конструкторского проектирования электронных модулей сформировать общие требования к программным средствам данного назначения. Это нацелено на формирование единого подхода к построению и совершенствованию АСП, а также на создание предпосылок к расширению области их практического применения при условии обеспечения представленных требований.

Анализ функционального состава АСП

Проведем анализ функционального состава АСП, интегрированных в современные и широко используемые САПР печатных плат, в их актуальном состоянии (табл. 1). Состав и организация АСП, интегрированных в современные САПР ЭС, не обеспечивают возможность реализации принципов инженерной стратегии проектирования [2], подразумевающих гибкость и адаптируемость инструментальных средств под конкретную задачу, что могло бы приблизить качество решений, получаемых автоматическим путем – к качеству результатов автоматизированного выполнения. В этом смысле ограниченность АСП выражается в следующих факторах:

1. АСП не предоставляют выбора метода или алгоритма оптимизации и возможности их комбинирования. Несмотря на большое количество разработанных методов и алгоритмов решения, которые демонстрируют различную эффективность в зависимости от структуры объекта проектирования, современные АСП «жестко» реализуют единственную стратегию и не позволяют адаптировать способ решения под конкретную задачу. Кроме того, АСП не предусматривают возможности сохранения конфигурации решений для ее использования в типовых проектах.

2. АСП не учитывают критерии, принадлежащие различным функциональным пространствам. Если АСП и решают задачу по аддитивному критерию, то все его компоненты связаны с метрическими характеристиками реализации соединений.

3. Многие АСП не предоставляют оператору целостного контекста выполнения процедур. Такие функции, как закрепление позиций элементов, выделение классов элементов и цепей и т.д., которые в контексте решения являются инструментами организации входных данных, располагаются в общей среде автоматизированного проектирования, а интерфейс АСП не содержит на них целевых ссылок. Вкупе с отсутствием возможности настройки гиперпараметров решения и представления информации о его ходе интерфейсы АСП отражают свою реализацию в виде черных ящиков, работающих по принципу «нажми и жди».

Стоит отметить, что некоторые фирмы-разработчики САПР остановили развитие и поддержку интегрированных АСП. При использовании таких САПР автоматическое выполнение целевых процедур организуется путем выгрузки проекта в стороннюю систему, поддерживающую необходимый функционал. Здесь нельзя не упомянуть о системе SPECCTRA, последняя версия которой вышла в 2016 г. АСП данной системы отличаются расширенными возможностями настройки процесса выполнения. Описание стратегии решения в SPECCTRA осуществляется на специализированном языке, что требует дополнительной квалификации оператора.

Рассмотренные АСП имеют крайне ограниченные функциональные возможности, что делает их непригодными для использования (в качестве самостоятельного инструмента) в проектировании устройств с повышенными требованиями. Кроме инженеров-конструкторов этот факт отмечали даже ведущие сотрудники фирм-разработчиков САПР [3].

Таблица 1. Функциональный состав АСП

САПР	АСП трассировки соединений	АСП размещения элементов
Altium Designer	Трассировка всех цепей или классов цепей; Предоставление информации о ходе выполнения (в текстовом формате)	Размещение всех элементов или классов элементов; Предоставление информации о ходе выполнения (в текстовом формате)
orCAD PCB Designer	Трассировка всех цепей или классов цепей; Выбор приоритетных направлений трассировки; Настройка сетки трассировки; Выбор стратегии путем настройки стоимости действий алгоритма; Настройка шагов оптимизации; Отчет о примерном времени трассировки и количестве разведенных цепей	Интерфейс взаимодействия с оператором фактически отсутствует
Mentor Graphics Xpedition (ныне Siemens EDA)	Предоставление информации о ходе выполнения (в текстовом формате); Интерфейс взаимодействия с оператором фактически отсутствует	Размещение всех элементов или классов элементов; Предоставление информации о ходе выполнения
Autodesk EAGLE	Трассировка всех цепей или классов цепей; Выбор приоритетных направлений трассировки; Настройка сетки трассировки; Выбор стратегии путем настройки стоимости действий алгоритма; Настройка шагов оптимизации	АСП отсутствует
KiCad	АСП отсутствует	Интерфейс взаимодействия с оператором фактически отсутствует
DipTrace	Выбор числа проходов оптимизации; Выбор приоритетных направлений трассировки	Интерфейс взаимодействия с оператором фактически отсутствует
Delta Design	Интерфейс взаимодействия с оператором фактически отсутствует	Интерфейс взаимодействия с оператором фактически отсутствует; Предоставление информации о ходе выполнения (в текстовом формате)

Разработка требований к АСП

Одним из основных источников функциональных и других требований к программному обеспечению являются бизнес-требования, которые содержат основные практические цели и задачи его разработки. Сформулируем *бизнес-требования для АСП*.

