

Автоматизированное проектирование конструктивных модулей суперкомпьютера с использованием бионических методов

Сведения об авторах

Чермошенцев Сергей Федорович, д.т.н., профессор (Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Суздальцев Илья Владимирович, ассистент (Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Краткая аннотация

Рассматриваются основные проблемы проектирования аппаратных средств современных суперкомпьютеров, связанные с обеспечением их электромагнитной и тепловой совместимости. Для решения данных проблем предлагается технология многокритериального автоматизированного проектирования конструктивных модулей суперкомпьютеров. Выполнение многокритериальных процедур проектирования конструктивных модулей суперкомпьютеров осуществляется с использованием бионических методов оптимизации.

Ключевые слова: конструктивные модули суперкомпьютера, электромагнитная совместимость, тепловая совместимость, технология автоматизированного проектирования, компоновка, размещение, трассировка, бионические методы и алгоритмы.

Введение

Основные тенденции развития аппаратных средств суперкомпьютеров направлены на повышение их производительности, снижение объема конструкции, мощности энергопотребления при сохранении высоких показателей надежности и функциональной безопасности. Производительность современных суперкомпьютеров, разработанных в таких странах как США и Япония, сохраняющих мировое лидерство в этой сфере, достигла к 2011 году значения 20 петафлопс. Необходимость в повышении эффективности решения ресурсоемких задач, с использованием суперкомпьютеров, требует от их разработчиков дальнейшего увеличения производительности. По оценкам ряда экспертов, к 2015 году производительность суперкомпьютеров уже должна находиться в диапазоне от 100 до 200 петафлопс, а в период с 2016 по 2020 годы превысить значение 1 эксафлопс [1]. Рост производительности суперкомпьютеров при проектировании аппаратных средств достигается путем распараллеливания процессов обработки и передачи информации, увеличения тактовых частот сигналов, уменьшения времени переключения логических элементов, а также ряда других схемотехнических, конструктивных и технологических решений проектировщиков. Снижение объема конструкции аппаратных средств суперкомпьютера требует повышения степени интеграции элементной базы, плотного размещения конструктивных модулей (всех уровней иерархии) и сближения их межсоединений.

Конструктивные модули на основе печатных плат (вычислительные процессорные модули, модули оперативной памяти, модули управления, модули на основе объединительной платы, модули источника питания) являются важнейшей сборочной единицей суперкомпьютера. Для достижения высоких показателей быстродействия, миниатюризации и надежности современных суперкомпьютеров

важную роль, при проектировании конструктивных модулей, приобретает эффективное решение проблем, связанных с обеспечением их электромагнитной (ЭМС) и тепловой совместимости.

Проектирование печатных плат современных цифровых электронных средств выполняется с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР). В современных САПР (таблица 1) в настоящее время применяются технологии однокритериального автоматизированного проектирования печатных плат, что не позволяет обеспечить эффективного решения представленных проблем. Автоматизированное выполнение некоторых проектных процедур с использованием современных САПР и вовсе оказывается невозможным.

Таблица 1. Обзор современных САПР печатных плат

Название САПР (компания- производитель, страна)	Board Station, Expedition Enterprise PCB, PADS (Mentor Graphics, США)	CR5000, CadStar (Zuken, Япония)	PCB Design Studio, OrCAD (Cadence, США)	Circuit Design Suite (National Instruments)	Protel, P-CAD (Altium, Австралия)
Критерии процедуры компоновки	<i>Автоматизированное выполнение процедуры невозможно</i>				
Критерии процедуры размещения	Минимум суммарно-взвешенной длины соединений компонентов				<i>Автоматизи- рованное выполнение процедуры невозможно</i>
Критерии процедуры трассировки	Минимум суммарной длины проводников				

Данный проект посвящен разработке автоматизированной технологии проектирования конструктивных модулей, использующей новый подход для обеспечения ЭМС и нормального теплового режима суперкомпьютера. Суть данного подхода основывается на оптимизации процедур автоматизированного проектирования конструктивных модулей (процедур компоновки конструктивных модулей, размещения компонентов в конструктивных модулях и трассировки их межсоединений), с учетом критериев ЭМС и тепловой совместимости.

