

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Արթուր Արայիկի Ղազարյան

ՄԵՔԵՆԱՅԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ ԻՆՏԵԳՐԱԼ
ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ե.27.01 «Էլեկտրոնիկա, միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2026

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Казарян Артур Араикович

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО
ОБУЧЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.27.01-
“Электроника, микро- и наноэлектроника”

Ереван 2026

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ)

Գիտական ղեկավար՝	տ.գ.դ. Վազգեն Շավարշի Մելիքյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	տ.գ.դ. Սուրիկ Խաչիկի Խուդավերդյան տ.գ.թ. Սերգո Սմբատի Հարությունյան
Առաջատար կազմակերպություն	Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2026թ. հուլիսի 13-ին, ժամը 10⁰⁰-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող <<Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի>> 046 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2026թ. հունիսի 12-ին:

046 մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.



Բենիամին Ֆելիքսի Բադալյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении (НПУА)

Научный руководитель:	д.т.н. Вазген Шаваршович Меликян
Официальные оппоненты:	д.т.н. Сурик Хачикович Худавердян к.т.н. Серго Смбагович Арутюнян
Ведущая организация:	Ереванский научно-исследовательский институт средств связи

Защита диссертации состоится 13-го июля 2026 г. В 10⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 046 — "Радиотехники и электроники", действующего при Национальном политехническом университете Армении, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 12-го июня 2026 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета 046 к.т.н.



Бениамин Феликсович Бадалян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рост спроса на интегральные схемы (ИС) обусловлен стремительным развитием интеллектуальных устройств, искусственного интеллекта (ИИ) и автомобильных систем. Данные области требуют создания ИС, обеспечивающих высокую производительность, энергоэффективность и компактность.

В настоящее время на рынке функционирует множество компаний, занимающихся проектированием ИС, которые в условиях жёсткой конкуренции стремятся в рамках существующих технологических и ресурсных ограничений сократить время вывода продукции на рынок и как можно быстрее получить верифицированный на кремнии проект с целью опережения конкурентов.

Процесс проектирования ИС, как правило, делится на два основных этапа: схемотехнический и физический. Согласно исследованиям, большая часть общего времени проектирования приходится на этап физического проектирования, который характеризуется высокой сложностью и значительным вычислительным объёмом, причём каждый новый технологический процесс приносит дополнительные вызовы. В связи с этим были разработаны различные маршруты проектирования и подходы, которые в течение длительного времени удовлетворяли требованиям как разработчиков, так и заказчиков. Однако ужесточение технологических норм, рост сложности проектирования и быстрое изменение рыночных требований обусловили необходимость применения новых решений.

В процессе их разработки и внедрения важную роль играют системы машинного обучения (МО) и ИИ, позволяющие автоматизировать отдельные этапы проектирования, снизить потребление ресурсов и повысить общую эффективность проектирования, приводя её в соответствие с современными требованиями практики проектирования ИС. Их применение способствует выявлению решений, которые ранее основывались преимущественно на опыте проектировщика, что делает маршруты проектирования более простыми и универсальными.

Объект исследования. Методы повышения эффективности физического проектирования ИС с применением МО.

Цель работы. Разработка методов повышения эффективности процесса физического проектирования ИС с применением МО.

Методы исследования. В ходе выполнения диссертации были использованы диффузионные модели, деревья решений, нейронные сети и другие современные методы МО.

Научная новизна:

- Предложены подходы к эффективному физическому проектированию цифровых интегральных схем на основе методов машинного обучения, которые с точки зрения целостности, универсальности, сокращения ресурсов и других аспектов удовлетворяют практическим требованиям проектирования современных схем.
- Разработан обобщенный метод планирования и проектирования сети питания интегральных схем, в котором применение нейронных сетей при выборе коэффициента использования площади, реализации узлов «Ввод/Вывод» и определении архитектуры сети питания приводит к снижению времени проектирования за один цикл на 38%,

уменьшению используемой площади на 7% и сокращению общей отрицательной задержки на 3%. При этом наихудшие статические и динамические падения напряжения остаются в нормативных пределах, за счет незначительного на 17% увеличения нарушений физических правил проектирования.

- Разработан метод размещения и его многопараметрической оптимизации, в котором путем применения диффузионных моделей для узлов интеллектуальной собственности и выбора гиперпараметров с использованием дерева решений достигается сокращение времени выполнения на 13% и уменьшение суммарной длины межсоединений на 6% за счёт увеличения общей отрицательной задержки и перегрузки, составляющих соответственно около 4% и 11%.
- Разработан маршрут проектирования и оптимизации дерева тактового сигнала, в котором за счёт выбора структурных элементов с помощью нейронных сетей и оптимизации с использованием диффузионных моделей задержка количество разомкнутых и коротких соединений было сокращено в 4 и 2 раза соответственно, а энергопотребление снижено на 9% за счёт увеличения времени выполнения на 3,3%
- Предложен метод повышения эффективности трассировки, основанный на выявлении критических межсоединений и реализации управляемой трассировки с использованием нейронных сетей, применение которого приводит к снижению времени выполнения на 14% и уменьшению числа нарушений проектных правил на 30% за счёт возникновения вторичных эффектов.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- Обобщенный метод планирования топологии и проектирования сети питания ИС.
- Метод размещения и его многопараметрической оптимизации.
- Маршрут проектирования и оптимизации дерева тактового сигнала.
- Метод повышения эффективности трассировки.

Практическая ценность работы. Программное средство (ПС) РМО, внедрено в инструментарий ЗАО «СИНОПСИС АРМЕНИЯ». Применение ПС позволило оптимизировать процесс физического проектирования ИС главным образом за счет нейронных сетей, деревьев решений и диффузионных моделей, а также исключить количество циклов, обусловленных принятием решений в процессе проектирования. По сравнению с ранее представленными методами отклонение результатов программного средства составляет 1,5%, что связано с нелинейными явлениями, возникающими при решении, задача оптимизации в программной среде.

Достоверность научных положений. Научные положения подтверждены сопоставлением экспериментальных результатов практических проектов, представленных в диссертации, и математическими обоснованиями.

