

# Автоматизированное размещение элементов на гибко-жесткую печатную плату

П. А. Макеев

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия

pragramer@yandex.ru

**Аннотация.** Разработана методика автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткую печатную плату. Рассмотрен процесс автоматизированного проектирования гибко-жестких печатных плат. Проведена апробация методики на реальном практическом примере.

**Ключевые слова:** автоматизированное размещение элементов; гибко-жесткая печатная плата; генетический алгоритм; тепловая совместимость; электромагнитная совместимость

## I. ВВЕДЕНИЕ

Тенденции развития современных электронных средств (ЭС) направлены на общую миниатюризацию изделий. Уменьшение габаритных размеров ЭС достигается, в том числе, за счёт уменьшения размеров находящихся в них электронных модулей, на основе печатных плат (ПП). Уменьшение размеров ПП в свою очередь возможно за счет уменьшения размеров микросхем и более плотного размещения элементов на ПП. Однако более плотное размещение теплонагруженных элементов приводит к возникновению проблем, связанных с тепловой совместимостью (ТС) ЭС. Также при плотном размещении различных высокоскоростных интерфейсов возникают сложности в части обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) ЭС. Таким образом, уменьшение габаритных размеров ЭС приводит к возникновению проблем, связанных с ТС и ЭМС на ПП ЭС [1–6].

Для уменьшения объема межплатного монтажа и обеспечения еще более плотной компоновки ПП внутри ЭС применяются гибко-жесткие ПП (ГЖПП). Применение ГЖПП позволяет отказаться от необходимости использования соединителей, занимающих существенную площадь на ПП. Вместе с уменьшением габаритных размеров ЭС применение ГЖПП позволяет улучшить технологичность сборки и обеспечить наилучшую повторяемость изделий.

Целью данной работы является повышение эффективности и качества процедуры автоматизированного размещения элементов на ГЖПП.

## II. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ГЖПП ЭС

Технология автоматизированного проектирования ПП включает в себя следующие основные этапы:

- схемотехническое проектирование;
- конструкторское проектирование;
- технологическое проектирование.

Размещение элементов на ГЖПП относится к этапу конструкторского проектирования, на котором определяются габаритные размеры ПП, и формируется топология платы. Процесс автоматизированного проектирования ГЖПП приведен на рис. 1.

Первым этапом при проектировании платы является формирование схемотехнического решения для ГЖПП. На данном этапе формируются электрическая схема и ограничения. В качестве ограничений могут быть максимальные расстояния между определенными элементами, обусловленные электрическими параметрами элементов.

На следующем этапе создания конструкторского решения для ГЖПП формируются габаритные размеры ГЖПП и конструктивные ограничения на размещение элементов, например, фиксированное расположение элементов для которых необходима установка дополнительных радиаторов охлаждения.

Таким образом, на этап автоматизированного размещения элементов на ГЖПП поступают исходные данные с первых двух этапов, а именно: схема электрическая, габаритные размеры ГЖПП, электрические и конструкторские ограничения. Для решения задачи автоматизированного размещения элементов на ГЖПП инженеру-конструктору необходимо выполнить выбор ограничений, критериев и алгоритмов. Так как инженер-конструктор ГЖПП может не обладать знаниями в данной предметной области предлагается применение методики автоматизированного размещения элементов на ГЖПП ЭС с учетом ТС и ЭМС на основе двухуровневого генетического алгоритма.

Структура методики представлена на рис. 2. Рассмотрим основные этапы предлагаемой методики автоматизированного размещения элементов на ГЖПП.

