

Генетический метод синтеза теплового размещения элементов в трехмерных электронных модулях

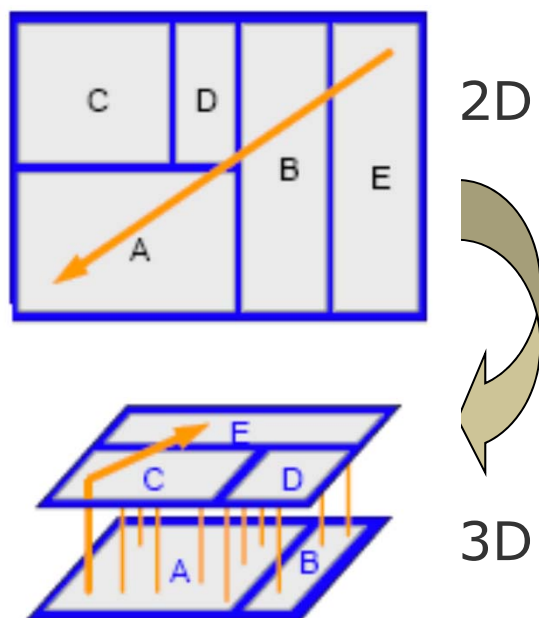
Новиков И.С.

*аспирант кафедры
«Проектирование и технология производства
электронной аппаратуры»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009

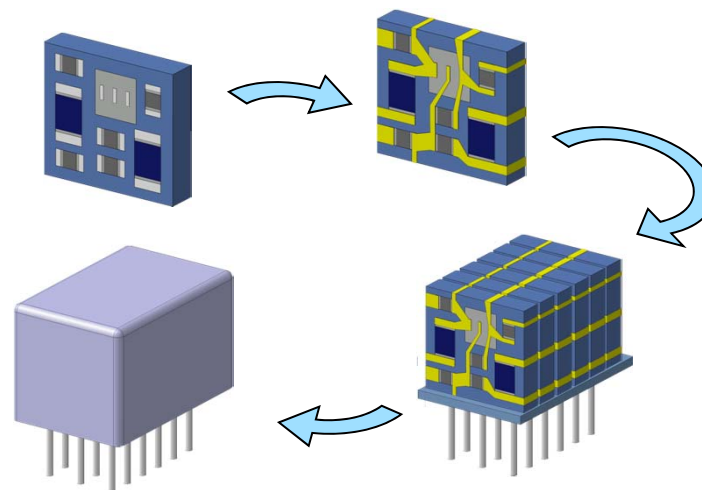
Трехмерные электронные модули

- Общий подход:

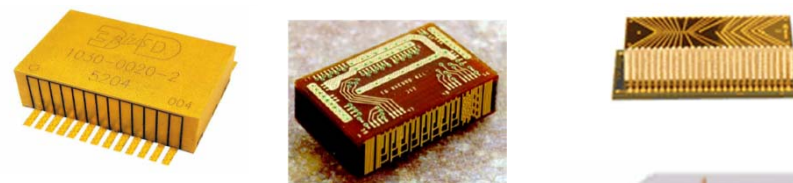


Расположение элементов и связей между ними не в плоскости, а **в объеме**.

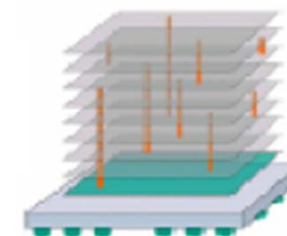
- Технология сборки



- Примеры 3D-модулей

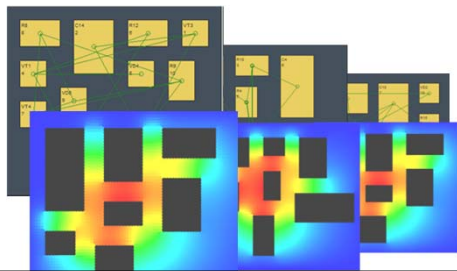
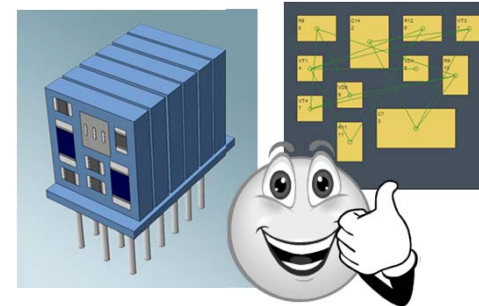


Система на 3D-кристалле (SoC)



Постановка задачи и метод решения

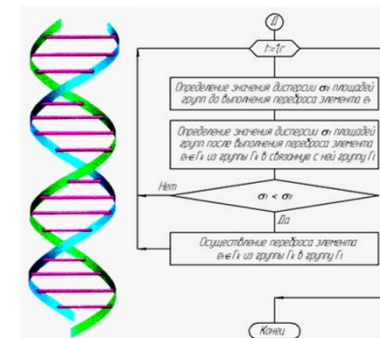
Задача автоматизированного синтеза **теплового размещения** элементов



$$\left\{ \lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \lambda_i(t_i) \right\} \rightarrow \min$$

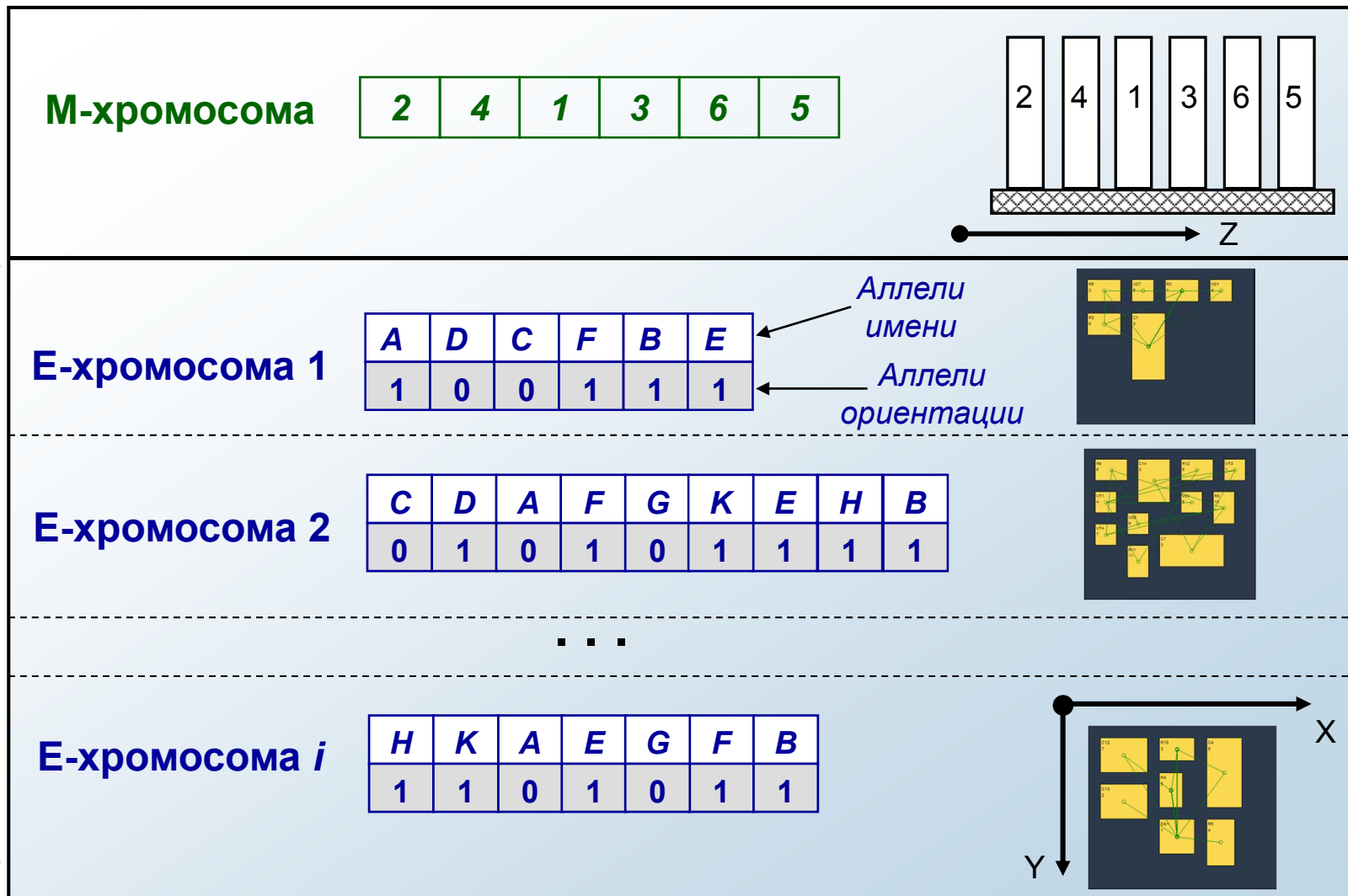
Поиск такого размещения элементов, при котором **снижение надежности**, вызванное температурным **перегревом** элементов, **минимально**

Метод синтеза поиска наилучших решений – **генетический алгоритм (ГА)**



Структура особи и способ ее кодирования

Порядок размещения элементов в микроплаты

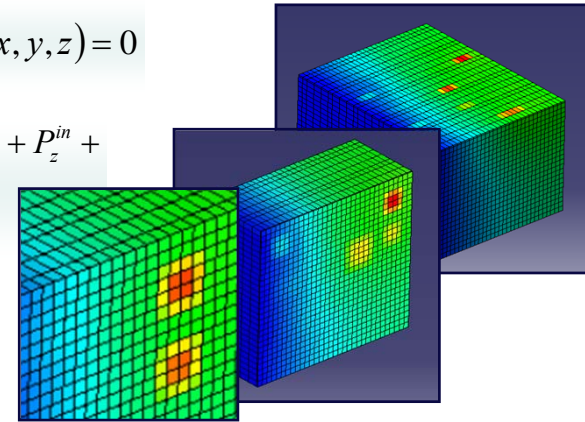


Расчет функции пригодности особи

• **Определение объемного распределения температуры методом конечных разностей:**