Внедрение. Программный инструмент РМО внедрен в ЗАО «СИНОПСИС АРМЕНИЯ» и используется в процессах физического проектирования ИС.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертации докладывались на:

- Международном симпозиуме «International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)» (Кейптаун, Южная Африка, 2023 г.);
- Международном симпозиуме «International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)» (Париж, Франция, 2025 г.);
- Международном симпозиуме «IEEE EWDTS: East-West Design & Test» (Тбилиси, Грузия, 2025 г.);
- Научных семинарах кафедры «Микроэлектронные схемы и системы» НПУА (Ереван, Армения, 2023–2026 гг.);
- Научных семинарах ЗАО «СИНОПСИС АРМЕНИЯ» (Ереван, Армения, 2023–2026 гг.);

Публикации. Основные положения диссертации представлены в 12 научных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы из 124 наименований и трех приложений, из которых в первом представлен акт внедрения диссертации, во втором приведены фрагменты разработок, выполненных в рамках программного средства РМО, а в третьем — перечень использованных таблиц и рисунков. Объем диссертации составляет 117 страниц, а вместе с приложениями - 136 страниц, включая 60 рисунков и 15 таблиц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследования, представлены методы исследования, научная новизна, практическое значение и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются методы физического проектирования ИС, где используется машинное обучение.

Проектирование топологии и системы электропитания является начальной стадией физического проектирования ИС. На этом этапе определяется геометрическая структура кристалла, формируется сеть электроснабжения и выполняется размещение узлов ввода-вывода. Среди распространенных методов синтеза топологии с применением машинного обучения выделяются алгоритмы имитации отжига и генетические алгоритмы. По сравнению с традиционными древовидными структурами, они обеспечивают снижение времени расчетов и уменьшение длины межсоединений. Однако существенным недостатком данных подходов является фиксированное размещение узлов ввода-вывода, при котором структура поверхности формируется без учета их положения, что негативно сказывается на надежности решений. Наиболее широко применяемым методом проектирования сети электропитания является использование комбинации стабильных и летучих металлических слоев. Такой подход позволяет достичь компромисса между затратами проектных ресурсов и величиной падения напряжения (рис. 1).

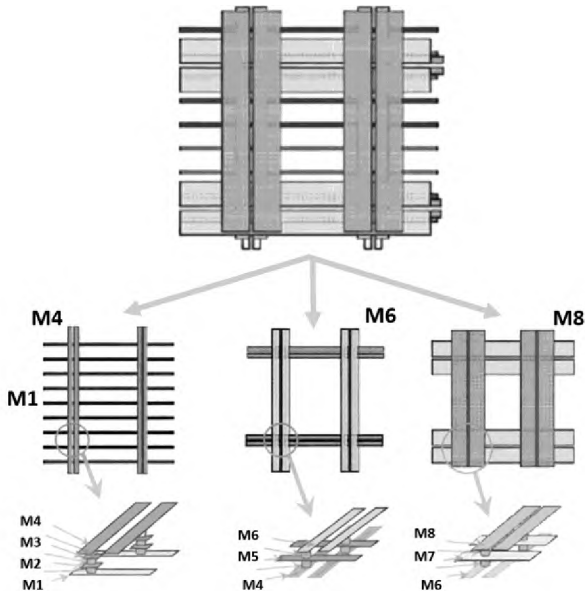


Рис 1. Метод формирования сети электропитания

Однако архитектура сети электроснабжения существенно зависит от параметров технологического процесса и рабочей частоты, что приводит к изменению требований к проектированию. В результате разработчики нередко используют эвристические, интуитивные и экспериментальные подходы. В литературе также рассматривается метод совместного проектирования топологии и системы электропитания, предполагающий одновременное решение обеих задач. Его основная сложность заключается в необходимости решения интегрального уравнения

$$\int_{y_i}^{y_i+p_i} I_{px}(y)dy = \int_{y_j}^{y_j+p_j} I_{px}(y)dy \quad (1)$$

отражающего баланс токов в различных участках схемы. Таким образом, существующие алгоритмы обладают рядом преимуществ, однако при планировании они характеризуются такими недостатками, как обратная зависимость между неиспользуемой площадью и временем выполнения, а также фиксированность размещения узлов ввода-вывода. В задаче проектирования электросети ключевой проблемой остается выбор оптимальной архитектуры с учетом особенностей конкретного проекта.

Метод размещения представляет собой ключевой этап физического проектирования, заключающийся в определении пространственного распределения элементов схемы на кристалле с целью многокритериальной оптимизации. К числу основных оптимизируемых характеристик относятся минимизация перегруженности, сокращение длины межсоединений, а также уменьшение суммарной отрицательной задержки, оказывающей влияние на временные характеристики устройства. Современные методы размещения преимущественно опираются на формализацию задачи в виде графовых и гиперграфовых моделей. В рамках данного подхода элементы схемы представляются вершинами графа, а их электрические соединения моделируются гиперребрами, что обеспечивает корректное описание многотерминальных связей. На основе полученной модели применяются алгоритмы глобальной оптимизации, нередко реализуемые в параллельной постановке, направленные на одновременное улучшение топологических и энергетических характеристик проекта (рис. 2). Альтернативное направление связано с использованием методов МО, в частности нейронных сетей. В этих подходах обучаемые модели применяются для аппроксимации или предсказания ключевых метрик, таких как длина межсоединений или плотность размещения, после чего полученные оценки интегрируются в стандартные алгоритмы оптимизации для повышения их эффективности и ускорения сходимости.

Несмотря на высокую масштабируемость и потенциально более высокую вычислительную эффективность, указанные методы обладают рядом ограничений. В первую очередь, их результативность существенно зависит от выбора гиперпараметров и конфигурации алгоритмов, что повышает чувствительность к настройке и усложняет воспроизводимость результатов. Кроме того, графовые модели зачастую используют упрощенные абстракции, вследствие чего могут недостаточно точно учитывать физические эффекты (например, ограничения

размещения или вариации параметров), а также частично игнорировать структурные особенности логических зависимостей между элементами схемы.