Предлагаемый подход к проектированию конструктивных модулей развивает перспективное направление по созданию аппаратного обеспечения высокопроизводительных систем, т.е. разработке новых методов автоматизированного проектирования, которые могут значительно повысить производительность, надежность и функциональную безопасность суперкомпьютеров.

1. Электромагнитная и тепловая совместимость конструктивных модулей суперкомпьютеров

В проблеме обеспечения ЭМС конструктивных модулей суперкомпьютеров выделяют ряд следующих задач[2].

1. *Снижение задержек сигналов при распространении по межсоединениям конструктивных модулей суперкомпьютера.* Задержка сигналов в межсоединениях существенным образом влияет на длительность выполнения циклов обработки или обмена информации в устройствах суперкомпьютера, что характеризует его системную производительность. По этой причине, возникает потребность в минимизации задержек сигналов в межсоединениях.

Ввиду конструктивных особенностей различных межсоединений, время распространения (задержка) сигналов в них может отличаться. Флуктуация временных параметров различных межсоединений приводит к возникновению эффекта «состязания» сигналов в различных цепях, становиться причиной их относительного запаздывания при поступлении на входы одной микросхемы и, как следствие - нарушения функционирования суперкомпьютера. В связи с уменьшением времени переключения логических элементов и увеличением числа синхронных схем, учет параметров задержек при проектировании межсоединений приобретает все большую значимость.

2. *Снижение уровня электромагнитных помех, связанных с отражением сигналов в межсоединениях конструктивных модулей суперкомпьютера.* Отражение сигналов в межсоединениях возникает в местах изменения их волновых сопротивлений, называемых неоднородностями. Характерными неоднородностями межсоединений суперкомпьютера, выполненных в виде проводников на печатных платах, являются: стыки двух участков проводников, с различной шириной; соединение проводника с отверстием межслойного перехода; места изгибов проводников; контакты проводников с выводами микросхем и т.п. Отраженный сигнал в межсоединениях накладывается на полезный, вызывая искажение его формы. Искаженные сигналы, при поступлении на входы микросхемы, могут привести к их некорректной работе и возникновению сбоев в работе суперкомпьютеров. Уменьшение длительностей фронтов сигналов, для достижения высоких показателей быстродействия суперкомпьютера, приводит к росту уровня помех отражения, что требует при проектировании межсоединений повышения их однородности и согласования с нагрузкой.

3. *Снижение уровня перекрестных помех в межсоединениях конструктивных модулей суперкомпьютера.* Перекрестные помехи образуются между, близко расположенными друг от друга, параллельными участками межсоединений. При этом, изменение логического уровня сигнала в одном межсоединении, приводит к возникновению ложных или искажению формы полезных сигналов в другом, ввиду наличия между ними электромагнитных связей. Сближение межсоединений, а также повышение крутизны фронтов импульсных сигналов ведет к усилению электромагнитных взаимовлияний между межсоединениями и росту уровня перекрестных помех. В связи с этим, при проектировании межсоединений для современных суперкомпьютеров, задача снижения уровня перекрестных помех является весьма актуальной.

4. *Снижение уровня помех в системе питания и заземления суперкомпьютера.* Помехи по цепям питания и земли возникают из-за влияния их индуктивных параметров, при одновременном переключении элементов микросхемы из одного

логического состояния в другое. Подобные явления приводят к изменению порога срабатывания и времени задержки распространения сигнала внутри микросхем во время их переключения, что в некоторых случаях, может также становиться причиной нарушения их работоспособности. Росту уровней помех по цепям питания и заземления способствуют следующие факторы: увеличение количества одновременно переключаемых элементов в составе суперкомпьютера; уменьшение времени переключения элементов микросхем из одного логического состояния в другое; уменьшение номинальных напряжений питания микросхемы при повышении мощности ее энергопотребления; увеличение числа элементов в составе микросхем с общими выводами питания и заземления. Ввиду указанных факторов возникает потребность в снижении помех в цепях питания и заземления, что может быть достигнуто путем минимизации их полного сопротивления при проектировании конструктивных модулей суперкомпьютеров.