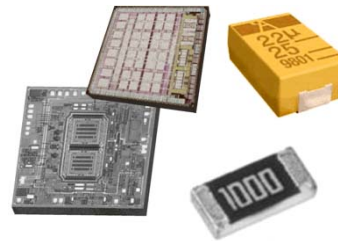
$$\lambda \cdot \frac{d^2 t}{dx^2} + \lambda \cdot \frac{d^2 t}{dy^2} + \lambda \cdot \frac{d^2 t}{dz^2} + q_v(x, y, z) = 0$$

$$-P_x^{out} + P_x^{in} - P_y^{out} + P_y^{in} - P_z^{out} + P_z^{in} + \iiint_{X_n, Y_n, Z_n} q_v dx_n dy_n dz_n = 0$$



• **Расчет интенсивности отказов каждого отдельного элемента:**

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot a_1 \cdot e^{\left[\frac{a_2}{T+a_3} \right]}$$



• **Общий вид целевой функции (минимизация интенсивности отказов 3D-модуля):**

$$\left\{ \lambda_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^m \lambda_i \right] \cdot \left(1 + 0.2K_{BY} \right) \cdot K_{\Phi} \cdot K_K \cdot K_{OB} \right\} \rightarrow \min^*$$

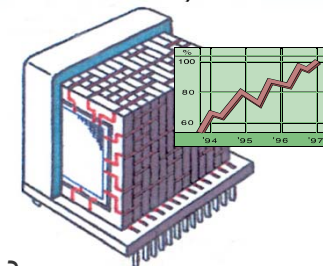
где λ_i – интенсивность отказов i -го элемента

K_{BY} – коэф-т, учитывающий область применения модуля

K_{Φ} – коэф-т, учитывающий функциональность модуля

K_K – коэф-т качества модуля

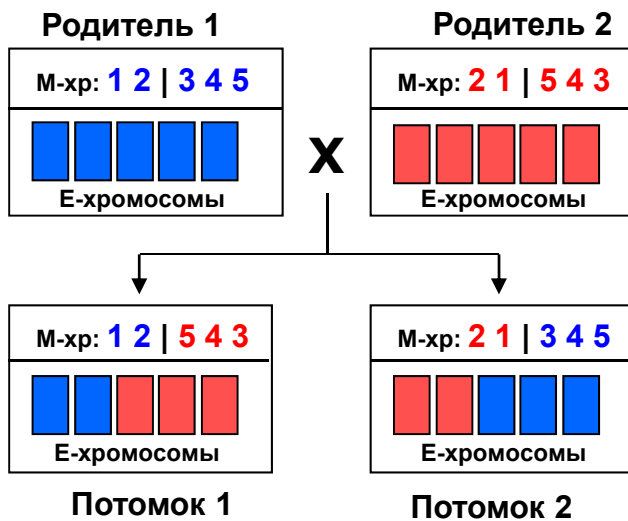
K_{OB} – коэф-т обучения (освоенности производства)



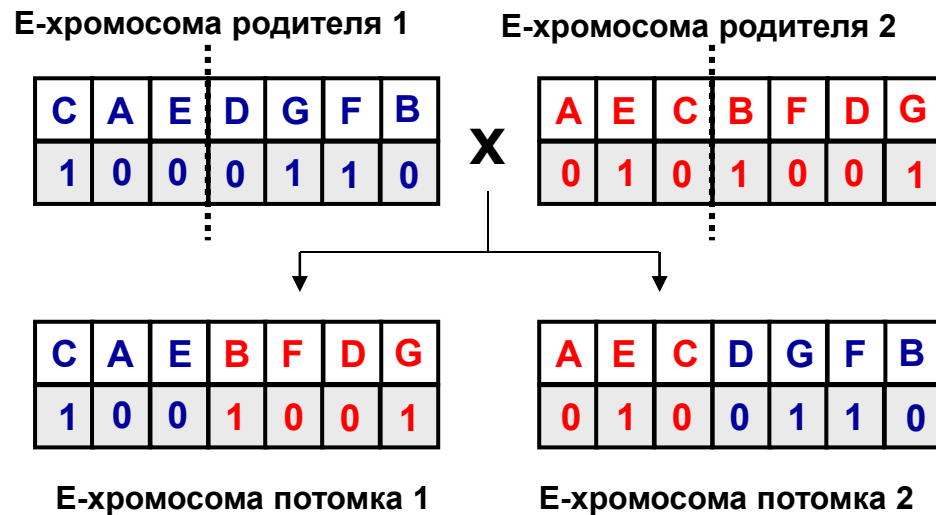
*формула учитывает надежность только электронных элементов в составе 3D-модуля

Генетические операторы

М-кроссовер



Е-кроссовер



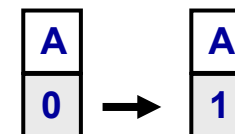
М-мутация

М-хромосома до мутации	1	6	2	3	4	5	7
М-хромосома после мутации	1	4	2	3	6	5	7

EN-мутация

Е-хромосома до мутации	1	3	6	2	5	7	4
Е-хромосома после мутации	1	3	7	2	5	6	4

ЕО-мутация

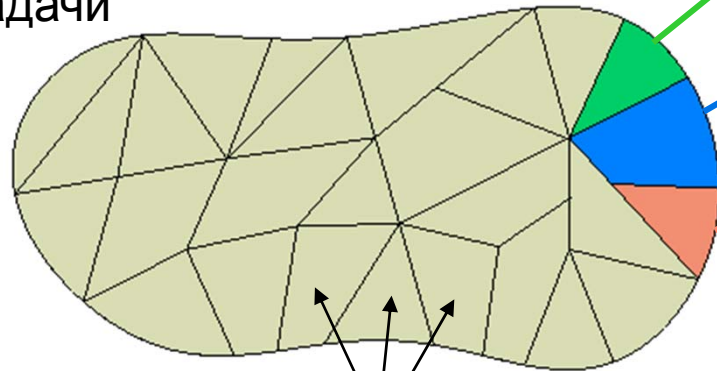


Селекция

- «Колесо рулетки»
- Турнирная
- Элитная
- Равновероятностная

Видовой ГА

Множество всех решений задачи



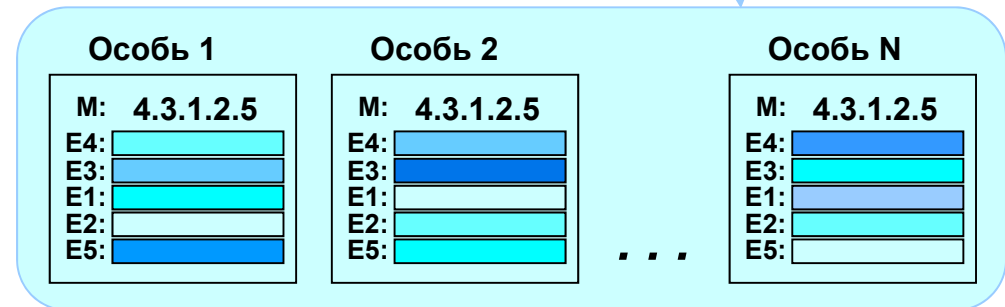
Подпопуляции

Вид №1 5.2.3.4.1

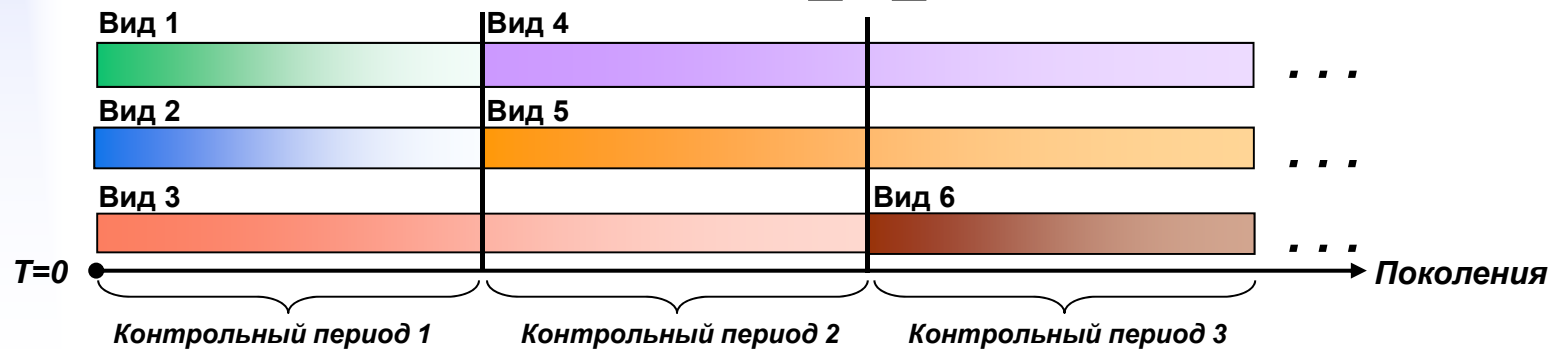
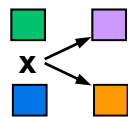
Вид №2 4.3.1.2.5