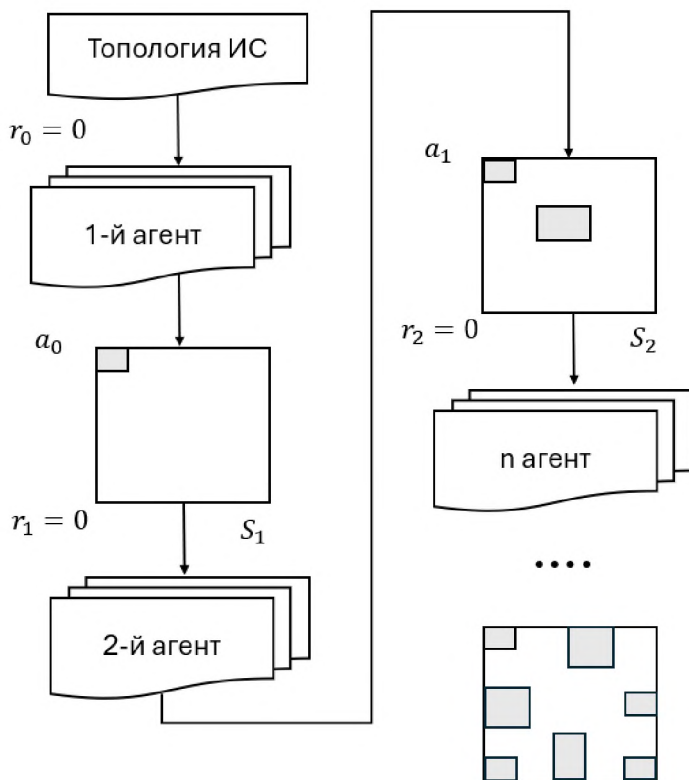


Рис 2. Размещение на основе графов

Синтез дерева тактового сигнала играет ключевую роль в процессе проектирования ИС с высокой производительностью и низким энергопотреблением. В настоящее время широко применяются методы, основанные на сверточных нейронных сетях, а также подходы, базирующиеся на манхэттенской кольцевой кластеризации. В процессе разработки дерева тактового сигнала с использованием сверточных нейронных сетей на начальном этапе осуществляется выбор последовательных ячеек, после чего формируются кластеры. Далее на основе алгоритмов линейного программирования проводится оптимизация размещения, при этом целевая функция задается формулой.

$$C = \alpha * W + D + \beta * Z \quad (2)$$

Особенностью синтеза дерева тактового сигнала, основанного на манхэттенской кольцевой кластеризации, является минимизация задержки сигнала за счет оптимального выбора количества буферов (повторителей) и упрощенной топологии проектирования (рис. 3).

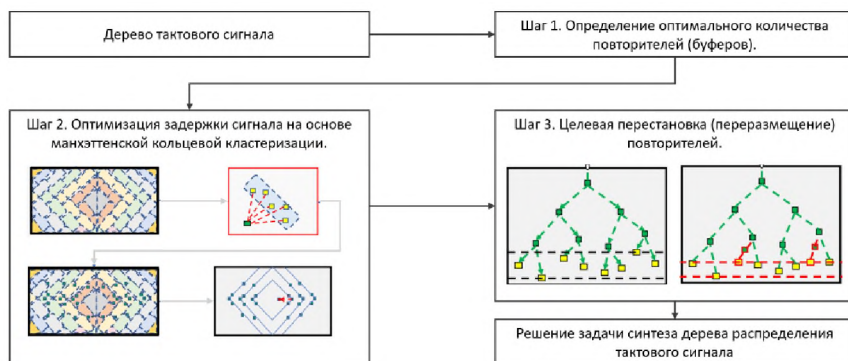


Рис 3. Разработка дерева тактового сигнала на основе манхэттенской кольцевой кластеризации

Несмотря на указанные особенности, в рассматриваемых методах имеется ряд существенных недостатков. К основным из них относятся: эффективная минимизация задержек сигнала, проблема потери физической информации проекта, а также задача оптимального выбора соответствующих логических элементов для построения дерева тактового сигнала.

Трассировка является завершающим этапом проектирования ИС. Современные ИС характеризуются высокой степенью плотности, и выявление приоритетных соединений для трассировки имеет решающее значение. В настоящее время наиболее распространёнными являются методы определения последовательности трассировки межсоединений, основанные на эвристических подходах, а также методы трассировки, базирующиеся на алгоритмах роя частиц (PSO). Применение указанных методов позволяет сравнительно просто выявлять и решать поставленные задачи. Однако их использование приводит к значительным затратам времени выполнения, что является существенным недостатком. В свою очередь, попытки сокращения времени работы зачастую приводят к игнорированию или нарушению физических проектных ограничений, что отрицательно сказывается на качестве конечного результата.

Во второй главе рассматриваются разработанные методы физического проектирования ИС, где используется МО.

При классическом проектировании топологии и сети питания возникают задачи, связанные с компромиссом между занимаемой площадью и временем выполнения, фиксированным размещением узлов ввода/вывода, а также с выбором архитектуры реализации сети питания. Коэффициент заполняемости площади, как правило,

определяется формулой, однако она содержит как нелинейные, так и эмпирические параметры. Кроме того, в неё входит суммарная площадь элементов, значение которой аппроксимируется программными средствами. Совокупность этих факторов дополнительно подтверждает актуальность применения методов МО.

Для преодоления вышеуказанных проблем предложен обобщенный метод разработки планировки и сети питания, в рамках которого для определения коэффициента площади, размещения узлов ввода/вывода и реализации архитектуры сети питания предлагается использовать нейронные сети (рис 4).