5. Снижение уровня помех в межсоединениях конструктивных модулей суперкомпьютера при внешних электромагнитных воздействиях. Конструктивные модули суперкомпьютера подвержены воздействию внешних электромагнитных полей от преднамеренных и непреднамеренных источников. В качестве непреднамеренных источников внешних электромагнитных воздействий выступают, например, грозовые разряды молнии, радиопередающие устройства, или соседние конструктивные модули суперкомпьютера. К преднамеренным источникам воздействий относят средства электромагнитного терроризма. При превышении допустимого уровня, внешние электромагнитные воздействия способны привести к искажению, уничтожению или блокированию информации при обработке, хранении или ее передаче, а в некоторых случаях к физическому разрушению отдельных модулей суперкомпьютера. Возникает необходимость в повышении устойчивости суперкомпьютера к внешним электромагнитным воздействиям и обеспечении его информационной безопасности [3].

6. Снижение уровня электромагнитного излучения от конструктивных модулей суперкомпьютера. Рост тактовых частот приводит к увеличению уровня излучаемых полей от конструктивных модулей суперкомпьютера. В связи с этим, при проектировании суперкомпьютера возникает потребность в снижении его электромагнитных излучений и обеспечении их уровня, в соответствии с требованиями директив ЭМС, государственных стандартов и санитарных норм.

7. Снижение уровня помех в межсоединениях конструктивных модулей при воздействии электростатического разряда. Электростатический разряд может возникнуть при соприкосновении тела человека с элементами конструкции суперкомпьютера (корпусом, несущими конструкциями, панелями управления и т.п.) при его эксплуатации, изготовлении, испытаниях или ремонте. Токи стекания электростатических разрядов, при проникновении в сигнальные проводники, цепи питания или заземления, могут вызвать необратимые разрушения полупроводниковых структур цифровых элементов и выходу их строя. Уменьшение размеров полупроводниковых структур, для повышения степени интеграции микросхем, существенно ухудшает их устойчивость к воздействию электростатического разряда. Кроме того, электростатический разряд является источником внешнего электромагнитного воздействия, которое также может привести к нарушению нормального функционирования суперкомпьютера. Ввиду этого, при проектировании суперкомпьютера не менее актуальным является обеспечение его защиты от воздействия электростатических разрядов.

Рост числа микросхем с высокими параметрами тепловыделения, а также увеличение плотности их размещения усложняет обеспечение нормального теплового режима работы конструктивных модулей суперкомпьютеров и требует повышения мощности систем теплоотвода. Нарушение нормального теплового режима может привести к перегреву компонентов и, как следствие, возникновению сбоев или даже выходу из строя суперкомпьютера. Тепловой режим и эффективность теплоотвода во многом зависят от взаимного расположения электронных компонентов в конструктивном модуле суперкомпьютера [4]. В связи с этим, приобретает актуальность *задача обеспечения тепловой совместимости*. Тепловая совместимость электронных компонентов подразумевает такое их взаимное расположение, при котором достигается максимальная эффективность теплоотвода и обеспечивается нормальный тепловой режим работы конструктивного модуля суперкомпьютера.

Таким образом, разработка новых поколений современных суперкомпьютеров требует решения проблем обеспечения ЭМС и тепловой совместимости. Игнорирование данных проблем может привести к разработке суперкомпьютеров, обладающих низкими показателями надежности и функциональной безопасности.

2. Технология автоматизированного проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера

Решение проблем ЭМС и тепловой совместимости требует повышения качества автоматизированного проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера, что может быть достигнуто:

- учетом критериев и ограничений ЭМС и тепловой совместимости при выполнении проектных процедур;
- использованием эффективных алгоритмов оптимизации многокритериальных проектных процедур.

В данной работе, для автоматизированного проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера на основе печатных плат, предлагается технология [5], представленная на рис. 1.