Вид №3 1.5.3.4.2

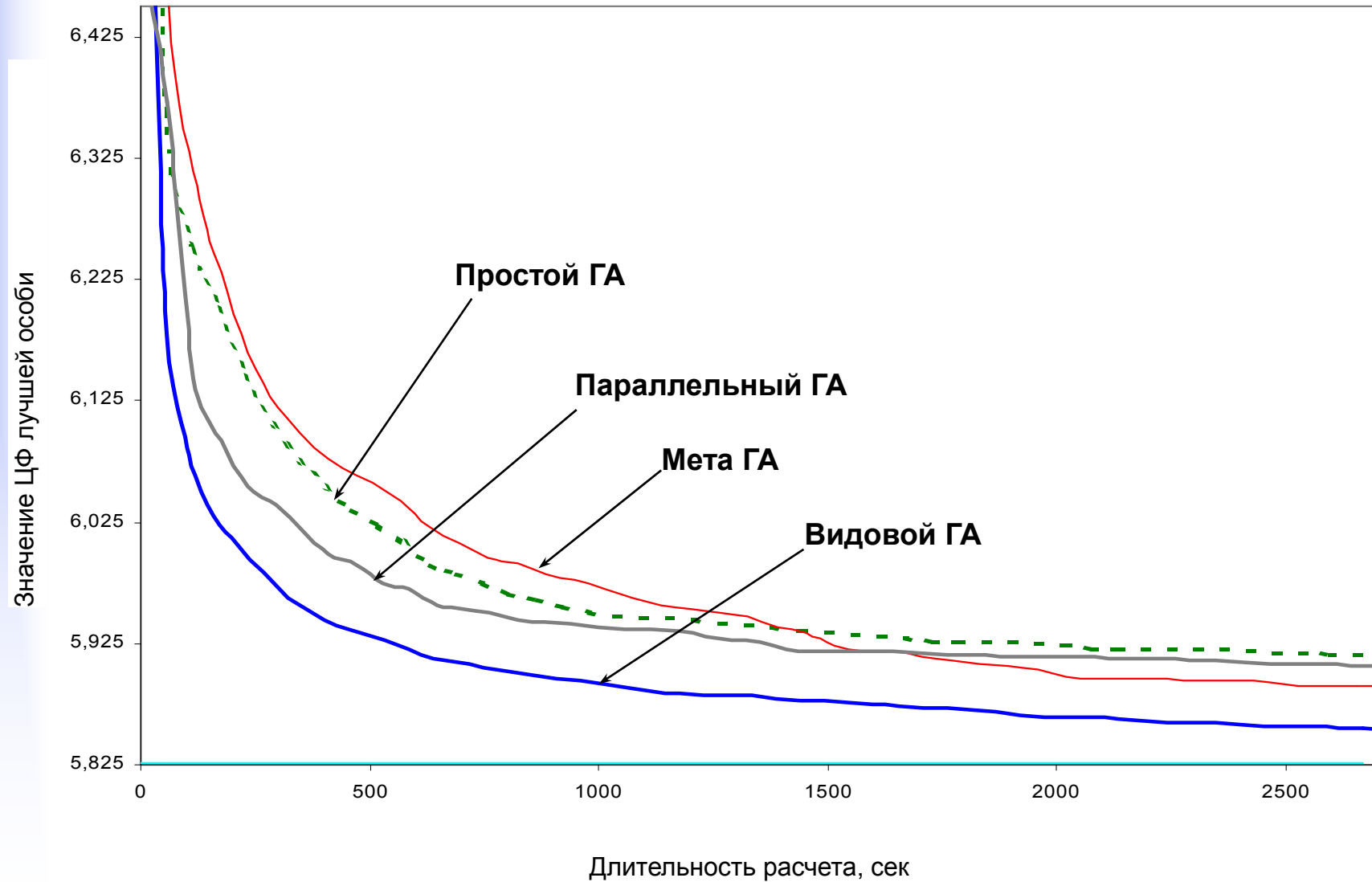
Вид - множество особей с одинаковыми M-хромосомами



Внутривидовые эволюции и модификация видов в конце каждого контрольного периода:

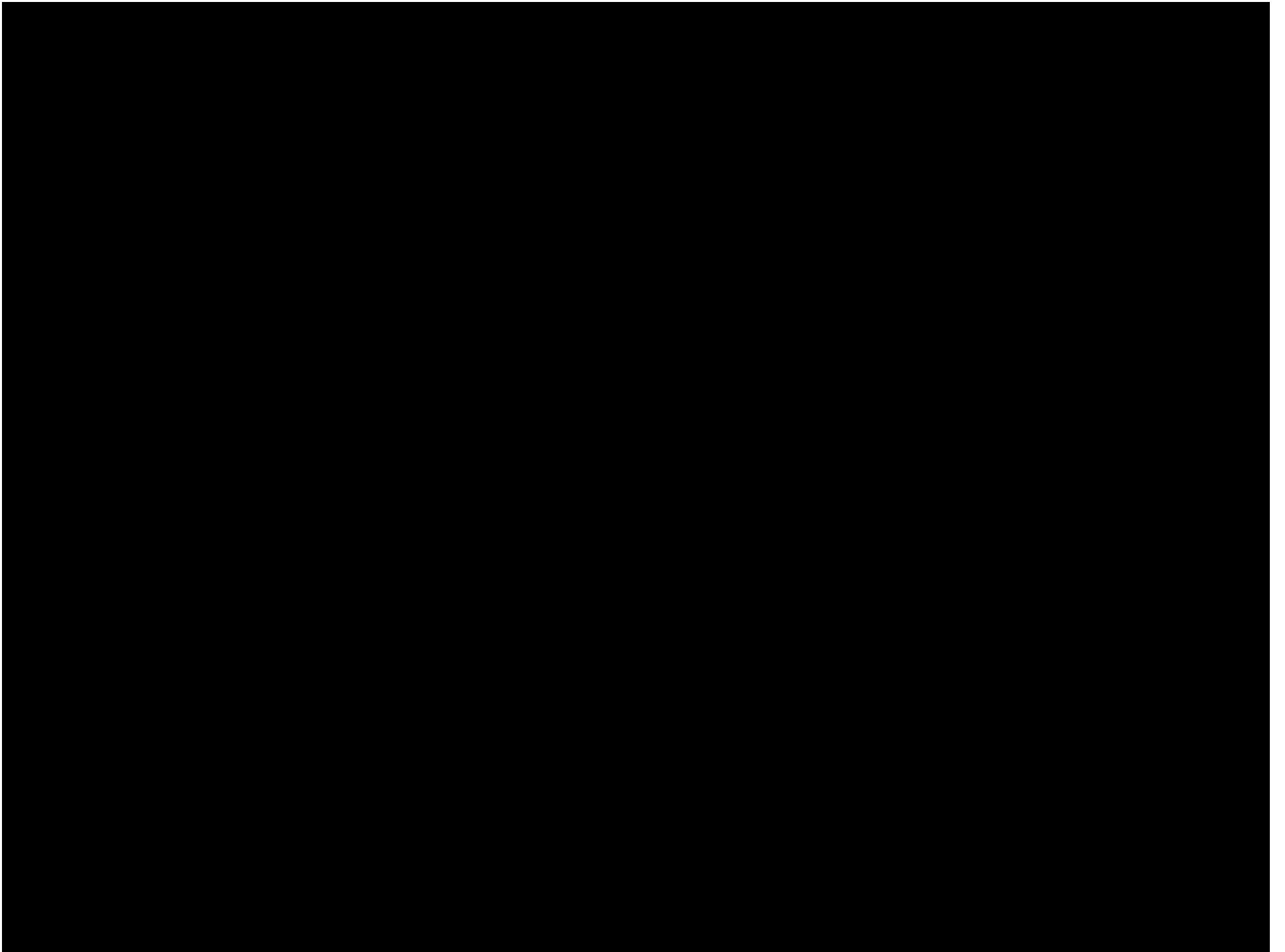


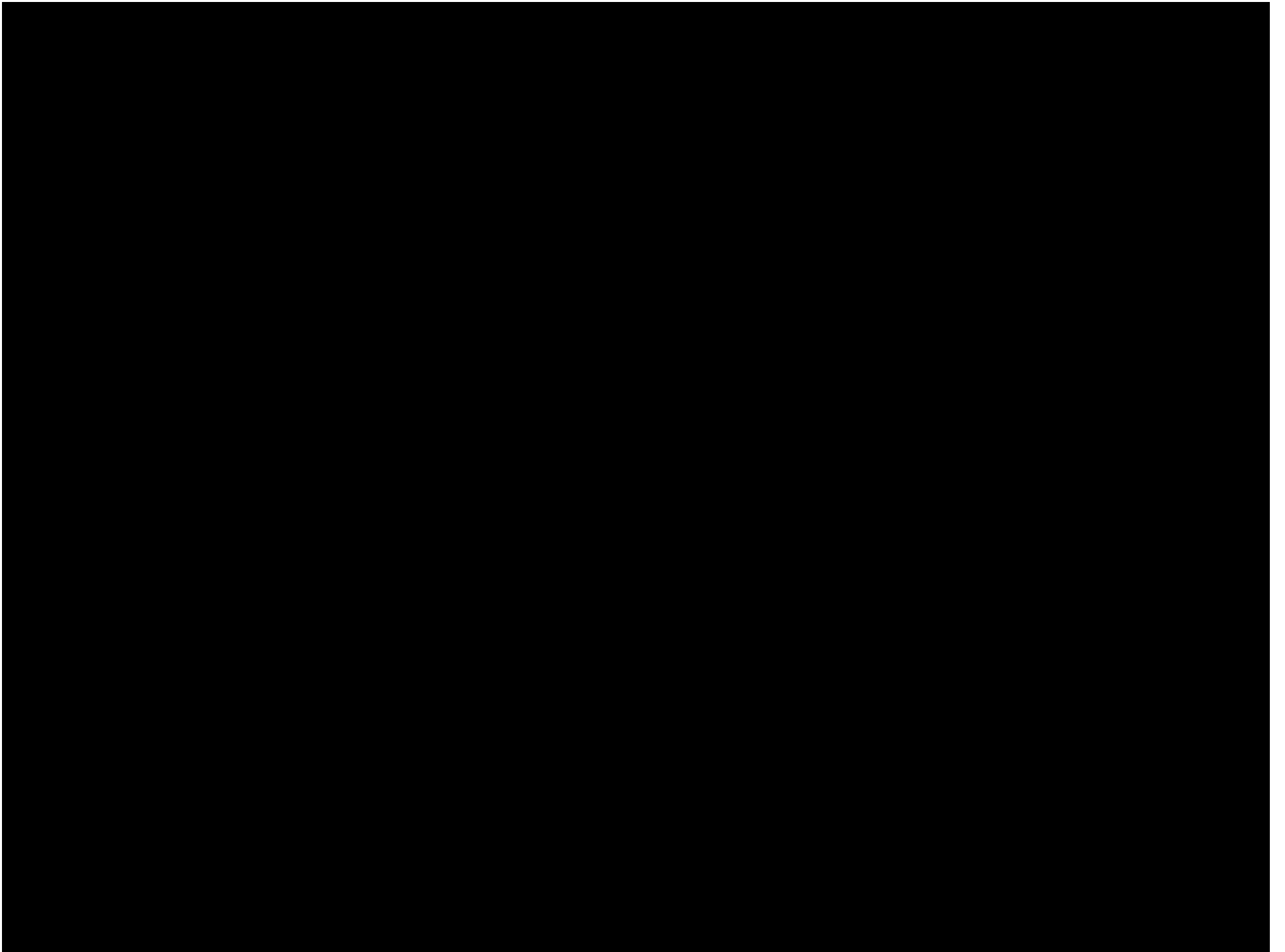
Экспериментальная оценка эффективности ГА