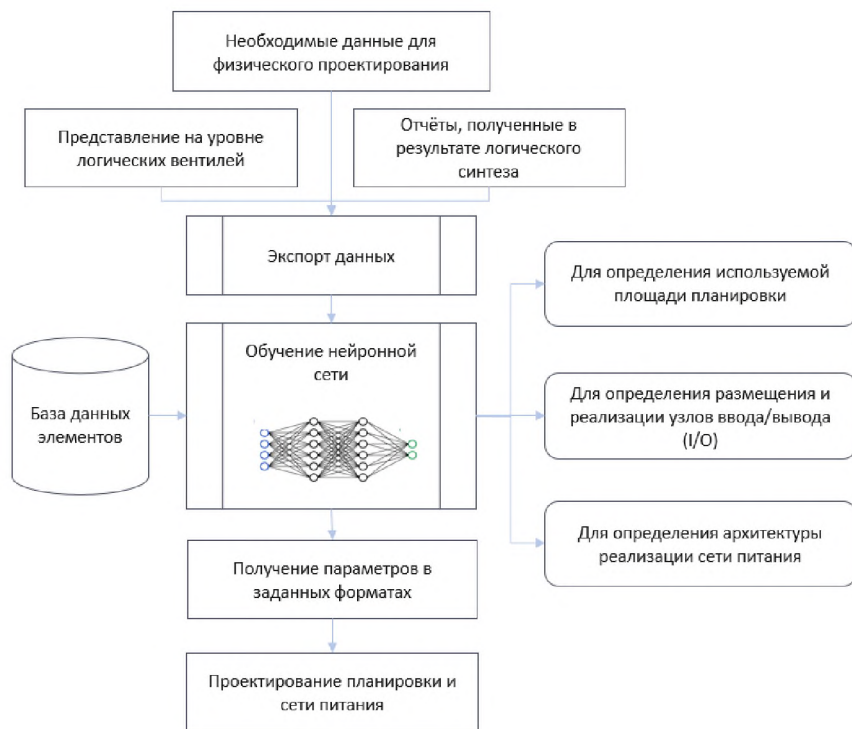


Рис 4. Предлагаемый обобщенный метод для разработки планировки и сети питания

Экспериментальные результаты, полученные в ходе применения системы, показывают, что использование нейронных сетей приводит к улучшению времени проектирования за один цикл на 38%, уменьшению используемой площади на 7% и снижению общего отрицательного запаса задержки на 3%, при этом наихудшие статические и динамические падения напряжения остаются в нормативных пределах за счёт незначительного увеличения (на 17%) нарушений физических правил проекта.

С целью повышения эффективности процесса размещения предлагается реализовать двухэтапный подход. На первом этапе предусматривается размещение узлов интеллектуальной собственности с использованием диффузионных моделей, обеспечивающих параллельную оптимизацию. Итоговое глобальное размещение предлагается выполнять в программной среде. Такой подход не приводит к потере физических данных, поскольку все задачи решаются в рамках программного инструментария (рис 5).

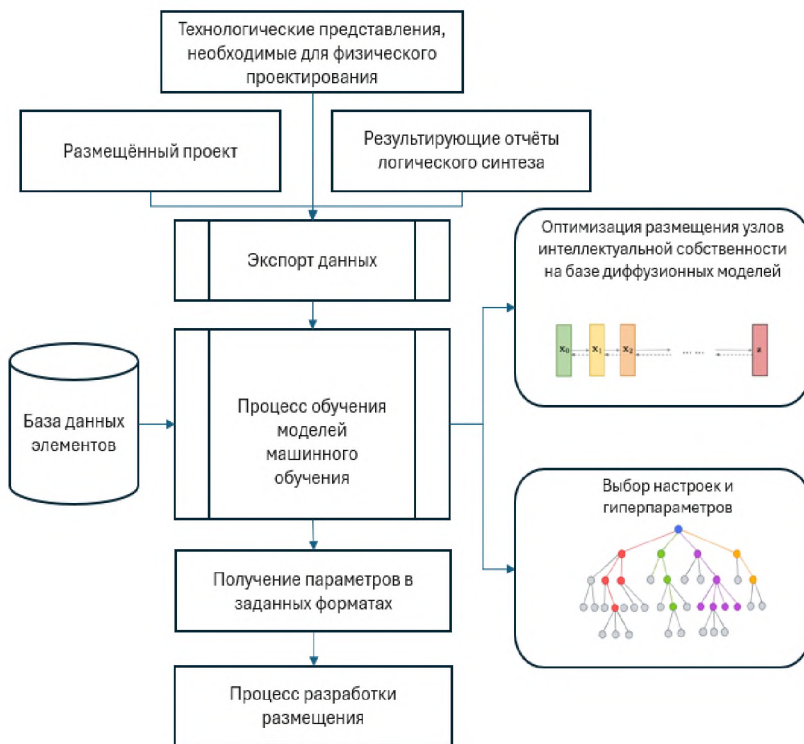


Рис 5. Предлагаемый метод повышения эффективности процесса размещения

Экспериментальные исследования показали, что применение разработанного метода формирования размещения и его многопараметрической оптимизации по сравнению с классическим подходом приводит к существенному повышению вычислительной эффективности процесса проектирования. В частности, обеспечивается сокращение времени выполнения примерно на 13% и уменьшение суммарной длины межсоединений примерно на 6%. Указанные улучшения достигаются за счёт определённого увеличения общей отрицательной задержки и

перегрузки, которые составляют соответственно около 4% и 11%. Тем не менее, данные увеличения находятся в допустимых пределах и не оказывают влияния на функциональные и качественные характеристики системы после завершения проектирования, что позволяет оценить предложенный метод как целесообразный и пригодный для решения задач размещения в сложных интегральных схемах.

Для эффективного решения обозначенных во время синтеза дерева такого сигнала проблем предлагаются подходы, основанные на применении нейронных сетей для выбора логических элементов, а также системы, использующие диффузионные модели с целью минимизации задержек тактового сигнала. Процесс выбора носит многостадийный характер и представляет собой (рис. 6)

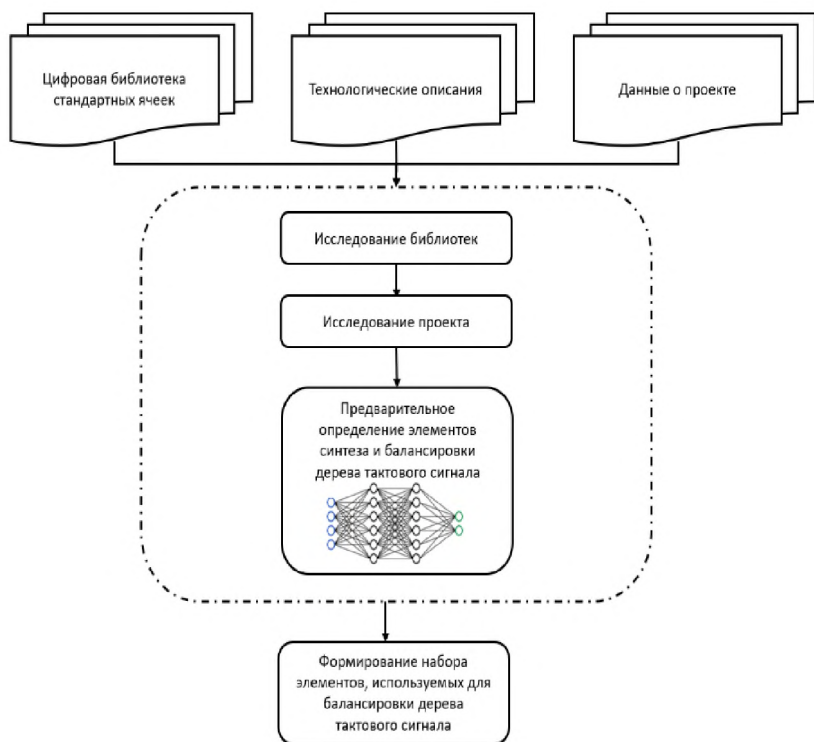


Рис. 6. Система выбора элементов, необходимых для построения дерева сигнала

последовательное исследование библиотеки, извлечение данных, отбор элементов с симметричными задержками на входе и выходе, а затем окончательный выбор элементов на основе методов МО. Это обеспечивает возможность при оптимизации учитывать также энергопотребление ИС. После построения дерева его дальнейшая оптимизация осуществляется с использованием диффузионных моделей, в ходе чего