1. Сокращение общего времени конструкторского проектирования за счет использования АСП и минимизация времени корректировки его результатов.
2. Автоматизация проектирования типовых проектов за счет применения АСП.
3. Выполнение целевых процедур в соответствии со стандартами и типовыми требованиями к объектам проектирования.
4. Реализация в АСП передовых технологий в сфере математического обеспечения САПР для получения уникальных проектных решений.
5. Интеграция АСП в существующий процесс конструкторского проектирования ЭС, не требующая дополнительной подготовки персонала вне его основной компетенции.

Опираясь на представленные бизнес-требования, анализ АСП и специфику инженерного выполнения целевых процедур, сформируем перечень функциональных и нефункциональных требований к АСП.

Перечислим *функциональные требования к АСП*:

F1. Требования, касающиеся режимов работы АСП.

F1.1. АСП должно выполнять целевую процедуру в автоматическом режиме.

F1.2. АСП должно предоставлять возможность прерывания автоматического выполнения целевой процедуры для ручного внесения корректировок в текущее состояние решения.

F2. Требования к механизму организации входных данных.

F2.1. Организация и структурирование входных данных, необходимых для работы АСП, должны выполняться в контексте АСП.

F2.2. При организации и структурировании входных данных АСП должна учитывать конструктивные объекты, определенные в контексте общей системы проектирования.

F3. Требования по адаптации способа и критерия решения.

F3.1. АСП должно предоставлять выбор алгоритм решения из списка алгоритмов, определенного для структуры и свойств данного объекта проектирования.

F3.2. АСП должно предоставлять возможность настройки гиперпараметров алгоритма решения перед началом выполнения целевой процедуры.

F3.3. АСП должно предоставлять возможность составлять аддитивный критерий решения из списка частных критериев, определенного для структуры и свойств данного объекта проектирования.

F3.4. АСП должно предоставлять возможность назначения весов для компонентов составленного аддитивного критерия.

F3.5. АСП должно иметь возможность сохранять конфигурацию настроек гиперпараметров решения в базу данных.

F4. Требования к обеспечению взаимодействия с объектом проектирования.

F4.1. АСП должно содержать отдельную визуальную среду для представления объекта проектирования и взаимодействия с ним.

F4.2. В рамках взаимодействия с объектом проектирования через его представление в визуальной среде АСП должны обеспечивать возможность организации и структурирования объекта (исключительно в конструктивном контексте решения), а также изменения его состояния – до начала и в ходе выполнения целевой процедуры.

F4.3. Никакие изменения в состоянии объекта проектирования в представлении АСП не должны переноситься в представление общей системы до момента валидации и принятия этих изменений.

F5. Прочие требования к интерфейсу.

F5.1. Интерфейс АСП должен в наглядном виде предоставлять информацию о структуре объекта проектирования, ходе и результатах выполнения целевой процедуры.

F5.2. Интерфейс АСП должен обеспечивать возможность организации и структурирования объекта (исключительно в конструктивном контексте решения) через списковые, матричные, графовые или иные представления с помощью контекстных меню.

Перечислим *нефункциональные требования к АСП*:

N1. АСП необходимо эффективно работать с проектами любой сложности (размерность схем, регулярность физической структуры объекта проектирования), обеспечивая быстрый отклик даже при большом объеме входных данных.

N2. АСП должны минимизировать вероятность ошибок при автоматизации выполнения целевой процедуры, предоставляя механизмы контроля корректности результатов.

N3. Интерфейс АСП обязан быть интуитивно понятным, содержать подписи и всплывающие комментарии к элементам управления и функциональным разделам. Интерфейс АСП должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить информированное, пошаговое выполнение оператором действий согласно маршруту подготовки входных данных и АСП к работе.