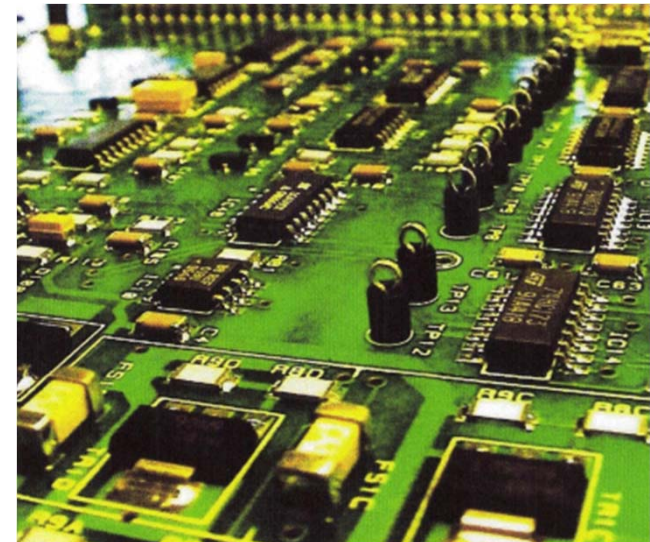
**Спасибо за
внимание**



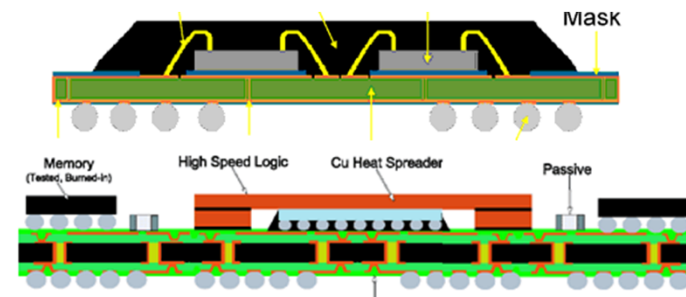


Проблемы двумерной компоновки на печатных платах

- Относительно низкая плотность монтажа
- Относительно высокая длина печатных проводников
- Относительно высокая стоимость и малая надежность многослойных ПП
- Элементы теплоотвода занимают относительно большой объем ЭА

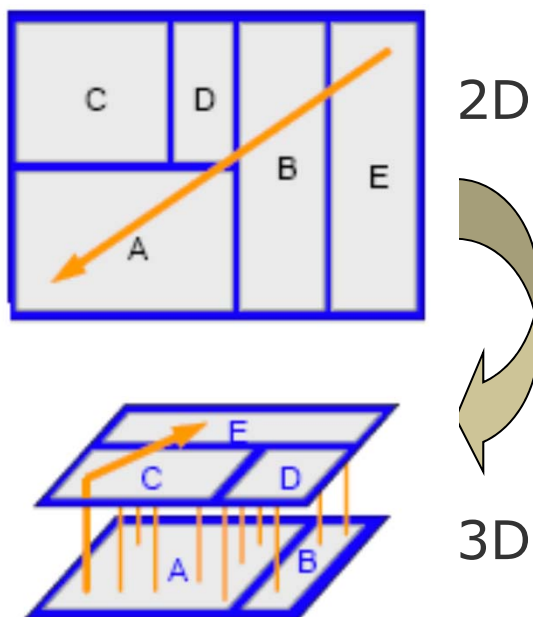


Микросборки (многокристальные модули) лишь отчасти решают обозначенные проблемы



Электронные модули трехмерной компоновки

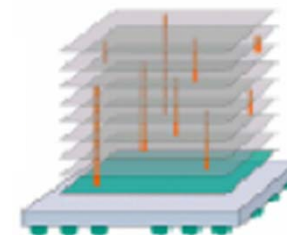
- **Общий подход:**



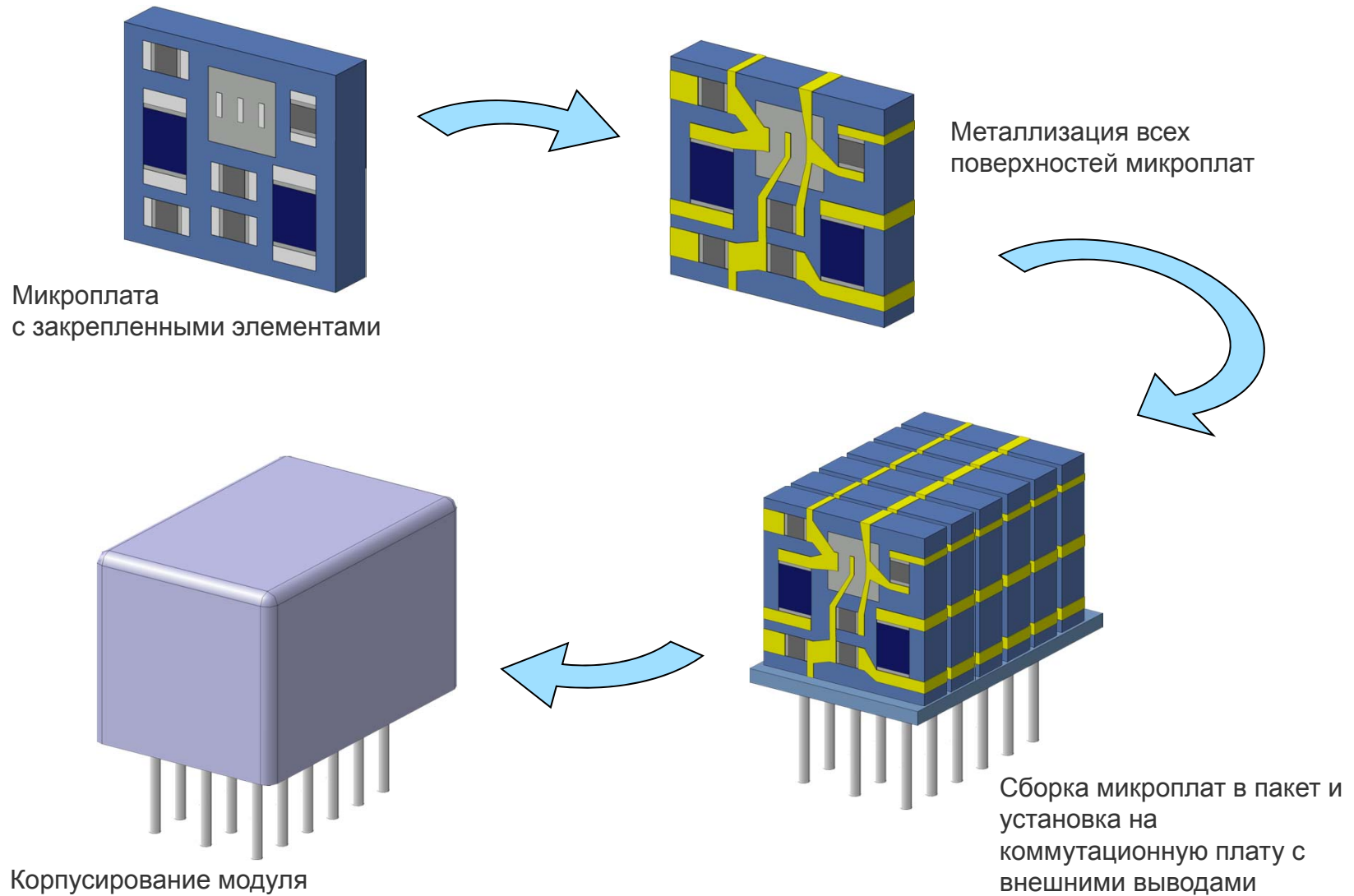
Расположение элементов и связей между ними не в плоскости, а **в объеме**.