на каждом этапе последовательно добавляется шум с целью достижения более устойчивого и оптимального решения. Несмотря на незначительные изменения отдельных параметров, предлагаемый метод обеспечивает существенное улучшение системных характеристик. В частности, количество разомкнутых и коротких соединений было сокращено в 4 и 2 раза соответственно, а энергопотребление снижено на 9% за счёт увеличения времени выполнения на 3,3%

Для выявления критических путей в процессе трассировки предлагается использовать единую модель МО, обученную на соответствующей базе данных. На последующем этапе сама трассировка выполняется в среде САПР. Такой подход позволяет эффективно преодолеть отмеченные ранее недостатки, обеспечивая более высокую точность выявления приоритетных соединений при одновременном снижении времени выполнения и соблюдении физических ограничений проектирования.

В третьей главе представлен разработанный программный комплекс РМО, который благодаря единому и интуитивно понятному интерфейсу упрощает процесс физического проектирования (рис 7).

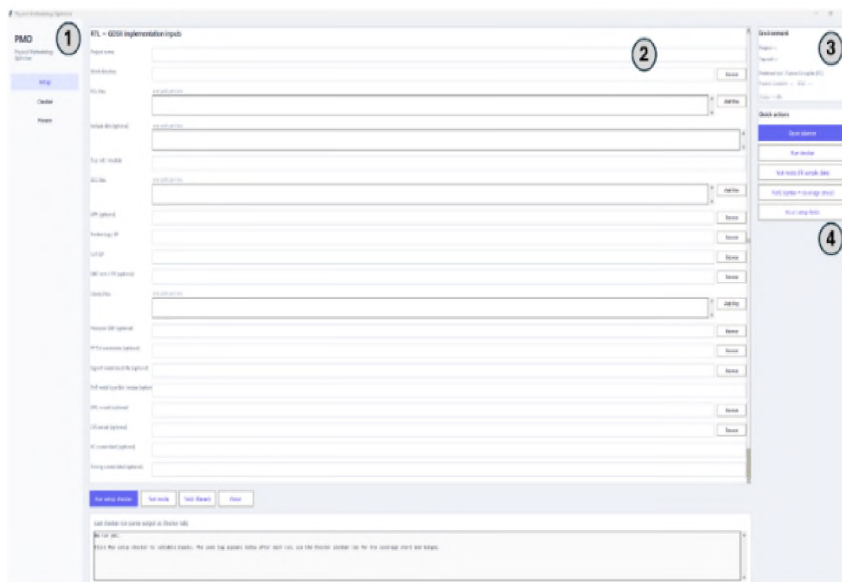


Рис 7. Графический интерфейс программного инструмента РМО

Первое окно предназначено для определения соответствующего этапа маршрута физического проектирования; в нём предоставляется возможность запустить одно из заданных окон. Второе окно используется для ввода исходных данных и параметров, необходимых для проектирования. Третье окно служит для

вывода структурной информации и промежуточных результатов, сформированных в процессе проектирования. Четвёртое окно предназначено для запуска процесса и контроля его выполнения.

После ввода исходных описаний собственно проектирование выполняется в окне «Planner» методом последовательного запуска этапов: топологического проектирования, проектирования сети питания, размещения, синтеза дерева такого сигнала и трассировки (рис 8).

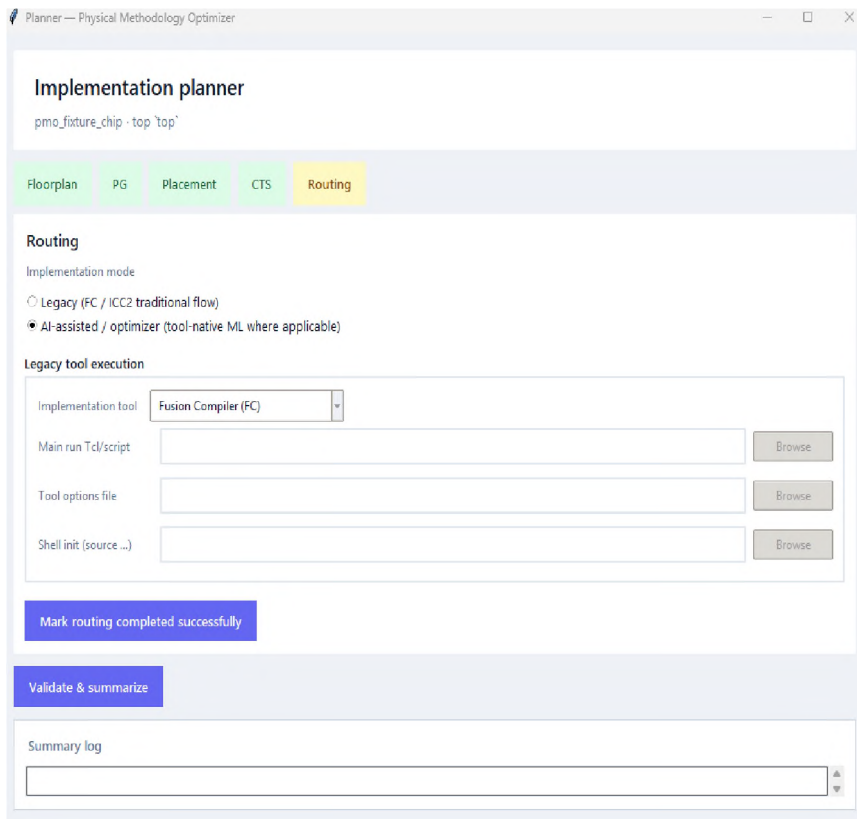


Рис 8. Графический интерфейс «Planner»

Для оценки эффективности разработанного программного средства были проведены детальные экспериментальные проектирования, а полученные численные значения были тщательно сопоставлены с результатами, представленными в различных подходах, подробно описанных во 2-й главе диссертации (рис. 9).