N4. АСП требуется предусматривать возможность расширения функционала посредством подключения дополнительных модулей (симуляторов, анализаторов и т.д.).

N5. Сопровождение АСП должно включать подробную документацию и обучающие материалы с примерами выполнения целевой процедуры.

N6. АСП необходимо предусматривать регулярное обновление математического обеспечения с учетом пополнения теоретической базы по проблематике автоматизированного проектирования, а также требований и обратной связи от пользователей САПР и АСП.

На основе функциональных требований можно сформировать модель прецедентов – конкретных сценариев взаимодействия оператора с АСП. Диаграмма прецедентов АСП представлена на рис. 1.

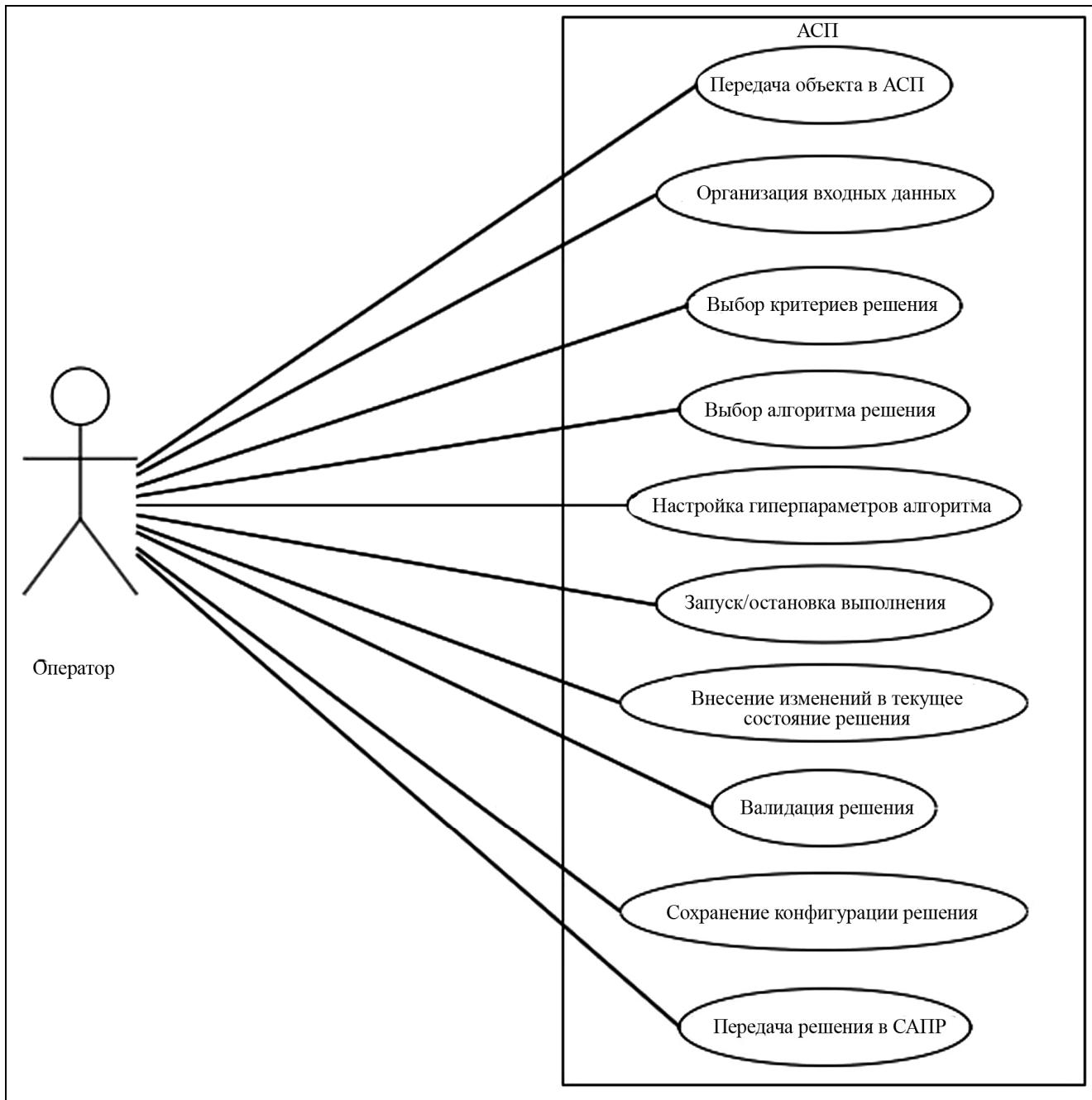


Рис. 1. Диаграмма прецедентов АСП

Fig. 1. Use case diagram of an Automated Design Tool

Следует отметить, что наиболее важными для обеспечения гибкости и адаптивности АСП, а также самыми сложными в реализации являются требования F3.1 (выбор алгоритма решения) и F3.3 (формирование индивидуального критерия оптимизации).

Как правило, в основе любого АСП лежит некоторая модель представления объекта проектирования и метод решения, соответствующий данной модели. Это формирует основу для включения в АСП различных алгоритмов, реализующих данный метод и применимых для конкретного класса задач.

Для обеспечения возможности выбора алгоритма необходимо, чтобы формат входных данных для всех алгоритмических был унифицирован и соответствовал как терминологии, так и объектно-ориен-

тированной структуре формальной модели оптимизируемой системы. Это означает, что алгоритмы и объекты модели обязаны быть связаны единым интерфейсом взаимодействия.

Проще говоря, каждый алгоритм должен иметь возможность получать данные от объектов системы в стандартизированном виде. Например, при использовании мультиагентной модели [4] все алгоритмы размещения, содержащиеся в базе знаний АСП, должны принимать в качестве оптимизируемого параметра значение атрибута «Положение на плоскости размещения» объектов класса «Агент».