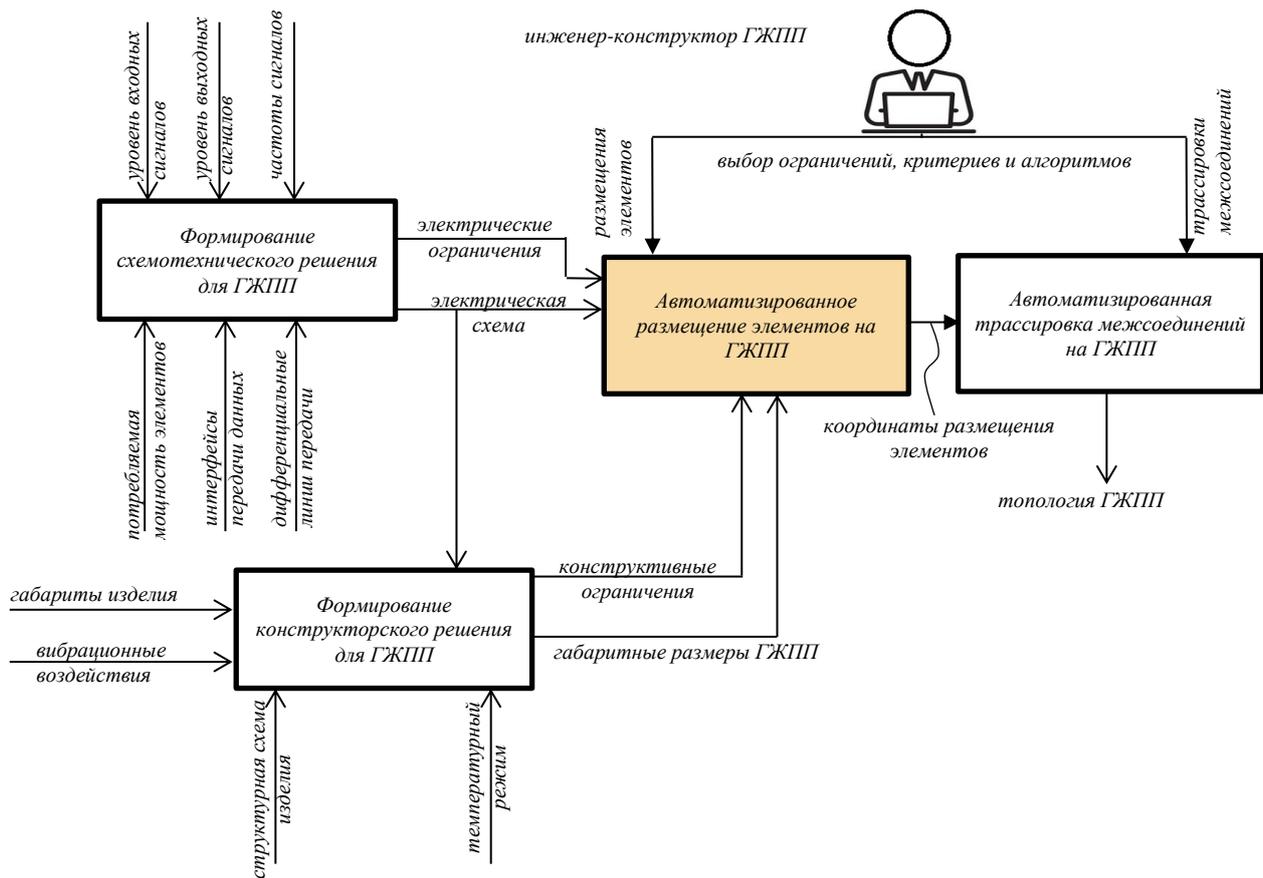


Рис. 1. Процесс автоматизированного проектирования ГЖПП

Отличительной особенностью методики является декомпозиция задачи размещения элементов на ГЖПП на два уровня. На первом уровне методики предполагается размещение суперэлементов на ГЖПП. Под суперэлементом в рамках данной работы понимается набор элементов, состоящий из активного элемента – микросхемы и связанных с ним пассивных элементов (резисторы, конденсаторы и т. д.). Второй уровень заключается в размещении элементов внутри суперэлемента. Для решения задачи размещения на каждом из уровней предлагается применение модифицированного генетического алгоритма [7, 8].

При размещении суперэлементов на ГЖПП на первом уровне предлагаемой методики оценка качества осуществляется на основе критерия ТС согласно следующему выражению:

$$F_{SEI} = (k_t F'_{termo} + k_s F'_{sum}) \rightarrow max,$$

где  $F_{SEI}$  – целевая функция для размещения суперэлементов,  $k_t$  и  $k_s$  – весовые коэффициенты для критерия равномерного распределения теплонагруженных элементов и критерия минимума суммарно взвешенной длины,  $F'_{termo}$  и  $F'_{sum}$  – нормализованные критерии качества. Данные критерии качества рассмотрены в работе [7] подробно.

На втором уровне методики оценка качества размещения элементов оценивается на основе критерия ЭМС по следующему выражению:

$$F_{EI} = (k_{EMC} F'_{EMC} + k_s F'_{sum}) \rightarrow max,$$

где  $F_{EI}$  – целевая функция для размещения элементов внутри суперэлемента,  $k_{EMC}$  – весовой коэффициент для критерия ЭМС,  $F'_{EMC}$  – нормализованный критерий ЭМС. Данные критерии качества рассмотрены подробно в работе [8].