- Максимально возможная плотность компоновки
- Значительное сокращение длины проводников
- Значительное сокращение общего занимаемого объема
- Возможность интеграции в одном конструктиве различных функций (аналоговые, цифровые, память, ...)
- Возможность применения отработанных технологий полупроводникового производства

Система на 3D-кристалле (SoC)



Электронные модули трехмерной компоновки



Методы 3D-компоновки

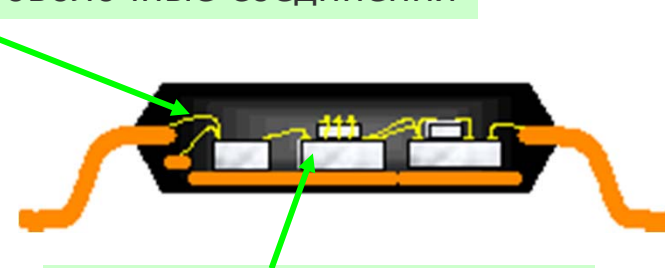
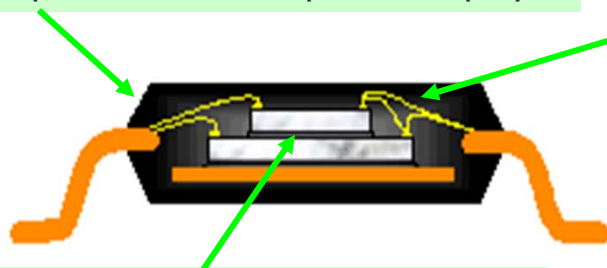
(1/9)

• Зарубежные разработки



Стандартный полимерный корпус

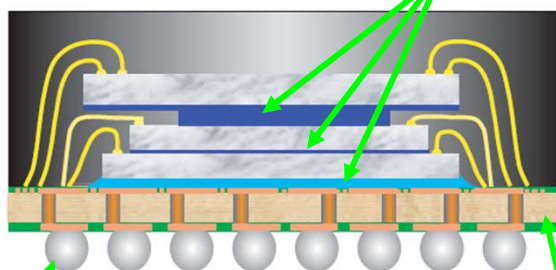
Проволочные соединения



Кристаллы разных размеров («пирамида»)

Кристаллы одинаковых и разных размеров

Изолирующие слои

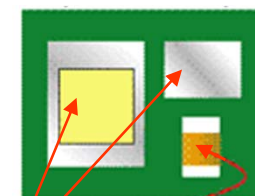


Шариковый вывод

Диэлектрическая подложка



Возможность размещения пассивных элементов



Кристаллы

Пассивный элемент

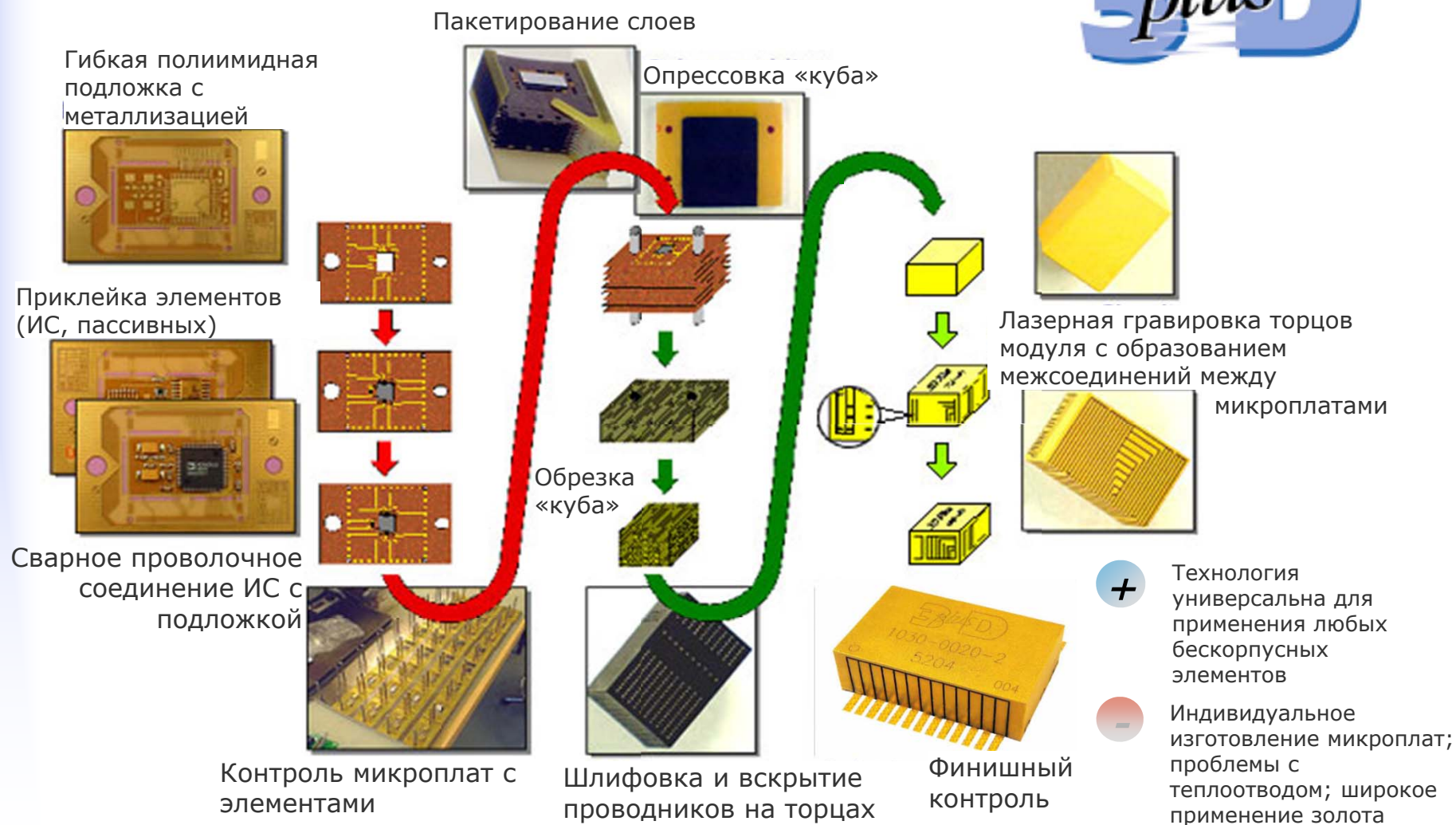


Не решен вопрос теплоотвода

Методы 3D-компоновки

(2/9)

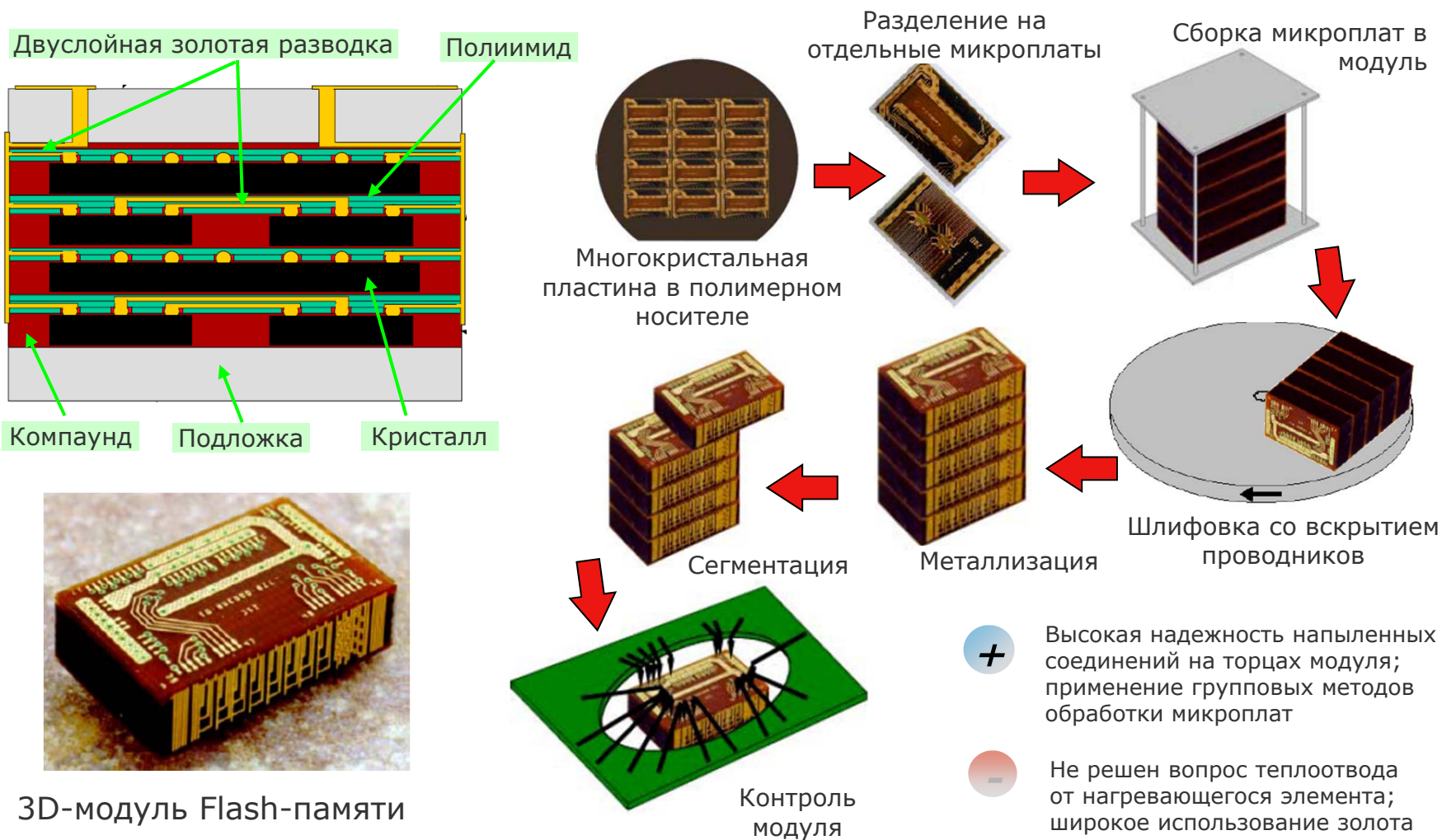
• Зарубежные разработки



Методы 3D-компоновки

(3/9)

• Зарубежные разработки



3D-модуль Flash-памяти

Контроль модуля

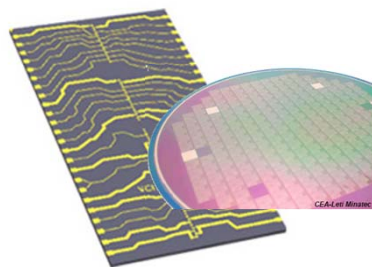
- + Высокая надежность напыленных соединений на торцах модуля; применение групповых методов обработки микроплаат
- Не решен вопрос теплоотвода от нагревающегося элемента; широкое использование золота