В качестве основы для механизма составления аддитивного критерия может служить онтология оптимизируемой системы – совокупность словарей конструктивных объектов (элементы, связи, зоны размещения и т.п.) и всевозможных функциональных и предикативных зависимостей между ними. Онтология организуется в виде префиксно-деревовидной структуры таким образом, чтобы любой путь от корня до крайнего элемента выражал формулу логического языка первого или второго порядка, которая, в свою очередь, при определенной интерпретации и принятых сокращениях выражает некоторый частный критерий.

Древовидная организация онтологии позволяет конструировать формулы поочередным заданием полей. Порядок задания соответствует пути прохождения по дереву. Значение каждого поля (выражающее конструктивный объект или атрибут) разрешает некоторое множество значений следующего поля, если между ним и каждым значением из этого множества возможно установить функциональную или предикативную связь. Последнее предварительно проверяется путем анализа отношений атрибутов конструктивных объектов в разных функциональных пространствах.

Совокупность составленных таким образом и, далее, взвешенных частных критериев, образует аддитивный критерий оптимизационной задачи. Для обеспечения требования F3.4 весовые коэффициенты должны назначаться оператором, т.е. являться регулируемыми гиперпараметрами решения.

Обобщенная диаграмма классов предложенной реализации представлена на рис. 2.

Конкретное рассмотрение реализации АСП выходит за рамки данной работы, однако предложенные здесь формальные и программные сущности (формальная модель системы, онтология, конструктор и интерпретатор критериев) могут быть использованы для описания состояний деятельности АСП в соответствии с прецедентами, инициируемыми оператором в основном и альтернативном потоках [5] (табл. 2).