В соответствии с данной технологией, процесс проектирования включает в себя выполнение таких процедур, как компоновка конструктивных модулей суперкомпьютера, размещение электронных компонентов в конструктивных модулях и трассировку их межсоединений. Для обеспечения ЭМС и тепловой совместимости конструктивных модулей при выполнении проектных процедур предлагается учитывать специализированные критерии и ограничения. Приоритетность использования критериев при выполнении проектных процедур определяется значениями весовых коэффициентов. Значения весовых коэффициентов критериев и параметры ограничений устанавливаются на основании предварительного анализа характеристик схемы, элементной базы, межсоединений и конструктивных модулей суперкомпьютера. После реализации проектных процедур, с использованием виртуального прототипа конструктивного модуля суперкомпьютера, выполняется моделирование и анализ электромагнитных, а также тепловых процессов.

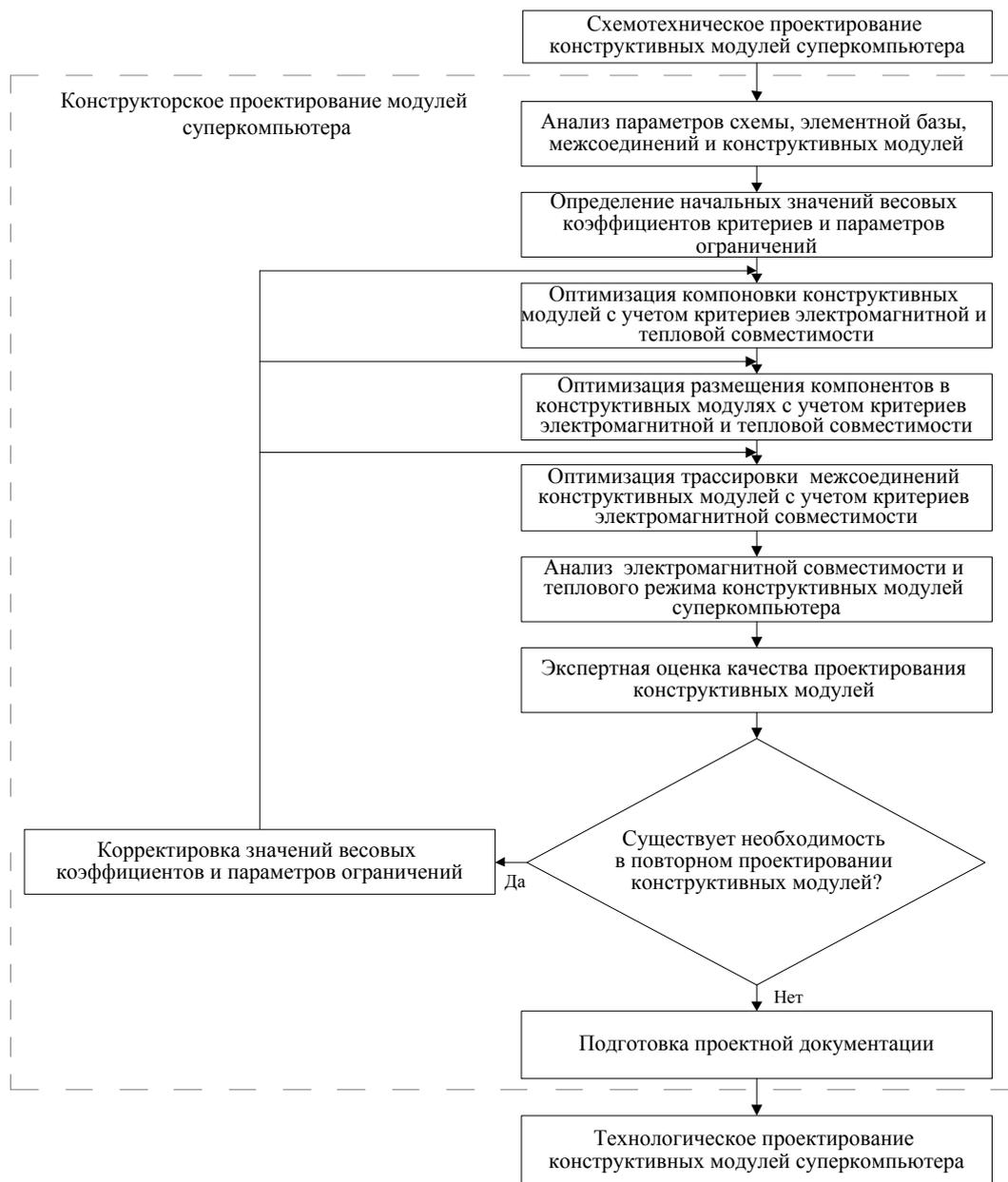


Рис. 1. Технология автоматизированного проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера

Далее, на основании результатов проведенного анализа, оценивается качество разработанного конструктивного модуля, с точки зрения его ЭМС и тепловой совместимости. Если качество конструктивного модуля оказывается неудовлетворительным, корректируются значения весовых коэффициентов критериев и параметры ограничений проектных процедур, после чего происходит их повторное выполнение. Если качество оказывается приемлемым, осуществляется формирование проектной документации и переход к последующему этапу проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера.

Существующие методы и алгоритмы оказываются не эффективными для выполнения процедур проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера, обладающих большой размерностью исходных данных, с учетом большого числа

критериев и ограничений. Ввиду этого, возникает необходимость в разработке новых эффективных методов и алгоритмов проектирования.

Для оптимизации многокритериальных процедур проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера, в работе предлагается использование бионических методов оптимизации. Бионические методы и алгоритмы [6] представляют собой относительно новый, но весьма перспективный инструмент решения сложных многокритериальных оптимизационных задач, обладающих большой размерностью исходных данных. Эффективность использования бионических методов и алгоритмов для решения подобного рода задач в различных областях науки и техники была