Методы 3D-компоновки

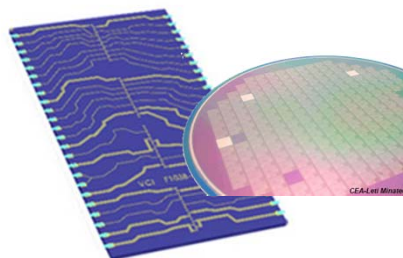
(4/9)

• Зарубежные разработки

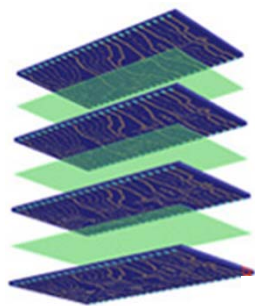
Формирование п/п пластины с двухслойной разводкой;



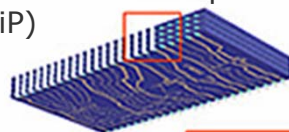
Нанесение защитного слоя полиимида; солшлифовка пластины по толщине;



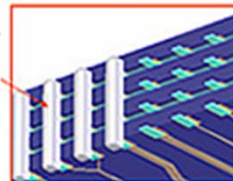
Разрезка пластины; сборка микроплат в модуль



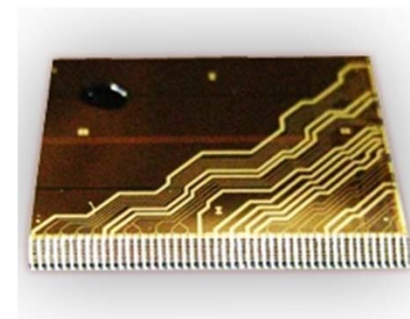
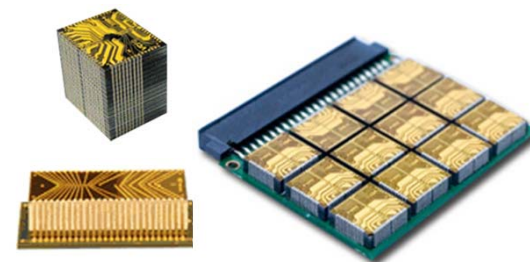
Соединения микроплат через нанесение проводников на торцы 3D-модуля (технология вертикальных столбиков - ViP)



Vertical Inline Pillar (Gang Conductive Epoxy)



VCI
Vertical Circuits, Inc.



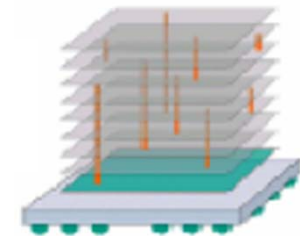
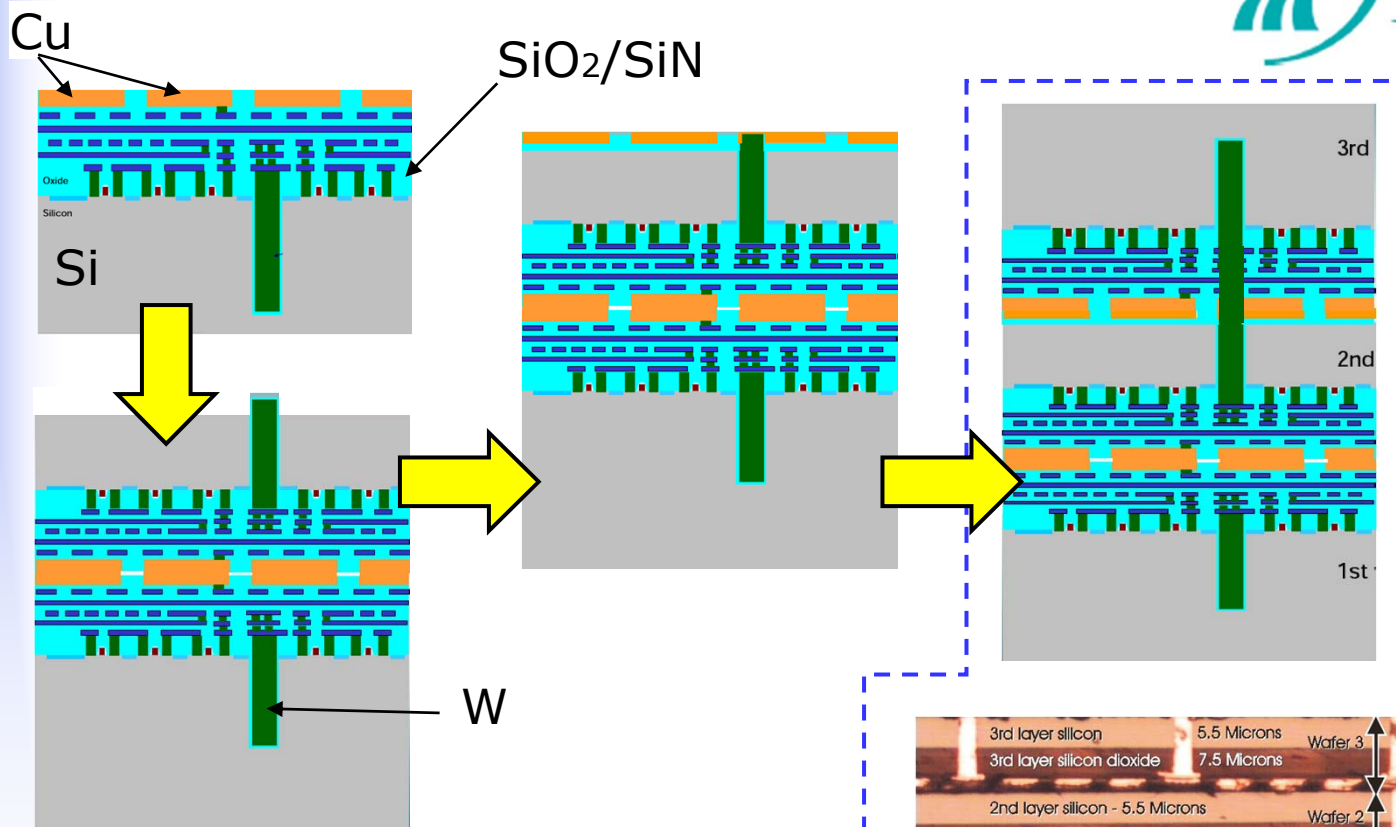
+ Высокая плотность компоновки; групповые методы обработки пластин

- Применимость только для модулей памяти; проблемы с теплоотводом из-за наличия изоляционных слоев

Методы 3D-компоновки

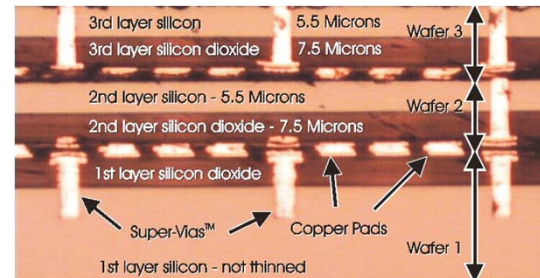
(5/9)

• Зарубежные разработки



Система на 3D-кристалле (SoC)

- + Высокая плотность компоновки
- Не решен вопрос размещения дискретных элементов, которые невозможно или нерационально изготовить по полупроводниковой технологии; проблемы с теплоотводом из-за наличия изоляционных слоев



Методы 3D-компоновки

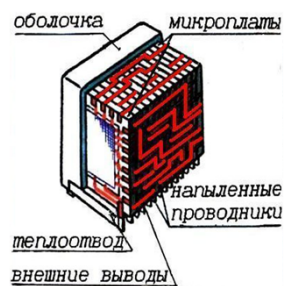
(7/9)

• Отечественные разработки



Конструкторско-технологические методы трехмерной компоновки:

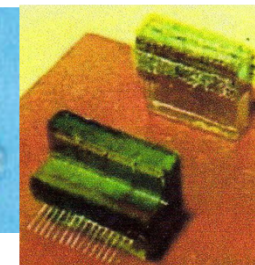
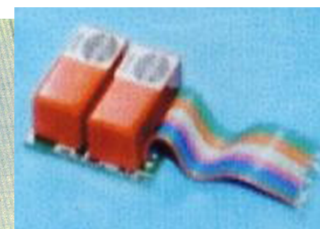
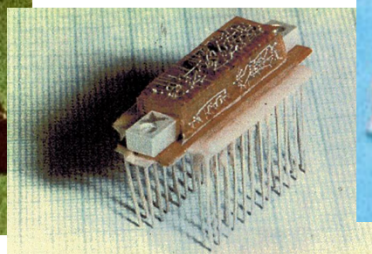
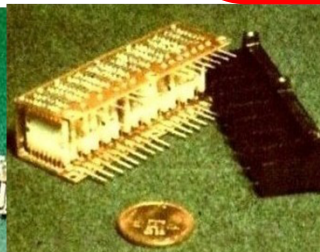
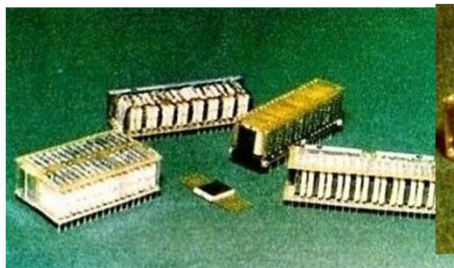
1. Вариант с применением полимерных микроплат



2. Вариант с применением керамических микроплат



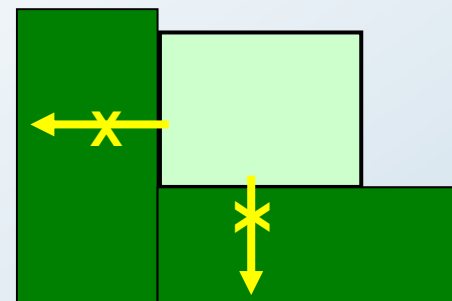
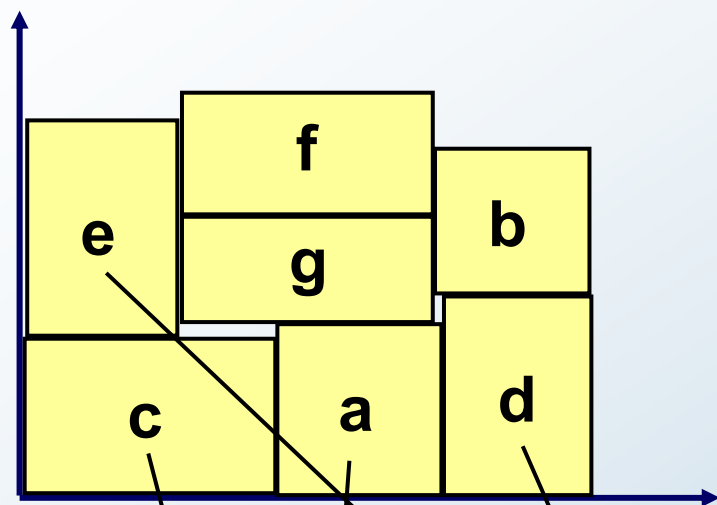
3. Вариант без применения микроплат



Автор метода – Сасов Ю.Д.

