

# Управление топологическим согласованием объектов сложных микроэлектронных систем при неопределенности проектных норм

С. Э. Миронов, К. М. Зибарев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
semironovspb@yandex.ru

**Аннотация.** Приводятся результаты исследований авторов по автоматизации проектирования сложных микроэлектронных систем в условиях неопределенности проектных норм. Проблема неопределенности проектных норм решается с помощью одномерного алгоритма сжатия топологии на основе виртуальной сетки. Высокая плотность упаковки сложных объектов обеспечивается оригинальным методом поэтапного согласования их модулей по габаритам и по положению их выводов. Описывается разработанный авторами подход к управлению топологическим согласованием модулей сложных микроэлектронных систем, позволяющий существенно ускорить согласование.

**Ключевые слова:** неопределенность проектных норм; технологически инвариантное проектирование; сложные объекты микроэлектронных систем; сжатие топологии; плотноупакованное проектирование; согласование ячеек

## I. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОЕКТНЫХ НОРМ

Концепция современного проектирования сложных микроэлектронных систем предполагает адаптацию технологически инвариантного описания их топологии к требуемым проектным нормам выбранного предприятия-изготовителя.

Процесс адаптации осуществляется системами сжатия топологии, минимизирующими зазоры между элементами в соответствии с требованиями технологического процесса и дополнительными ограничениями, задаваемыми разработчиком топологии. Это позволяет в процессе адаптации к требуемым проектным нормам выравнивать габариты и координаты выводов соответствующих ячеек, и создавать из них библиотеку для проектирования сложных иерархически организованных микроэлектронных систем. Информация, необходимая для согласования ячеек и последующей сборки из них требуемой иерархической конструкции, извлекается из ее иерархического структурно-топологического описания.

Существуют разные подходы к технологически инвариантному проектированию иерархической топологии сложных микроэлектронных систем [1]. Но в каждом из них основными этапами проектирования являются:

- разработка структурно-топологического плана реализуемой микроэлектронной системы;
- разработка технологически инвариантных описаний топологии ячеек;
- программная генерация топологии согласованных друг с другом ячеек в требуемых проектных нормах;
- сборка иерархического описания топологии в соответствии со структурно-топологическим планом.

Первые два этапа выполняются проектировщиком один раз и составляют собственно топологическое проектирование. Последние два этапа выполняются каждый раз при переходе на новые проектные нормы. Реализуется это с помощью технологически инвариантных средств программной генерации топологии, базирующихся на алгоритмах сжатия.

Сборка иерархического описания топологии из ячеек достаточно проста. Наиболее сложные действия осуществляют программные средства согласования габаритов и выводов ячеек при настройке топологии на требуемые проектные нормы.

Отдельные аспекты сжатия, связанные с согласованием габаритов и положения выводов ячеек, рассматривались в работах авторов [2], [3]. В данной статье будут изложены результаты исследований авторов по повышению эффективности методов и средств управления процессом согласования топологических объектов сложных микроэлектронных систем в условиях неопределенности проектных норм.

## II. СОГЛАСОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНЫХ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОЕКТНЫХ НОРМ

Как уже было сказано выше, основной задачей проектирования иерархической топологии является согласование ячеек. Для этого, необходимо чтобы у соседних ячеек были одинаковыми соответствующие габариты и расстояния между выводами.

---

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 8.2080.2017/4.6.

Согласование габаритов и взаимного расположения выводов ячеек осуществляется в соответствии со следующей базовой методикой, иллюстрируемой рис. 1:

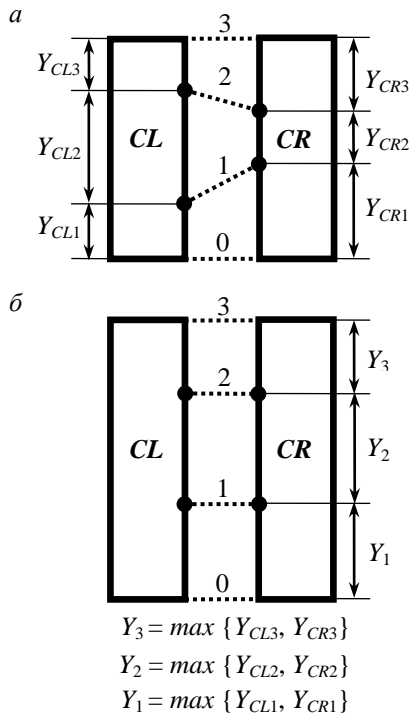


Рис. 1. Единовременное согласование двух ячеек **CL** и **CR** по габаритам и по положению выводов: а) ячейки, сжатые с учетом только проектных норм; б) ячейки, согласованные по габаритам и по положению выводов

- сжатие топологии ячеек с учетом только проектных норм без дополнительных ограничений на расположение выводов и границ (рис. 1, а);
- определение расстояния между каждой из пар соседних выводов (выводом и границей) в согласуемой паре ячеек (рис. 1, а);
- выбор для каждой пары соседних выводов ячейки (или пары «вывод и граница») дополнительного ограничения на сжатие, как наибольшего из расстояний между этими выводами в согласуемых ячейках (рис. 1, б);
- сжатие топологии ячеек с учетом не только проектных норм, но и дополнительных ограничений на расположение выводов и границ (рис. 1, б).

Данная последовательность действий отличается простотой и обеспечивает единовременное согласование пары ячеек. Однако, она не позволяет учесть снижение степени взаимного влияния элементов топологии при раздвижке ее частей. В результате смещения вывода ячейки расстояние между ним и соседним выводом (или границей) может уменьшиться. В [2] и [3] описаны:

- динамическая модель ячеек БИС (учитывающая изменения, возникающие при раздвижке частей топологии ячеек);

- методика поэтапного итерационного согласования ячеек;
- разработанная на основе модели и методики система технологически инвариантного проектирования сложной иерархической топологии «*Matching of Cells*».

Методику поэтапного итерационного согласования ячеек иллюстрирует рис. 2.

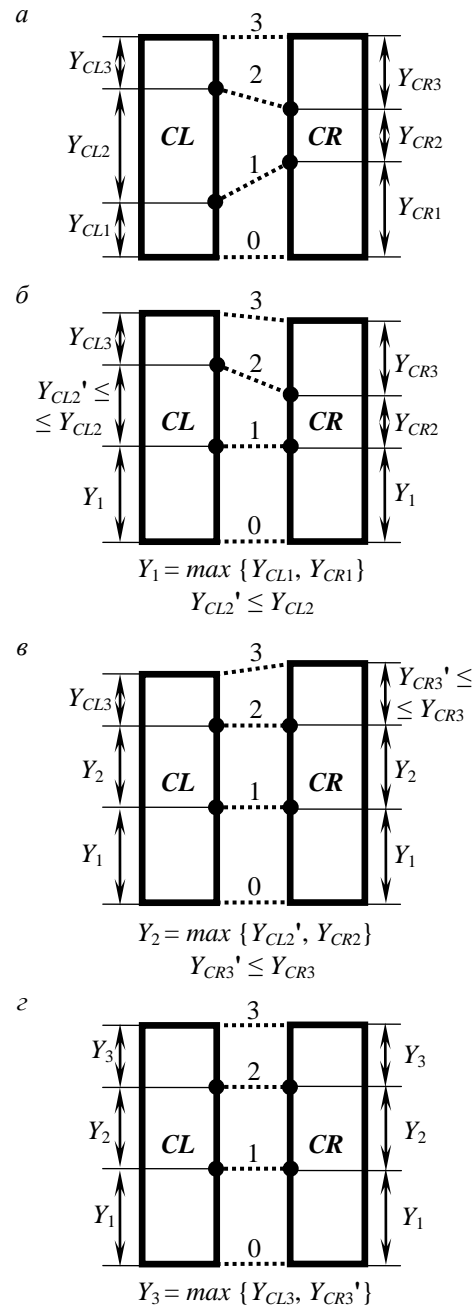


Рис. 2. Этапы итерационного согласования положения выводов и верхних границ двух ячеек **CL** и **CR**

На нем представлены результат сжатия топологии ячеек с учетом только проектных норм (рис. 2, а) и топологии после определения ограничений и согласования

положения двух выводов (рис. 2, б, в) и верхних границ ячеек (рис. 2, г).