неоднократно подтверждена работами российских и зарубежных ученых. Бионические методы относятся к классу вероятностных методов оптимизации и основаны на моделировании биологических законов, принципов и механизмов обитания организмов в живой природе. Классификация бионических методов включает в себя генетические, эволюционные, коэволюционные, муравьиные, пчелиные роевые алгоритмы и т.п.

Рассмотрим основные процедуры проектирования конструктивных модулей, а также их критерии и ограничения более подробно.

3. Компоновка конструктивных модулей суперкомпьютера

Процедура компоновки заключается в поиске оптимального распределения множества компонентов функционально-логической схемы либо принципиально-электрической схемы суперкомпьютера по конструктивным модулям.

Ограничения процедуры компоновки могут накладываться на следующие проектные параметры:

- 1) площадь монтажной плоскости печатной платы конструктивного модуля;
- 2) количество компонентов, размещаемых на одной печатной плате конструктивного модуля;
- 3) количество внешних выводов печатных плат конструктивных модулей;
- 4) количество компокуемых конструктивных модулей.

В качестве критериев процедуры компоновки предлагается использовать:

- 1) минимум суммарного числа модулей, необходимых для реализации схемы;
- 2) максимум однотипных компокуемых конструктивных модулей;
- 3) минимум межмодульных соединений;
- 4) минимум суммарного числа внешних выводов всех модулей.

Использование первых двух критериев позволяет обеспечить заданные конструкторские характеристики модулей суперкомпьютера, снизить сроки их изготовления и показатели стоимости. Выполнение критериев 4 и 5 ведет к повышению надежности конструктивной реализации схемы за счет сокращения числа разъемных соединений, а также уменьшению влияния перекрестных помех и задержек, благодаря снижению суммарной длины соединений.

Для реализации критерия ЭМС и тепловой совместимости, в качестве исходных данных процедуры, множество цепей и компонентов электрической принципиальной схемы суперкомпьютера предлагается распределить по классам. Кроме того, рекомендуется определить возможность размещения компонентов и цепей, принадлежащих различным классам, в составе одного конструктивного модуля. Классификация цепей и компонентов суперкомпьютера может быть проведена по степени их восприимчивости к внешним электромагнитным воздействиям, а также по уровню излучаемых электромагнитных полей. Подобные

классификации также могут быть составлены исходя из знаний о тепловой совместимости компонентов.