Размещение в «левый нижний угол»

- Безуровневая стратегия формирования упаковки прямоугольных блоков в задаче «раскроя-упаковки»



Е-хромосома:

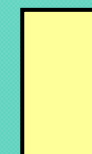
Аллели имен

Аллели ориентаций

c	a	e	d	g	f	b
1	0	0	0	1	1	0

Ориентац.

“0”



“1”



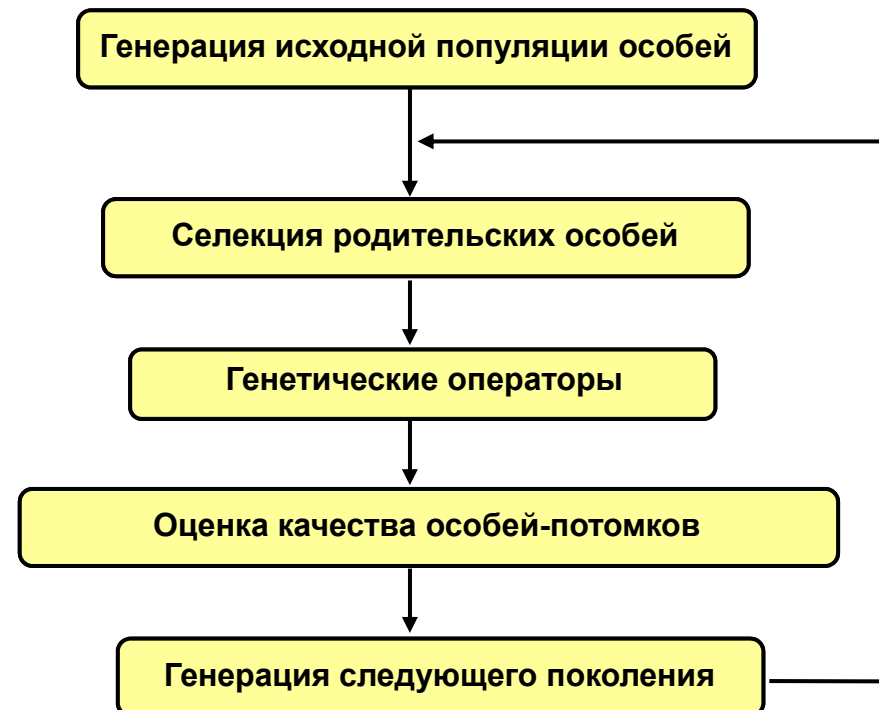
Автоматизация проектирования 3D-модулей

• Генетический алгоритм (ГА)

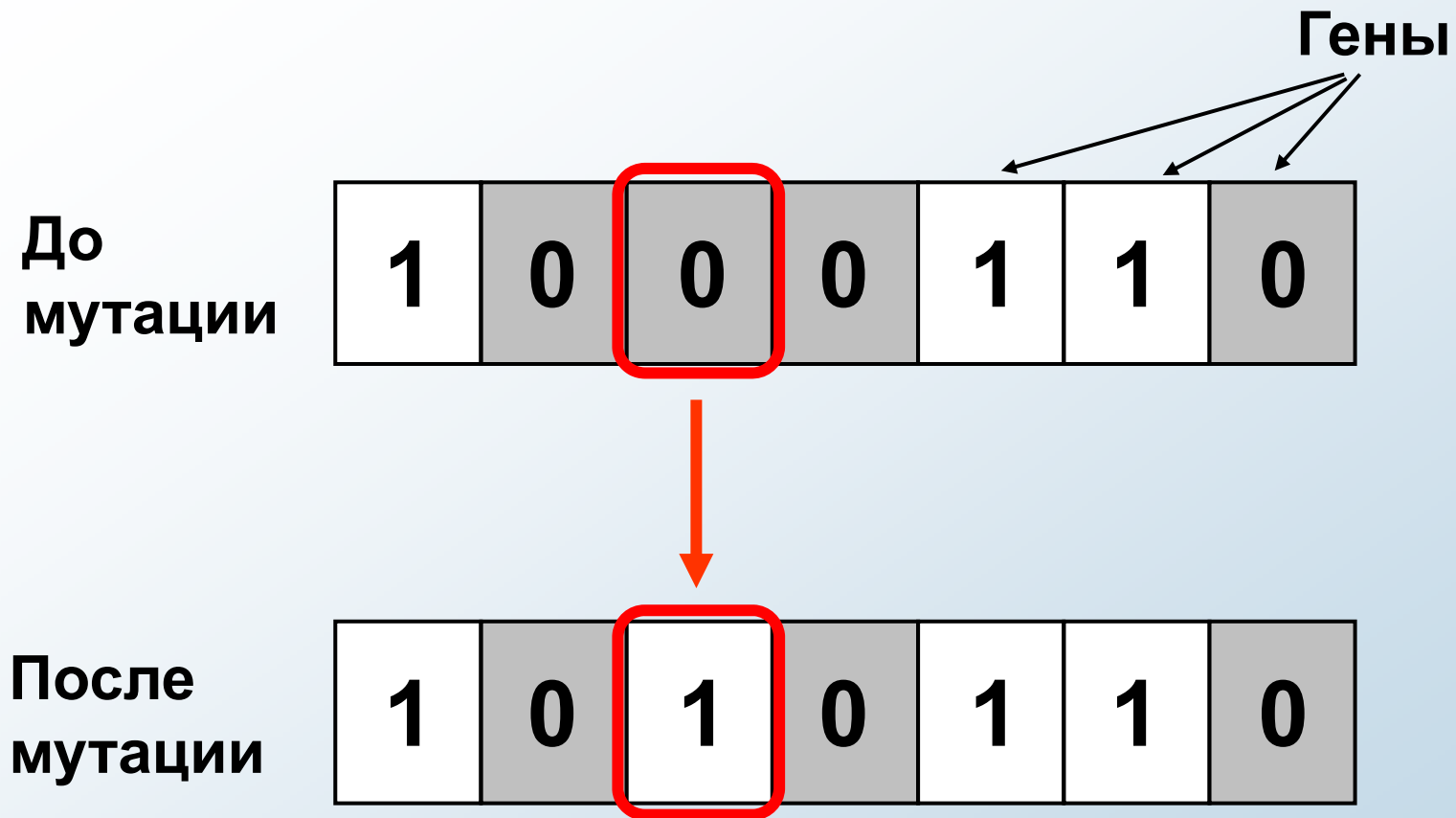


- Оптимизация на множестве потенциальных решений (особей)
- Поиск лучших решений основан на механизмах наследования, изменения и усиления полезных свойств объектов в процессе имитации их эволюции
- Возможность поиска в неметризуемых пространствах параметров
- Возможность распараллеливания процесса поиска
- Каждое потенциальное решение – это конкретный вариант размещения элементов в микроплатах и конкретная очередность микроплат

– метод случайно-направленного поиска оптимальных решений, имитирующий биологическую эволюцию



Пример оператора мутации



Модификация хромосомы мутацией

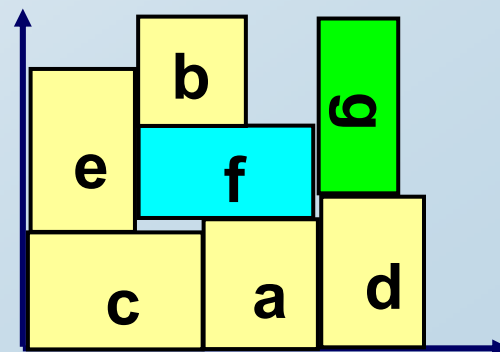
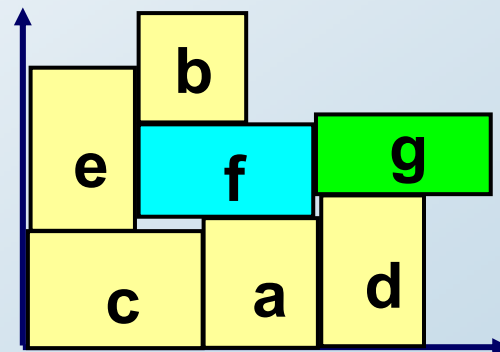
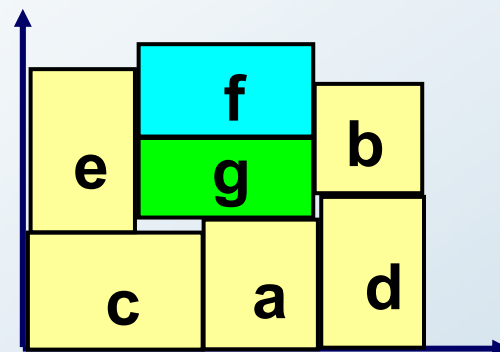
с	а	е	д	g	f	б
1	0	0	0	1	1	0