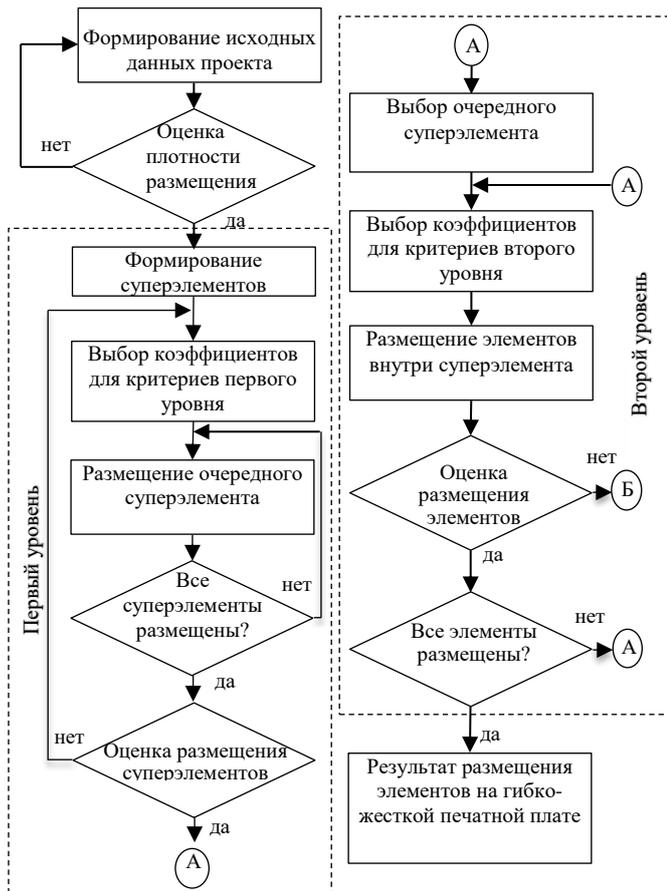


Рис. 2. Методика автоматизированного размещения элементов на ГЖПП

По окончании размещения элементов на ГЖПП на каждом из уровней происходит оценка полученного решения путем проведения моделирования в специализированных программных комплексах или на основе значений критериев качества.

### III. ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР. УСТРОЙСТВО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ

Рассмотрим применение разработанной методики на практическом примере.

**Формирование исходных данных проекта.** Устройство вычислительное предназначено для обработки информации, полученной с различных периферийных систем. Конструктивно данное устройство представляет собой ГЖПП, состоящую из двух жестких и одной гибкой части. Количество элементов, подлежащих размещению, составляет 256 элементов. Согласно конструктивным особенностям устройства, размещение основных элементов (процессор, микросхемы памяти, соединители) осуществляется на фиксированные места. Среди основных элементов можно выделить следующие:

- процессор (потребление 700 мВт);
- микросхемы памяти стандарта DDR4 (потребление 100 мВт);
- контроллер Ethernet (потребление 70 мВт);

- трансформатор (потребление 10 мВт);
- источники вторичного питания (потребление 100 мВт);
- соединители;
- пассивные элементы (резисторы, конденсаторы).

Размеры ГЖПП составляют 90x60 мм, причем размеры одного жесткого участка составляют 59x60 мм, а другого 17x31 мм. Согласно конструктивных особенностей устройства, микросхемы памяти расположены на второй жесткой части ГЖПП в фиксированных местах. Расположение процессора также является фиксированным, для установки дополнительного радиатора системы охлаждения.

**Формирование суперэлементов.** Схема электрическая устройства вычислительного состоящая из 256 элементов приведена к 8 суперэлементам, максимальное количество элементов внутри суперэлемента составляет 53.

**Выбор коэффициентов для критериев первого уровня.** Значение коэффициентов  $k_t$  выбрано 0,2, а значение  $k_s=0,8$  соответственно. Ввиду фиксированного расположения основных элементов и малых размеров ГЖПП устройством целесообразно производить размещение элементов, делая приоритет на критерий минимума суммарно взвешенной длины.