В качестве критерия ЭМС процедуры компоновки предлагается максимизировать количество компонентов и цепей, размещаемых на одной печатной плате и принадлежащих одному классу или совместимым классам. Также, рекомендуется использовать ограничение ЭМС для размещения компонентов и цепей, принадлежащих несовместимым классам в различных конструктивных модулях. Использование данного критерия и ограничения ЭМС, при выполнении процедуры компоновки, позволяет распределять компоненты цепей, наиболее чувствительных к внешнему электромагнитному воздействию, отдельно от компонентов цепей, излучающих сильные электромагнитные поля, что, в свою очередь, влечет за собой снижение перекрестных помех в межсоединениях печатных плат конструктивных модулей. Уменьшению помех также будет способствовать установка конструктивных модулей, содержащих компоненты чувствительных цепей, в наиболее защищенные от внешнего электромагнитного воздействия зоны суперкомпьютера.

При необходимости в снижении помех, связанных с задержкой сигналов в межсоединениях конструктивных модулей, при выполнении процедуры компоновки, рекомендуется использовать критерии и ограничения, позволяющие учитывать временные параметры функционирования компонентов и цепей.

Результаты компоновки конструктивных модулей, с учетом критерия минимума межмодульных связей (K_1), критерия ЭМС (K_2) критерия тепловой совместимости (K_3), а также ограничения на количество компокуемых модулей представлены в таблице 2. В представленных примерах, для выполнения проектной процедуры компоновки использовался программный модуль, реализующий эволюционный алгоритм оптимизации.

Таблица 2. Результаты компоновки конструктивных модулей с учетом критериев ЭМС и тепловой совместимости

Номер примера	Параметры исходных данных и ограничений		Показатели качества конструктивного модуля по критериям			Время работы программного модуля компоновки, с
	Кол-во компонентов	Кол-во компокуемых блоков	K_1	K_2	K_3	
1	120	3	523	75	83	3
2	120	5	543	108	71	3
3	120	8	564	96	114	3
4	240	3	1611	87	63	6
5	240	5	1746	121	151	6
6	240	8	1797	145	148	6
7	360	3	3993	132	95	9
8	360	5	4242	252	144	9
9	360	8	4301	233	179	9
10	480	3	7418	75	101	12
11	480	5	7622	215	183	12
12	480	8	7728	342	273	12

4. Размещение компонентов в конструктивных модулях суперкомпьютеров

В рамках процедуры размещения происходит поиск оптимального месторасположения на печатной плате конструктивного модуля компонентов принципиально-электрической схемы. В качестве конструктивных ограничений процедуры размещения могут быть определены:

1) минимальные значения расстояний между краями компонентов, размещаемых по соседству друг от друга (указывается отдельно для каждого электронного компонента);

2) координаты фиксированных компонентов, месторасположение которых на печатной плате конструктивного модуля заранее установлено разработчиком;

3) перечень граничных компонентов, которые должны располагаться рядом с границами печатной платы конструктивного модуля;

4) запрещенные зоны печатной платы конструктивного модуля, расположение компонентов в которых является недопустимым;

5) пары размещаемых компонентов, которые должны или, напротив, не должны располагаться по соседству друг от друга.

Критериями качества при поиске оптимального варианта размещения могут являться следующие:

1) минимум расстояния между максимально связанными компонентами;

2) максимальное число соединений между компонентами, размещаемых в соседних позициях, либо в позициях, указанных разработчиком;

3) минимум числа соединений, длина которых больше заданной;

4) минимум числа пересечений связей при произвольной их конфигурации;

5) равномерность распределения связей по монтажному пространству;

6) максимум числа цепей простой конфигурации.