Параметр	Подход	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Оценка эффективности применения комбинированного метода планировки и разработки сети топологии в среде проектирования РМО				
Время проектирования (день)	Рекомендуемый	8.5	10	8
	РМО	8.5	10	8
Коэффициент использования площади	Рекомендуемый	0.65	0.81	0.59
	РМО	0.65	0.81	0.59
Нарушение физических правил проекта (штук)	Рекомендуемый	876	712	259
	РМО	876	712	259
Общий отрицательный запас времени (ш)	Рекомендуемый	1.123	0.7721	0.9379
	РМО	1.123	0.7721	0.9379
Найбольшее статическое падение напряжения (В)	Рекомендуемый	0.0123	0.0124	0.0115
	РМО	0.0123	0.0124	0.0115
Найбольшее динамическое падение напряжения(В)	Рекомендуемый	0.072	0.079	0.0841
	РМО	0.072	0.079	0.0841
Энергопотребления в сети питания (%)	Рекомендуемый	89	94	96
	РМО	89	94	96
Оценка эффективности метода размещения в многопараметрической оптимизации в среде проектирования РМО				
Переполнение (%)	Рекомендуемый	0.185	0.24	0.19
	РМО	0.187	0.243	0.193
Рабочее время (минута)	Рекомендуемый	26.3	27.79	29.5
	РМО	25.87	27.45	29.02
Общая длина межсоединений (мм)	Рекомендуемый	12195	12966	15709
	РМО	11999	12758	15457
Общий отрицательный запас времени (мм)	Рекомендуемый	10.425	10.532	13.021
	РМО	10.258	10.363	12.81
Оценка эффективности процесса повышения эффективности проектирования и оптимизации дерева тактового сигнала в среде проектирования РМО				
Рабочее время (час)	Рекомендуемый	2.79	47.5	38.28
	РМО	2.79	47.6	38.29
Количество коротких межсоединений / количество размыкнутых межсоединений	Рекомендуемый	0/0	24/1	12/1
	РМО	1/1	26/1	12/1
Общий отрицательный запас времени (ш)	Рекомендуемый	0.156	0.276	0.313
	РМО	0.1583	0.294	0.316
Энергопотребления (мВт)	Рекомендуемый	0.3507	0.2984	0.3106
	РМО	0.3571	0.2994	0.3101

Оценка эффективности метода повышения эффективности трассировки в средстве проектирования РМО				
Рабочее время (час)	Рекомендуемый	0.97	0.34	0.61
	РМО	0.98	0.345	0.619
Нарушения физических правил проекта(штук)	Рекомендуемый	247	196	278
	РМО	250	198	282
Вторичные явления, обусловленные взаимодействием	Рекомендуемый	Имеются	Отсутствуют	Имеются
	РМО	Имеются	Отсутствуют	Имеются

Рис. 9. Оценка эффективности ПС РМО

Экспериментальные результаты показывают в среднем отклонение 1,5%, такой результат связан с наличием нелинейных явлений при решении задач оптимизации, присутствующих в программных средствах. Подобный результат свидетельствует о высокой эффективности ПС и не представляет проблемы для организаций, занимающихся проектированием ИС.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Предложены подходы к эффективному физическому проектированию цифровых интегральных схем на основе методов машинного обучения, которые с точки зрения целостности, универсальности, сокращения ресурсов и других аспектов удовлетворяют практическим требованиям проектирования современных схем [1-12].
2. Разработан обобщенный метод планирования и проектирования сети питания интегральных схем, в котором применение нейронных сетей при выборе коэффициента использования площади, реализации узлов «Ввод/Вывод» и определении архитектуры сети питания приводит к снижению времени проектирования за один цикл на 38%, уменьшению используемой площади на 7% и сокращению общей отрицательной задержки на 3%. При этом наихудшие статические и динамические падения напряжения остаются в нормативных пределах, за счет незначительного на 17% увеличения нарушений физических правил проектирования [4-7].
3. Разработан метод размещения и его многопараметрической оптимизации, в котором путем применения диффузионных моделей для узлов интеллектуальной собственности и выбора гиперпараметров с использованием дерева решений достигается сокращение времени выполнения на 13% и уменьшение суммарной длины межсоединений на 6% за счёт увеличения общей отрицательной задержки и перегрузки, составляющих соответственно около 4% и 11% [8-10].
4. Разработан маршрут проектирования и оптимизации дерева тактового сигнала, в котором за счёт выбора структурных элементов с помощью нейронных сетей и оптимизации с использованием диффузионных моделей задержки количество разомкнутых и коротких соединений было сокращено в 4 и 2 раза

соответственно, а энергопотребление снижено на 9% за счёт увеличения времени выполнения на 3,3% [3,11]

5. Предложен метод повышения эффективности трассировки, основанный на выявлении критических межсоединений и реализации управляемой трассировки с использованием нейронных сетей, применение которого приводит к снижению времени выполнения на 14% и уменьшению числа нарушений проектных правил на 30% за счёт возникновения вторичных эффектов [12].
6. РМО внедрён в инструментарий ЗАО «СИНОПСИС АРМЕНИЯ», а его применение позволило оптимизировать процесс физического проектирования интегральных схем преимущественно за счёт нейронных сетей, деревьев решений и диффузионных моделей, а также исключить количество циклов, обусловленных принятием решений в ходе проектирования. По сравнению с ранее представленными методами отклонение результатов программного средства составляет 1,5%, что связано с нелинейными явлениями, возникающими при решении задач оптимизации в программной среде.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Sense Amplifier Offset Error Correction Method for High Speed Systems / A. Aleksanyan, G. Grigoryan, T. Grigoryan, V. Abramyan, A. Ghazaryan // International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). – Cape Town, South Africa 2023 .- P. 1–4, doi: 10.1109/ICECET58911.2023.10389480.
2. Enhanced Jitter Correction Method for High-Performance Receivers/ A. Hekimyan, T. Grigoryan, G. Grigoryan, A. Ghazaryan, M. Israyelyan // International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). – Paris, France, 2025 .- P. 1-4, doi: 10.1109/ICECET63943.2025.11472003.
3. Development of parameterized model of logic elements at clock tree synthesis / V. Sh. Melikyan, A.A. Galstyan, S.A. Ghukasyan, A.A. Ghazaryan, E.E. Karapetyan // Proceedings of the RA NAS and NPUA, Series of Technical Sciences. – 2024. – Vol.77, no. 1.- P. 58-68, doi: 10.53297/0002306X-2024.v77.1-58.
4. The Floorplan Utilization Definition Using Neural Networks / K. Li, X. Zheng, A. Ghazaryan, N. Melikyan, T. Grigoryan// International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET). – Paris, France, 2025.- P. 1-4, doi: 10.1109/ICECET63943.2025.11472239.
5. Ghazaryan A. Optimizing Pin Placement Using Advanced Machine Learning Algorithms // 2025 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – Tbilisi, Georgia, 2025. – P. 1–5, doi: 10.1109/EWDTS67441.2025.11303707.
6. Ղազարյան Ա. Բարձր հաճախականային ինտեգրալ սխեմաներում ներդրումային ցանցերի կիրառմամբ հուսալի սնուցման ցանցի մշակումը // ՀԱՊՀ, Լրագրեր գիտական հոդվածների ժողովածու. -2025. - մաս. 1, էջ 123-128