**Размещение очередного суперэлемента.** В соответствии с методикой размещения элементов на ГЖПП, управляющие параметры генетического алгоритма выбраны следующие: размер популяции хромосом – 80, значение условия останова – 80, вероятность мутации – 0,2. Результат размещения суперэлементов на ГЖПП приведен на рис. 3.

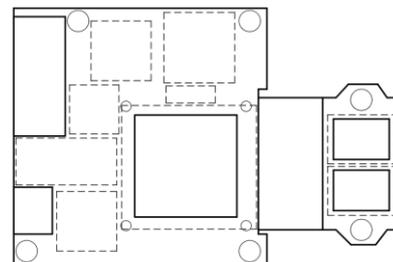


Рис. 3. Результат размещения суперэлементов на ГЖПП

**Оценка размещения суперэлементов.** С целью верификации проектного решения ГЖПП с точки зрения ТС проведено моделирование тепловых процессов устройства вычислительного. Результаты теплового моделирования устройства на ГЖПП приведены на рис. 4.

Результаты теплового моделирования устройства вычислительного на ГЖПП показывают отсутствие перегревов микросхем за исключением микросхемы процессора, на которой согласно конструкции изделия, предполагается установка дополнительного радиатора. Таким образом, результат автоматизированного размещения суперэлементов является приемлемым для дальнейшего размещения элементов на ГЖПП.

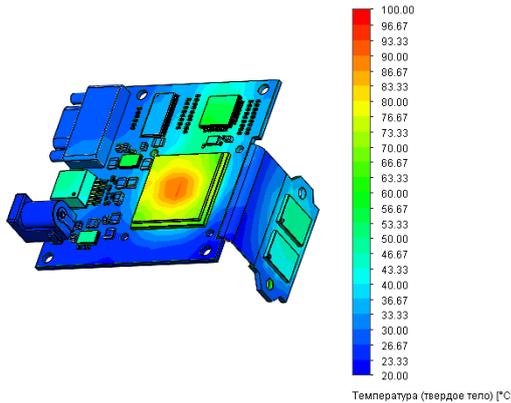


Рис. 4. Результаты теплового моделирования устройства вычислительного на ГЖПП

Выбор коэффициентов для критериев второго уровня. С целью обеспечения целостности питания ГЖПП по критерию ЭМС для микросхем процессора и памяти весовые коэффициенты  $k_{EMC}$  и  $k_s$  назначаются по 0,9 и 0,1 соответственно для суперэлементов, в которые входят данные микросхемы. Для остальных суперэлементов значения  $k_{EMC}$  и  $k_s$  составляют 0,4 и 0,6 соответственно.

Размещение элементов внутри суперэлемента. Управляющие параметры генетического алгоритма подбираются исходя из рекомендаций к методике. Для суперэлемента с максимальным количеством элементов равного 53, управляющие параметры генетического алгоритма устанавливаются следующим образом: размер популяции хромосом – 530, значение условия останова – 530, вероятность мутации – 0,2. Результат размещения элементов на ГЖПП приведен на рис. 5.

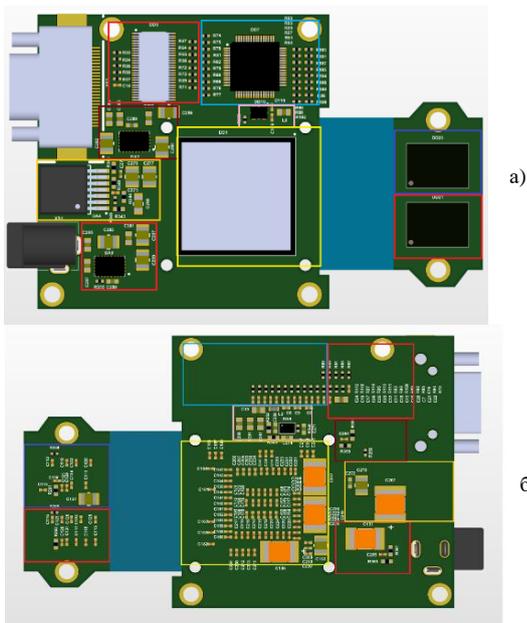


Рис. 5. Результат размещения элементов на ГЖПП устройства вычислительного: а) лицевая сторона, б) обратная сторона

Оценка размещения элементов. С целью верификации полученного результата размещения элементов на ГЖПП устройства относительно

целостности питания, для микросхем процессора и памяти производилось моделирование входного импеданса для цепей питания. Целевые и расчетные импедансы для цепи питания ГЖПП приведены на рис. 6 (1 – целевой импеданс микросхемы процессора, 2 – целевой импеданс микросхемы памяти, 3 – расчетный импеданс микросхемы процессора, 4 – расчетный импеданс микросхемы памяти).