Использование данной группы критериев направлено на обеспечение благоприятных условий для решения последующей процедуры трассировки межсоединений конструктивных модулей на основе печатных плат.

Для применения критерия и ограничения ЭМС при выполнении процедуры размещения на монтажной плоскости конструктивного модуля предлагается определить множество непересекающихся зон прямоугольной формы. Для каждого размещаемого компонента рекомендуется установить его принадлежность определенной зоне печатной платы. При выполнении процедуры, предлагается использовать ограничение на размещение каждого компонента в рамках, соответствующей ему зоны монтажной плоскости конструктивного модуля. В случае невозможности использования данного ограничения, ввиду определенных конструктивных требований, предлагается использовать критерий минимизации числа компонентов, размещаемых вне соответствующих им зон. Размещение компонентов цепей, чувствительных к внешнему электромагнитному воздействию, в наиболее защищенных зонах конструктивного модуля позволит снизить вероятность искажения и возникновения паразитных сигналов в межсоединениях, что, в свою очередь, способствует обеспечению ЭМС и повышению надежности суперкомпьютера. Расположение зон, содержащих компоненты цепей с высоким уровнем излучения электромагнитных полей, вдали от зон с компонентами чувствительных цепей приведет к снижению перекрестных помех в межсоединениях конструктивного модуля.

Для обеспечения теплового режима и повышения эффективности теплоотвода предлагается использовать критерий максимизации расстояния между теплонагруженными и теплочувствительными компонентами, а также критерий равномерности тепловыделения с монтажной плоскости конструктивного модуля.

В таблице 3 представлены результаты размещения компонентов в конструктивных модулях с учетом критерия минимума суммарной взвешенной длины соединений (K_1), критерия ЭМС (K_2) и критерий максимума суммарного расстояния между теплонагруженными и теплочувствительными компонентами (K_3). Для выполнения проектной процедуры размещения в приведенных примерах использовался программный модуль, реализующий эволюционный алгоритм оптимизации.

Таблица 3. Результаты размещения компонентов в конструктивных модулях с учетом критериев ЭМС и тепловой совместимости

Номер примера	Количество размещаемых компонентов	Показатели качества конструктивного модуля по критериям			Время работы программного модуля, с
		K_1	K_2	K_3	
1	50	39919	7	1339	8
2	71	40122	12	1275	8
3	95	40811	18	1115	9
4	105	213690	21	995	9
5	128	213048	19	808	10
6	135	213640	25	765	10
7	156	558988	27	654	11
8	178	554339	29	547	11
9	185	556077	33	497	12
10	204	578125	44	412	12

5. Трассировка межсоединений конструктивных модулей суперкомпьютеров

Процедура трассировки заключается в определении оптимальной конфигурации межсоединений конструктивного модуля, на основе печатных плат. Для повышения устойчивости суперкомпьютера к внешним электромагнитным воздействиям, а также снижения уровня излучаемых полей, при выполнении процедуры трассировки, в качестве критерия ЭМС, предлагается минимизировать площадь контуров, образованных межсоединениями конструктивного модуля. Использование данного критерия позволяет уменьшить величины токов и напряжений, индуцированных в межсоединениях контуров при внешнем электромагнитном воздействии, что способствует снижению вероятности искажения и возникновения паразитных сигналов. Уменьшение площади контуров способствует и снижению напряженности электромагнитного поля излучаемого от межсоединений конструктивного модуля. Кроме критерия ЭМС рекомендуется использовать ограничение на размещение межсоединений цепей, наиболее чувствительных к внешнему электромагнитному воздействию, во внутренних слоях печатной платы.

При выполнении процедуры трассировки также предлагается использовать ряд критериев, позволяющих снизить уровни внутриаппаратурных помех. Для уменьшения задержек при распространении сигналов может быть использован критерий минимизации суммарной длины сигнальных межсоединений. Для снижения помех, связанных с задержкой сигналов, предлагается также минимизировать разность между длинами межсоединений в синхронных цепях. С целью уменьшения отражений сигналов в межсоединениях рекомендуется минимизировать число межслойных переходов и изгибов трасс. Критерий минимизации расстояний между параллельными участками межсоединений может быть использован для снижения уровня перекрестных помех.