7. Hovhannisyan A., Baskovchyan A., Ghazaryan A. Design of Feedback Circuit System Controlled by Artificial Neural Network // EU Collection of Scientific Articles .-2021 .- 12(01) .- P.531-539
8. Ghazaryan A. Macro Placement Optimization Using Diffusion Models // Vestnik of RAU (physical-mathematical and natural sciences) .- 2025 №1 .- P. 80-88
9. Ա.Ա. Ղազարյան, Ա.Մ. Դանիելյան Խստոր սզդանշանային ինտեգրալ սխեմաներում տեղաբաշխման օպտիմալացումը արհեստական բանականության կիրառմամբ // ՀԱՊՀ, Լրատվ. գիտական հոդվածների ժողովածու. -2025. - մաս. 1, էջ 118-122:
10. Ղազարյան Ա., Բարսյան Դ. 14նմ տեխնոլոգիական գործընթացի համար ցածր էներգատարածամբ openMSP430 սյրոցետրի նախագծումը // Բաներ Կանաձորի պետական համալսարան. Բնական և ճշգրիտ գիտություններ .- 2022.- No. 1 .- 37- 45էջ.
11. Ghazaryan A. The Skew Minimization Method Using Diffusion Models // Proceedings of the RA NAS and NPUA, Series of Technical Sciences. – 2024 .- Vol 77, no. 3 .- P. 331-338, doi: 10.53297/0002306X-2024.v77.3-331
12. Net Prioritization for Routing Using Machine Learning Models / K. Li, V. Melikyan, A. Ghazaryan, S. Melikyan, M. Grigoryan, A. Sahakyan // 2025 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).– Tbilisi, Georgia, 2025.– P. 1–5, doi: 10.1109/EWDTS67441.2025.11303693.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ինտեգրալ սինեմաների կիրառման ոլորտները շարունակաբար ընդլայնվում են, ինչը պայմանավորում է դրանց նկատմամբ պահանջարկի կայուն աճն ու միաժամանակ խստացում է նախագծման ընթացքում ներկայացվող տեխնիկական և որակական պահանջները: Մրցունակությունը պահպանելու և շուկայում առաջատար դիրքեր զբաղեցնելու նպատակով նախագծող կազմակերպությունները ձգտում են նվազեցնել նախագծման ժամանակի տևողությունը: Մինևույն ժամանակ, դիտվում է թվային սինեմաների կիրառման ծավալի աճի կայուն միտում: Այս պայմաններում առավել արդիական է դառնում նախագծման հոսքուղիների կատարելագործումը, ավտոմատացման խորացումը և նոր մեթոդների ներդրումը՝ ապահովելու բարձր ճշգրտություն, հուսալիություն և արդյունավետություն:

Նշված պայմաններում առանձնահատուկ կարևորություն է ստանում ֆիզիկական նախագծման փուլը, որը ներառում է հատակագծման իրականացումը, սնուցման ցանցի նախագծումը, տարրերի տեղաբաշխումը, սինքրոագրանշանի ծառի սինթեզը և ծրագծումը: Այս փուլերի արդյունավետ իրականացումը ուղղակիորեն ազդում է վերջնական նախագծի արագագործության, էներգաարդյունավետության և հուսալիության վրա:

Ժամանակակից էլեկտրոնային ավտոմատացված նախագծման ոլորտի առաջատարները տրամադրում են բազմազան ծրագրային միջոցներ, որոնք ավտոմատացնում են վերոնշյալ գործընթացների զգալի մասը: Սակայն տեխնոլոգիական նորմերի շարունակական մասշտաբավորման և նախագծերի կառուցվածքային բարդության աճի պայմաններում դասական ալգորիթմական մոտեցումները հաճախ այլևս չեն ապահովում բավարար արդյունավետություն: Արդյունքում նախագծողները հաճախ դիմում են փորձարարական մեթոդների և փորձի վրա հիմնված լուծումների կիրառմանը, ինչը կարող է հանգեցնել արդյունքների անկայունության:

Վերջին տարիներին ակնհայտորեն աճել է նախագծման հոսքուղու պարզեցման, ավտոմատացման և ստանդարտացման անհրաժեշտությունը: Այս համատեքստում մեծ հեռանկար է բացվում մեքենայական ուսուցման ժամանակակից ալգորիթմների կիրառման համար: Դրանք հնարավորություն են տալիս բարելավելու որոշումների ընդունման գործընթացը, նվազեցնելու մարդկային գործունի ազդեցությունը և բարձրացնելու նախագծման ընդհանուր արդյունավետությունը: Մեքենայական ուսուցման մեթոդների ինտեգրումը նախագծման հոսքուղում կարող է հանգեցնել ավելի որակյալ, արագ և կայուն արդյունքների՝ միաժամանակ նվազեցնելով օգտագործվող հաշվարկային և ժամանակային ռեսուրսները:

Առաջարկվել են մեքենայական ուսուցման վրա հիմնված թվային ինտեգրալ սինեմաների արդյունավետ ֆիզիկական նախագծման մոտեցումներ, որոնք ամբողջականության, համապիտանիության, ռեսուրսների կրճատման և այլ

տեսանկյուններից բավարարում են ժամանակակից սխեմաների նախագծման գործնական պահանջները:

Մշակվել է ինտեգրալ սխեմաների հատակագծման և սնուցման ցանցի նախագծման միավորված մեթոդ, որում կիրառվող մակերեսի գործակցի, Մ/Ե հանգույցների իրագործման և սնուցման ցանցի ճարտարապետության որոշման դեպքում նեյրոնային ցանցերի կիրառումը հանգեցնում է մեկ ցիկլի ընթացքում նախագծման ժամանակի 38%, կիրառվող մակերեսի 7% և ընդհանուր բացասական հապաղման 3% լավարկման, ընդ որում՝ վատագայուն ստատիկ և դինամիկ լարման անկումները շարունակում են մնալ նորմատիվային սահմաններում, ի հաշիվ նախագծի ֆիզիկական կանոնների խախտումների աննշան 17% աճի:

Ստեղծվել է տեղաբաշխման և բազմապարամետրական լավարկման եղանակ, որում մտավոր սեփականության հանգույցների դիֆուզիոն մոդելների և գերկարգավորումների որոշումների ծառի օգտագործմամբ ընտրության արդյունքում աշխատաժամանակը լավարկվել է 13 %-ով, և ընդհանուր միջմիացումների երկարությունը նվազել է 6%-ով՝ ընդհանուր բացասական հապաղման և գերլցման աճի հաշվին, որոնք համապատասխանաբար կազմում են մտավորապես 4 % և 11 %:

Մշակվել է սինքրոազդանշանի ծառի նախագծման և լավարկման մշակման հոսքուղի, որում կառուցվածքային տարրերի նեյրոնային ցանցերի միջոցով ընտրության և հապաղման դիֆուզիոն մոդելների կիրառմամբ, լավարկման հաշվին, կարճ և բաց միացումների քանակը կրճատվել են համապատասխանաբար 4 և 2 անգամ, իսկ էներգասպառումը նվազել է 9%-ով, աշխատաժամանակի 3,3 %-ով աճի հաշվին:

Նախագծվել է ծրագրման արդյունավետության բարձրացման մեթոդ, որը հիմնված է առանցքային միջմիացումների հայտաբերման և կարգավորված ծրագրման իրականացման վրա՝ նեյրոնային ցանցերի միջոցով: Դրա կիրառումը հանգեցնում է աշխատաժամանակի և նախագծման կանոնների խախտումների համապատասխանաբար 14% և 30% կրճատման պայմանավորված երկրորդական երևույթների առաջացմամբ:

PMO (Physical Methodology optimizer) ներդրված է <<ՄԻՆՈՓՄԻՍ ԱՐՄԵՆԻՍ>> ՓԲԸ գործիքակազմում, իսկ ծրագրային միջոցի կիրառումը թույլ է տվել օպտիմալացնել ինտեգրալ սխեմաների ֆիզիկական նախագծման գործընթացը՝ հիմնականում նեյրոնային ցանցերի, որոշումների ծառերի և դիֆուզիոն մոդելների շնորհիվ, ինչպես նաև բացառել նախագծման ընթացքում որոշումների կայացմամբ պայմանավորված ցիկլերի քանակը: Նախորդիվ ներկայացված մեթոդների համեմատ՝ ծրագրային միջոցի շեղումը կազմում է 1,5%, ինչը պայմանավորված է ծրագրային միջոցներում առկա օպտիմալացման խնդիրների լուծման ընթացքում առկա ոչ գծային երևույթների հետ:

**DEVELOPMENT OF PHYSICAL DESIGN METHODS USING MACHINE
LEARNING**

SUMMARY

The application domains of integrated circuits are continuously expanding, which leads to a steady increase in demand for them while simultaneously imposing stricter technical and quality requirements during the design process. In order to maintain competitiveness and occupy leading positions in the market, design organizations strive to reduce the duration of the design cycle. At the same time, there is a steady growth trend in the use of digital circuits, which adds further complexity to the design process.

Under these conditions, the physical design stage gains particular importance, as it includes floorplanning, power network design, placement of elements, clock tree synthesis, and routing. The effective implementation of these stages directly impacts the performance, energy efficiency, and reliability of the final design.

Leading companies in modern electronic design automation provide a variety of software tools that automate a significant portion of these processes. However, with the continuous scaling of technological nodes and the increasing structural complexity of designs, classical algorithmic approaches often no longer provide sufficient efficiency. As a result, designers frequently resort to experimental methods and experience-based solutions, which can lead to instability in results.

In recent years, there has been a clear increase in the need to simplify, automate, and standardize the design flow. In this context, significant potential is seen in the application of modern machine learning algorithms. These methods enable improved decision-making, reduce the influence of the human factor, and increase overall design efficiency. The integration of machine learning methods into the design flow can lead to higher quality, faster, and more stable results while reducing computational and time resources.

Machine learning-based approaches for the efficient physical design of digital integrated circuits have been proposed, which, in terms of integrity, universality, resource reduction, and other aspects, satisfy the practical requirements of modern circuit design.

A unified method for integrated circuit floorplanning and power network design has been developed, in which the use of neural networks for determining the utilization factor, implementing I/O pins, and defining the power network architecture leads to a 38% improvement in design time per cycle, a 7% reduction in utilized area, and a 3% improvement in total negative slack. At the same time, the worst-case static and

dynamic voltage drops remain within prescribed limits, at the cost of a slight 17% increase in physical design rule violations.

A method for placement and multiparameter optimization has been developed, in which the use of diffusion models for intellectual property blocks and decision trees for hyperparameter selection results in a 13% improvement in runtime and a 6% reduction in total interconnect length, at the cost of increases in total negative slack and congestion, which amount to approximately 4% and 11%, respectively.

A clock tree synthesis and optimization flow has been developed, in which the use of neural networks for selecting structural elements and diffusion models for delay optimization reduces the number of short and open connections by 4 and 2 times, respectively, while power consumption is reduced by 9%, at the cost of a 3.3% increase in runtime.

A method for improving routing efficiency has been developed, based on identifying critical interconnects and performing guided routing using neural networks. Its application leads to 14% and 30% reductions in runtime and design rule violations, respectively, due to the emergence of secondary effects.

PMO (Physical Methodology optimizer) has been integrated into the toolset of "SYNOPSIS ARMENIA" CJSC, and the application of this software tool has made it possible to optimize the physical design process of integrated circuits mainly through the use of neural networks, decision trees, and diffusion models, while also eliminating the number of design cycles caused by decision-making during the design process. Compared with the previously presented methods, the deviation of the software tool is 1.5%, which is because of nonlinear phenomena arising during the solution of optimization problems in software environments.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Chuyf', written in a cursive style.