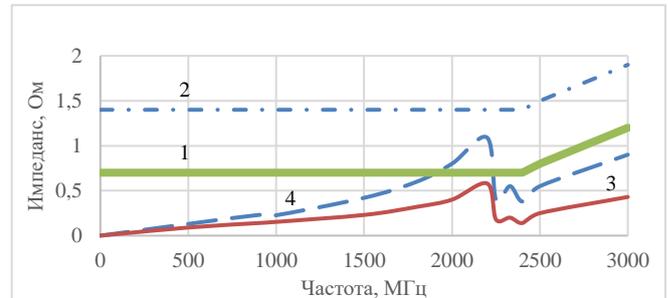


Рис. 6. Импедансы для цепей питания

Результат размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате. Результаты проведенного моделирования тепловых процессов и входного импеданса цепей питания позволяют использовать полученное автоматизированное размещение элементов на ГЖПП на этапе её трассировки.

Проводился сравнительный анализ между ручным и автоматизированным вариантом размещения элементов на ГЖПП. Размещение осуществлялось 3 инженерами различного уровня подготовки в ручном режиме и в автоматизированном режиме с применением разработанной методики. Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1.

Режим размещения	Затраченное время, мин.	Значение целевой функции ТС	Значение целевой функции ЭМС
Ручной, инженер 1	240	0,724	0,832
Ручной, инженер 2	180	0,683	0,867
Ручной, инженер 3	150	0,811	0,874
Автоматизированный режим	23	0,843	0,945

Таким образом, при автоматизированном размещении элементов на ГЖПП устройства вычислительного значение целевой функции улучшено на 4% и 8% по ТС и ЭМС соответственно, а, время, затраченное на проектирование, уменьшено в 6,5 раза.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Апробация методики автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткую печатную плату на реальных проектах устройства подтверждает эффективность, предложенного в работе подхода к решению задачи, а именно время, затрачиваемое на размещение элементов на гибко-жесткую печатную плату, сократилось в 6,5 раз, относительно ручного варианта размещения элементов на плату инженером.

2. Применение данной методики позволило повысить качество реальных проектов устройств на основе гибко-жестких печатных плат, по значениям критериев

тепловой и электромагнитной совместимости, до 8 % относительно ручного варианта размещения элементов на плату инженером.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Уайтт К., Рентюк В. Особенности конструирования печатных плат с выполнением требований по ЭМС // Компоненты и технологии. 2019. № 6 (215). С. 121-128.
- [2] Ромащенко М.А. Методика анализа помехоустойчивости печатных плат при проектировании РЭС с учетом ЭМС // Радиотехника. 2014. № 3. С. 92-95.
- [3] Глотов В.В., Ромащенко М.А. Оптимизация радиоэлектронных устройств по критериям внутриаппаратурной электромагнитной совместимости // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14. № 4. С. 103-107.
- [4] Фэйсал Р.Г., Хади О.Ш., Литвинов А.Н., Баннов В.Я. Анализ тепловых полей печатных узлов // Theoretical & Applied Science. 2016. № 2 (34). С. 58-65. DOI: 10.15863/TAS.2016.02.34.10.
- [5] Селиванов К.В., Долотов И.И., Домников А.С. Выбор конструкционных материалов и приемов для эффективного отвода тепла от печатных плат // Технологии инженерных и информационных систем. 2023. № 1. С. 3-11.
- [6] Гуицев А.И., Губанов И.О., Плеханов В.М., Токарев Д.Г. Исследование тепловых режимов печатных плат радиоэлектронных средств и вычислительной техники при конвекционном и радиационном теплообменах // Вестник НГИЭИ. 2014. № 12 (43). С. 88-93.
- [7] Макеев П.А. Двустороннее автоматизированное размещение элементов на гибко-жесткой печатной плате на основе двухуровневого генетического алгоритма // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2021. № 5. С. 28-36.
- [8] Макеев П.А. Автоматизированное размещение развязывающих конденсаторов на печатной плате генетическим алгоритмом // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2022. Т. 15. № 3. С. 32-41. DOI: 10.32603/2071-8985-2022-15-3-32-41.