Таблица 2. Действия в основном и альтернативном потоках

№ п/п	Формулировка прецедента	Описание деятельности
1	2	3
1	Оператор загружает проект в АСП из САПР	1. Представление структуры объекта проектирования в списковых, графовых, матричных формах. 2. Представление объекта проектирования в визуальной среде
2	Оператор организовывает входные данные в соответствии с требованиями к проектированию, например, выделяет классы цепей или элементов	1. Окончательное формирование структуры объекта проектирования в терминах установленной формальной модели. 2. Формирование онтологии конструктивных объектов
3	Оператор составляет список ограничений и аддитивный критерий оптимизации	1. Интерпретация полученной оптимизационной задачи, ее отображение на сигнатуры алгоритмических функций из базы знаний. 2. Формирование множества применимых алгоритмов с приблизительной оценкой эффективности
4	Оператор выбирает алгоритм решения	Представление гиперпараметров алгоритма в интерфейсе
5	Оператор загружает сохраненную конфигурацию способа и критерия решения	Извлечение и применение данных о конфигурации из БД
6	Оператор настраивает гиперпараметры, запускает выполнение процедуры	1. Выполнение процедуры по выбранной конфигурации до получения результата. 2. Отображение информации о ходе выполнения
7	Оператор приостанавливает выполнение	1. Приостановка выполнения. 2. Представление промежуточного решения в визуальной среде
8	Оператор вносит корректировки в состояние объекта через представление в визуальной среде и возобновляет выполнение	1. Учет изменения значений атрибутов состояния объекта проектирования. 2. Возобновление процесса выполнения
9	Оператор получил уведомление о завершении процесса выполнения	1. Предоставление информации о результатах выполнения процедуры. 2. Представление окончательного решения в визуальной среде

Продолжение табл. 2 см. на с. 18.

1	2	3
11	Оператор сбрасывает решение и повторяет п. 3–5	1. Сброс решения. 2. Выполнение п. 3–5 для исходного состояния объекта проектирования
12	Оператор проводит валидацию, утверждает полученное решение, выполняет передачу решения в САПР	1. Интерпретация и преобразование решения в необходимый формат. 2. Передача результат в САПР
13	Оператор сохраняет текущую конфигурацию способа и критерия решения	Запись данных о конфигурации в БД