В таблице 4 представлены результаты трассировки межсоединений конструктивных модулей с учетом критерия минимума суммарной длины межсоединений (K_1) и критерия минимума межслойных переходов (K_2). В рассматриваемых примерах, для выполнения проектной процедуры трассировки, использовался программный модуль, реализующий бионические методы оптимизации.

Таблица 4. Результаты трассировки межсоединений конструктивных модулей с учетом критериев ЭМС совместимости

№ примера	Параметры размерности исходных данных			Показатели качества конструктивного модуля по критериям		Время работы программного модуля, с
	Габариты печатной платы, мм	Количество цепей	Количество контактов	K_1 , м	K_2	
1	100 × 120	1075	5893	83,392	3842	1103
2	100 × 120	819	5030	72,765	3201	877
3	100 × 120	590	2344	42,385	1659	544
4	160 × 180	1075	5893	97,889	2823	1700
5	160 × 180	819	5030	86,743	1795	1096
6	160 × 180	590	2344	48,794	1110	855
8	220 × 250	1075	5893	101,299	2678	1260
9	220 × 250	819	5030	89,474	2435	1035
10	220 × 250	590	2344	47,781	1556	932

Заключение

Таким образом, основными результатами работы являются следующие:

1. Разработана технология многокритериального автоматизированного проектирования конструктивных модулей суперкомпьютеров с учетом критериев ЭМС и тепловой совместимости.

2. Разработаны критерии ЭМС и тепловой совместимости для выполнения проектных процедур компоновки конструктивных модулей суперкомпьютера, размещения компонентов в конструктивных модулях и трассировки их межсоединений.

3. Разработаны бионические алгоритмы оптимизации проектных процедур с учетом критериев ЭМС и тепловой совместимости.

4. Разработаны программные модули для автоматизированного выполнения проектных процедур компоновки, размещения и трассировки с использованием бионических методов, с учетом критериев ЭМС и тепловой совместимости.

5. Проведены исследования эффективности использования предлагаемой технологии при проектировании печатных плат конструктивных модулей суперкомпьютеров.

Предлагаемая технология позволит выявлять и решать проблемы по обеспечению ЭМС, и тепловой совместимости, уже на ранних этапах проектирования конструктивных модулей суперкомпьютера. В связи с этим, использование предлагаемой технологии, по оценкам специалистов, значительно сократит материальные и временные ресурсы, которые затрачиваются при разработке суперкомпьютеров на процедуры перепроектирования его конструктивных модулей, выполняемые после стадии макетных испытаний, что в конечном итоге приведет к снижению себестоимости конечного продукта.

Литература

1. Абрамов С. М. Суперкомпьютерные технологии России: объективные потребности и реальные возможности / С. Н. Абрамов // CAD/CAM/CAE Observer. – 2010. - № 2. С. 1–11.

2. Кечиев Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л.Н. Кечиев – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.

3. Агапов С. В. Защита информации в цифровых электронных средствах интеллектуальных зданий при электромагнитных воздействиях и излучениях / С. В. Агапов, З. М. Гизатуллин, С. Ф. Чермошенцев // Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – № 3. – С. 3 - 21.

4. Кокотов В. З. Закономерности «теплового размещения» электрорадиоэлементов на платах с четырехсторонним кондуктивным теплоотводом / В.З. Кокотов // Информационные технологии . – 2006. - № 8. – С. 2- 9.

5. Суздальцев И. В. Методика решения задач проектирования печатных плат цифровых электронных средств с учетом критериев электромагнитной совместимости, с использованием эволюционных алгоритмов / И. В. Суздальцев // Электромагнитная совместимость и электромагнитная экология: сб. науч. докл. 9-го Междунар. симп. – СПб. : ЛЭТИ, 2011. - С. 220 - 222.

6. Гладков Л. А. Биоинспирированные методы в оптимизации / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М: Физматлит, 2009. – 384 с.