Методика итерационного согласования выводов и габаритов ячеек предоставляет возможность повышения плотности упаковки. Однако за это приходится платить ростом времени генерации топологии. Единовременное согласование пары ячеек не зависит от числа их выводов и требует двух сжатий каждой из них (сжатие каждой ячейки

без дополнительных ограничений и с ограничениями). А при итерационном согласовании пары ячеек с числом выводов  $N$  требуется  $(N+1)$  сжатие каждой из них.

Для снижения времени генерации топологии при сохранении высокой плотности упаковки авторами предлагается методика итерационного согласования ячеек, требующая от систем сжатия возможности сжатия ячеек по частям. Методику иллюстрирует рис. 3.

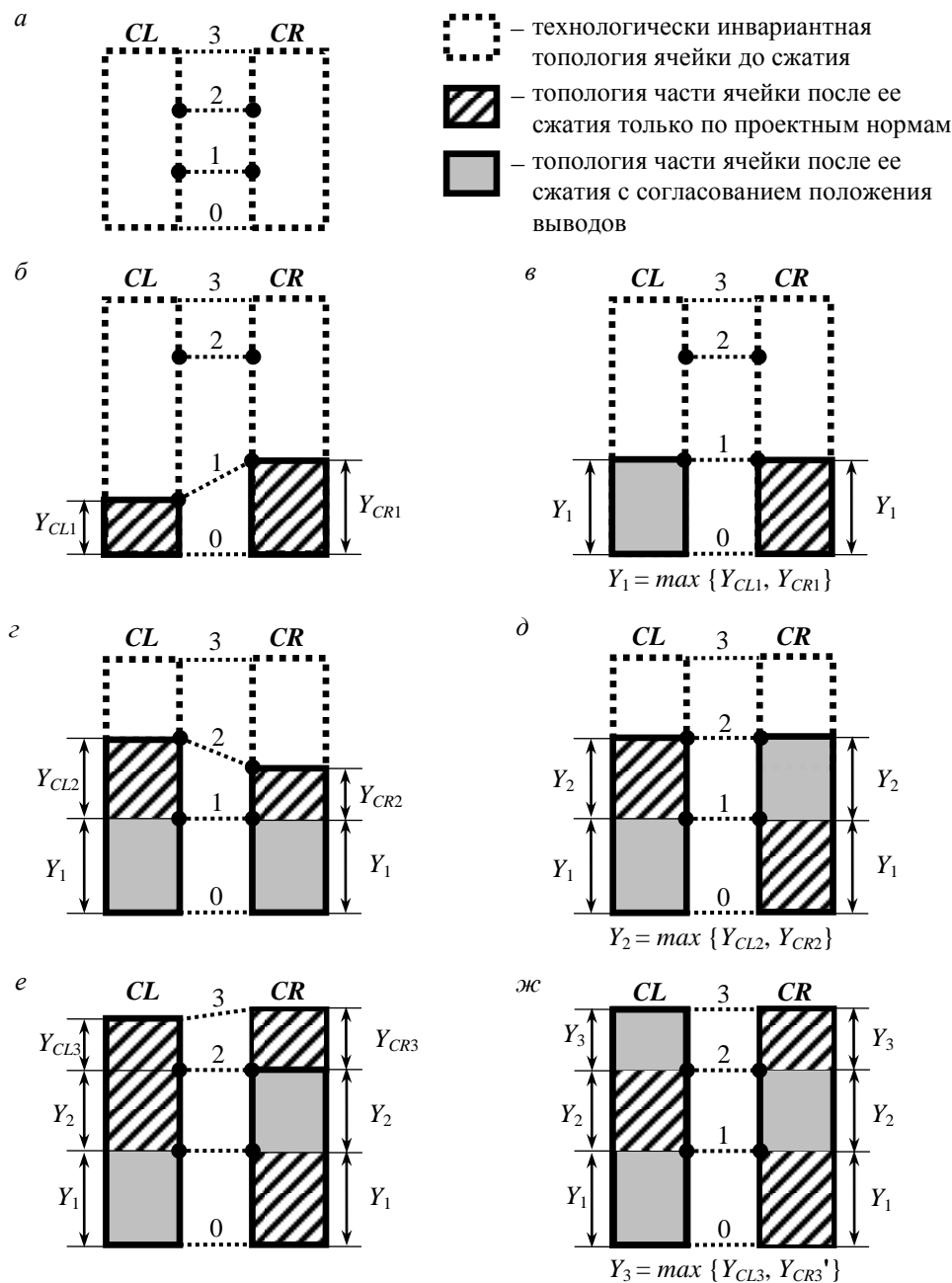


Рис. 3. Этапы итерационного согласования выводов и верхних границ двух ячеек  $CL$  и  $CR$  на основе сжатия топологии по частям

Из рисунка видно, что в полученных после согласования топологиях ячеек части со штриховкой

подвергались сжатию только один раз, а части с заливкой сжимались дважды.

Таким образом, согласование пары ячеек на основе сжатия топологии по частям требует времени, сравнимого со временем сжатия трех ячеек.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в данной работе методика итерационного согласования координат выводов и границ ячеек на основе сжатия топологии по частям, была разработана при выполнении государственного задания Минобрнауки России № 8.2080.2017/4.6, продолжающего проводимые в «ЛЭТИ» исследования по разработке микросистем малой [4] и большой сложности [5].

Она обеспечивает высокие характеристики, как по плотности упаковки, так и по времени согласования ячеек.

Достижимая с ее помощью плотность упаковки совпадает с плотностью упаковки предложенной ранее методики итерационного согласования [2], [3]. А время согласования ячеек в соответствии с предложенной в данной работе методикой меньше, чем у других методик согласования:

- для единовременного согласования двух ячеек время сравнимо со временем сжатия четырех ячеек;
- для итерационного согласования пары ячеек с числом выводов  $N$  время сравнимо со временем сжатия  $2 \times (N+1)$  ячеек;
- для итерационного согласования пары ячеек на основе сжатия топологии по частям требуется время, сравнимое со временем сжатия трех ячеек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bamji C., Varadarajan R. Leaf Cell and Hierarchical Compaction Techniques, New York – Springer Science & Business Media, LLC, Dec 6, 2012 - Technology & Engineering – 161 p., DOI 10.1007/978-1-4615-6139-2
- [2] Миронов С.Э., Васильев А.Ю. Управление процессом согласования сложных топологических объектов микросистем в условиях неопределенности проектных норм // Материалы II международной научной конференции по проблемам управления в технических системах (СТС'2017). – Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017 г., 25–27 октября, с. 198–201.
- [3] Миронов С.Э., Васильев А.Ю., Сафьянников Н.М. Средства автоматизации иерархического проектирования сложных микросистем при неопределенности проектных норм / С.Э. Миронов, А.Ю. Васильев, // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем»: Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. Зеленоград, 01 – 05 октября 2018 г. М.: ИПИ РАН, 2018. Выпуск III. С. 60–66. ISBN: 978-5-94627-160-8.
- [4] Сафьянников Н.М., Баранов А.А. Схемо-топологическое проектирование ячеек СБИС // VII-я Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2016»: Сб. трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. Зеленоград, 3–7 октября 2016 г. М.: ИПИ РАН, 2016. Ч. III. С. 220–225.
- [5] Сафьянников Н.М., Фролкин А.К. Структурные преобразования макроблоков СБИС путём перегруппировки их функционально однородных зон // VII-я Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2016»: Сб. трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. Зеленоград, 3–7 октября 2016 г. М.: ИПИ РАН, 2016. Ч. III. С. 226–231.