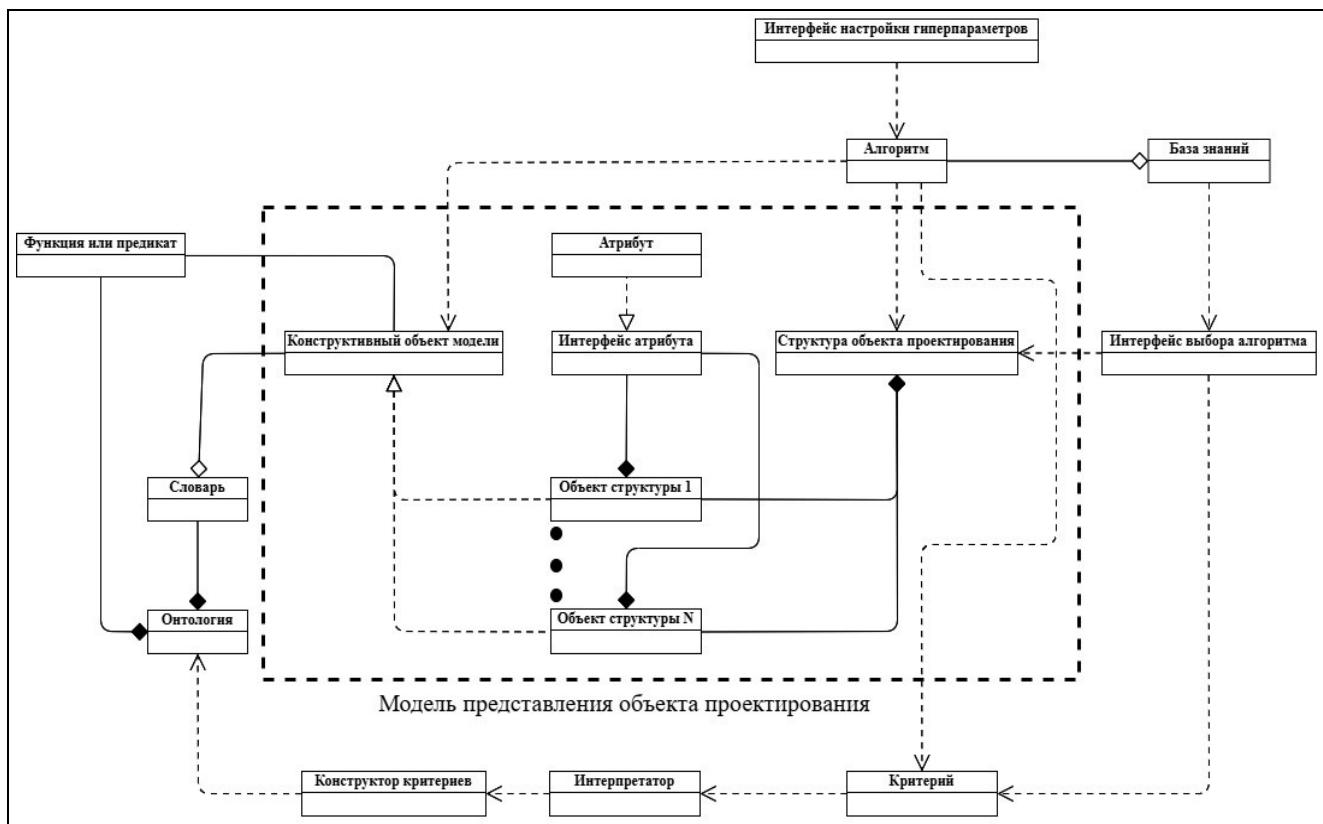


Рис. 2. Диаграмма классов АСП

Fig. 2. Class diagram of an Automatic Design Tool

Предложенная модель функционирования АСП позволяет:

организовывать входные данные, вносить изменения в текущее состояние решения в едином контексте АСП;

выбирать, настраивать способ и конструировать критерий решения, пользуясь оценкой их эффективности;

улучшать решение алгоритмом, отличным от того, который был применен для получения текущего решения, следовательно, комбинировать алгоритмы для доводки оптимальности результата;

использовать сохраненные конфигурации настроек решения для типовых проектов.

Автоматические средства проектирования, реализующие эти возможности, позволят заменить использование единственного, унифицированного способа и критерия решения для всех объектов моделированием стратегии решения для различных классов объектов.

Заключение

Проведенный анализ современных АСП, интегрированных в системы автоматизированного проектирования электронных средств, показал существенные ограничения их функциональности при решении типовых задач размещения элементов и трассировке цепей. Эти ограничения препятствуют применению

АСП в проектах с повышенными требованиями к точности, надежности, электромагнитной совместимости и т.д., особенно в условиях возрастающей сложности проектируемых модулей.

Разработанная в рамках настоящего исследования система требований к АСП – бизнес-, функциональных и нефункциональных, ориентирована на устранение ключевых недостатков существующих решений и создание предпосылок для построения гибких, адаптируемых инструментов автоматизации проектирования. Особое внимание уделено обеспечению выбора алгоритмов решения, адаптации критериев оптимизации, формированию онтологической модели проектируемой системы, а также взаимодействию с пользователем в контексте всех этапов выполнения целевой процедуры.

Предложенная модель функционирования АСП позволяет не только адаптировать инструмент под особенности конкретной проектной задачи, но и выстраивать индивидуальные стратегии решения, включая возможность их комбинирования и доработки на основе промежуточных результатов. Таким образом обеспечивается более высокая степень соответствия проектных решений инженерным стратегиям, а также потенциал повышения автоматизации в целом ряда типовых задач конструкторского проектирования.

Результаты исследования могут служить основой для дальнейших разработок в области интеллектуальных САПР, в том числе с применением онтологических моделей, методов формального вывода и алгоритмов машинного обучения. Формализованные требования, модели взаимодействия и архитектурные предложения, представленные в статье, формируют задел для создания нового поколения АСП, способных обеспечить качественный прорыв в области автоматизированного проектирования электронных модулей различного назначения.

Список источников

1. Курейчик В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР: Учебник для вузов. М.: Радио и связь. 1990.
2. Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Мультиагентный подход автоматизированного проектирования модулей радиоэлектронных устройств на основе анализа инженерных стратегий. В Международный научно-технический форум СТНО-2022. Сб. трудов. Т. 3.
3. Сабунин А. Altium Designer Winter 09 – Размещение компонентов на плате и трассировка печатных проводников // Современная электроника. М.: СТА-ПРЕСС. 2009. № 2. С. 38–47.
4. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю. Математическая модель представления мультиагентных систем и ее применение в задачах топологического проектирования модулей радиоэлектронных средств // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. № 83. С. 48–61. DOI:10.21667/1995-4565-2023-83-48-61.
5. Бубнов А.А., Бубнов С.А., Майков К.А. Разработка и анализ требований к программному обеспечению: учебник. М.: КУРС. 2025.

Информация об авторах

Вячеслав Петрович Корячко – д.т.н., профессор, зав. кафедрой
ORCID: 0000-0003-0272-673X

Дмитрий Александрович Перепелкин – д.т.н., профессор, декан
ORCID: 0000-0003-4775-5745

Владимир Юрьевич Ликучев – инженер-конструктор 1-й кат.
ORCID: 0000-0002-2430-5234

Поступила в редакцию 23.04.2025
Одобрена после рецензирования 19.05.2025
Принята к публикации 26.05.2025

Original article

Development and analysis of requirements for automated design tools for electronic modules

V.P. Koryachko¹, D.A. Perepelkin², V.Yu. Likuchev³

^{1,2} Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin (Ryazan, Russia)

³ JSC «Ryazan Design Bureau «Globus» (Ryazan, Russia)

² perepelkin.d.a@rsreu.ru, ³ v.likuchov@yandex.ru

Abstract

In the context of the continuous increase in functional, structural, and technological complexity of electronic devices, there is a growing need for the use of automated design tools (hereinafter referred to as ADT) for electronic modules. These tools can significantly reduce the time required to perform standard design procedures. Currently, there is a noticeable lag between the functional capabilities of modern ADTs and the extensive theoretical developments in the field of mathematical support for such software. This discrepancy manifests itself in the low quality of optimization problem solutions produced by ADTs, thereby limiting their practical applicability. A primary source of information for the development of a unified approach to the creation and improvement of ADTs lies in the requirements for their functional composition, which are largely derived from the specifics of performing standard design procedures for electronic devices in practice.

The purpose of the work – to formulate general requirements for software tools of this kind based on an analysis of the functional composition of modern ADTs and the specifics of executing standard electronic module design procedures in practice.

An analysis was conducted of the ADTs integrated into modern electronic design automation systems. Based on this analysis, business requirements, functional and non-functional requirements, a use case list, and an activity model of the ADT were developed. An approach was proposed to address the most complex requirements for ADTs used in electronic module design. The results obtained in this study can serve as a foundation for the development of a unified methodological approach to the creation of effective ADTs for electronic modules intended for various applications.

Keywords

Software requirements, design automation, electronic design, component placement, routing

For citation

Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Likuchev V.Yu. Development and analysis of requirements for automated design tools for electronic modules. Dynamics of complex systems. 2025. V. 19. № 2. P. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.18127/j19997493-202502-03> [in Russian]

References

1. Kureychik V.M. Matematicheskoe obespechenie konstruktorskogo i tekhnologicheskogo proektirovaniya s primeneniem SAPR: Uchebnik dlya vuzov. M.: Radio i svyaz'. 1990. [in Russian]
2. Perepelkin D.A., Likuchev V.Yu. Mul'tiagentnyy podkhod avtomatizirovannogo proektirovaniya moduley radioelektronnykh ustroystv na osnove analiza inzhenernykh strategiy. V Mezhdunarodnyy nauchno-tehnicheskiy forum STNO-2022. Sb. trudov. T. 3. [in Russian]
3. Sabunin A. Altium Designer Winter 09 – Razmeshchenie komponentov na plate i trassirovka pechatnykh provodnikov. Sovremennaya elektronika. M.: STA-PRESS. 2009. № 2. S. 38–47. [in Russian]
4. Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Likuchev V.Yu. Matematicheskaya model' predstavleniya mul'tiagentnykh sistem i ee primenenie v zadachakh topologicheskogo proektirovaniya moduley radioelektronnykh sredstv. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radio-tehnicheskogo universiteta. 2023. № 83. S. 48–61. DOI:10.21667/1995-4565-2023-83-48-61. [in Russian]
5. Bubnov A.A., Bubnov S.A., Maykov K.A. Razrabotka i analiz trebovaniy k programmnomu obespecheniyu: uchebnik. M.: KURS. 2025. [in Russian]

Information about the authors

Vyacheslav P. Koryachko – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department

Dmitriy A. Perepelkin – Dr.Sc. (Eng.), Professor, Dean of the Faculty

Vladimir Yu. Likuchev – Design Engineer of 1 cat.

The article was submitted 23.04.2025

Approved after reviewing 19.05.2025

Accepted for publication 26.05.2025