Мутация 1

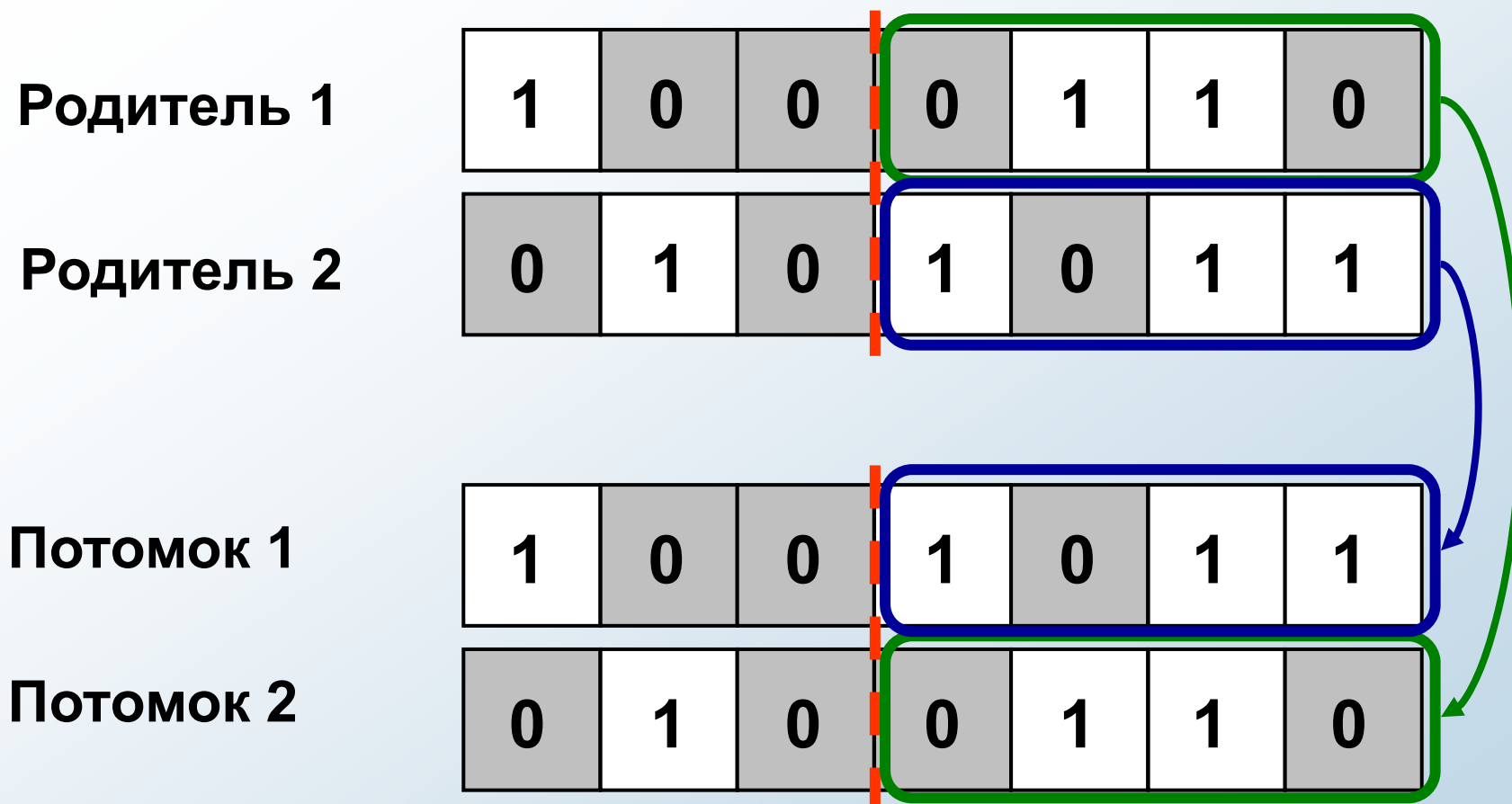
с	а	е	д	f	g	б
1	0	0	0	1	1	1

Мутация 2

с	а	е	д	f	g	б
1	0	0	0	1	0	0



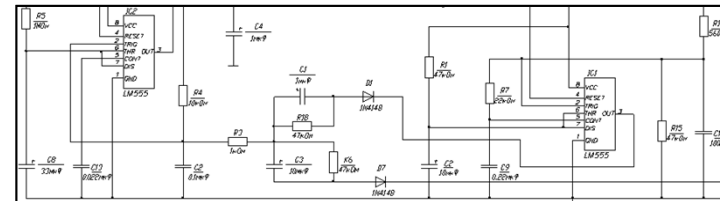
Пример одноточечного кроссовера



Автоматизация проектирования 3D-модулей

• Исходные данные для оптимизации

1. Множество электронных элементов, входящих в состав 3D-модуля (электрическая схема);



2. Параметры каждого элемента: позиционное обозначение на ЭЗ, габаритные размеры, выделяемая мощность, характеристики для расчета надежности.

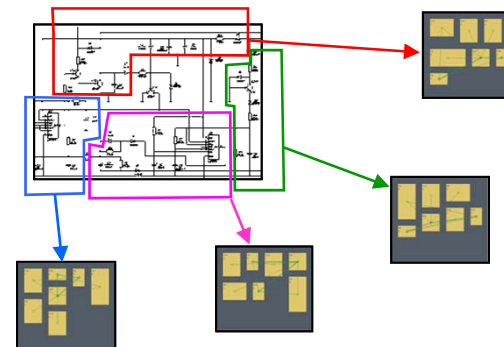


$R5; P=0.25 \text{ Вт}$

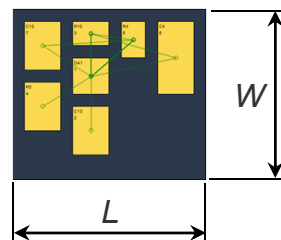
$L \times W \times H, \text{ мм}$

$\lambda_i \ a_1, a_2 \ a_3$

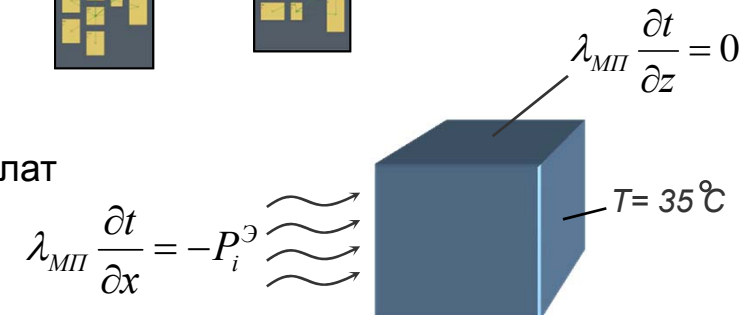
3. Разбиение всего множества элементов по микроплатам;



4. Габариты микроплаты;



5. Тепловые граничные условия на гранях пакета микроплат



Автоматизация проектирования 3D-модулей

• Двухкритериальная целевая функция

• Комплексный
безразмерный критерий
оптимизации:

$$\left\{ K_{\Sigma} = \gamma_1 \frac{\lambda_{\Sigma i}}{\tilde{\lambda}_{\Sigma MAX}} + \gamma_2 \frac{L_{\Sigma i}}{\tilde{L}_{\Sigma MAX}} \right\} \rightarrow \min$$

γ_1, γ_2 - безразмерные коэффициенты значимости частных критериев, причём $\left\{ \begin{array}{l} \gamma_1 + \gamma_2 = 1, \\ \gamma_1 \geq 0, \gamma_2 \geq 0; \end{array} \right.$

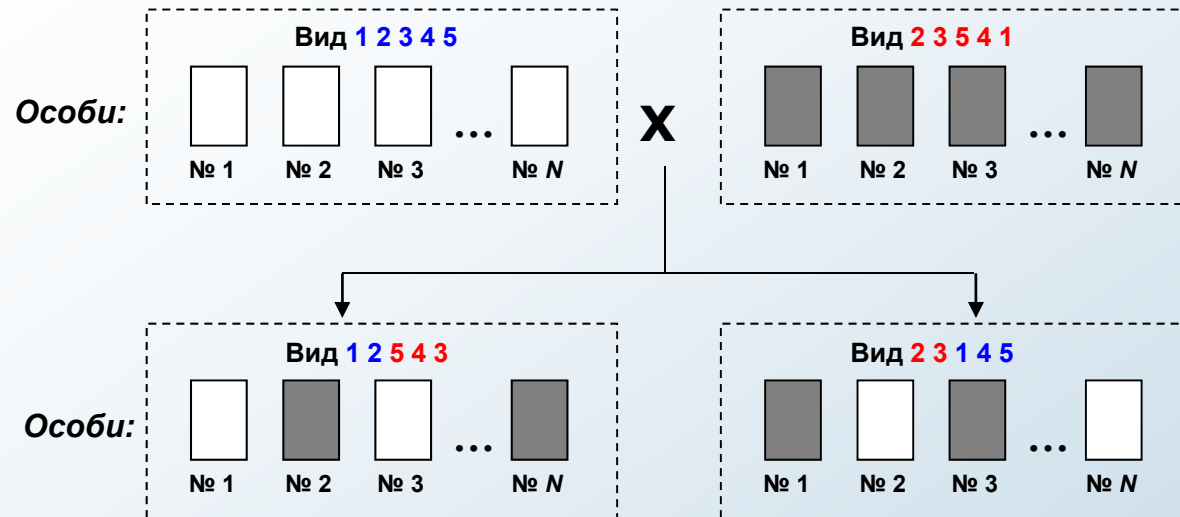
λ_{Σ} – общая интенсивность отказов ЭМТК, 1/ч
 L_{Σ} – суммарная длина «соединений», мм

} *Частные критерии*

$\left. \begin{array}{l} \tilde{\lambda}_{\Sigma MAX} \\ \tilde{L}_{\Sigma MAX} \end{array} \right\}$ – «динамические грубые» верхние оценки значений частных критериев.
Определяются как худшее значение соответствующей частной ЦФ, возникшее к данному моменту времени (на данном поколении), начиная с момента генерации исходной популяции.

Видовой ГА

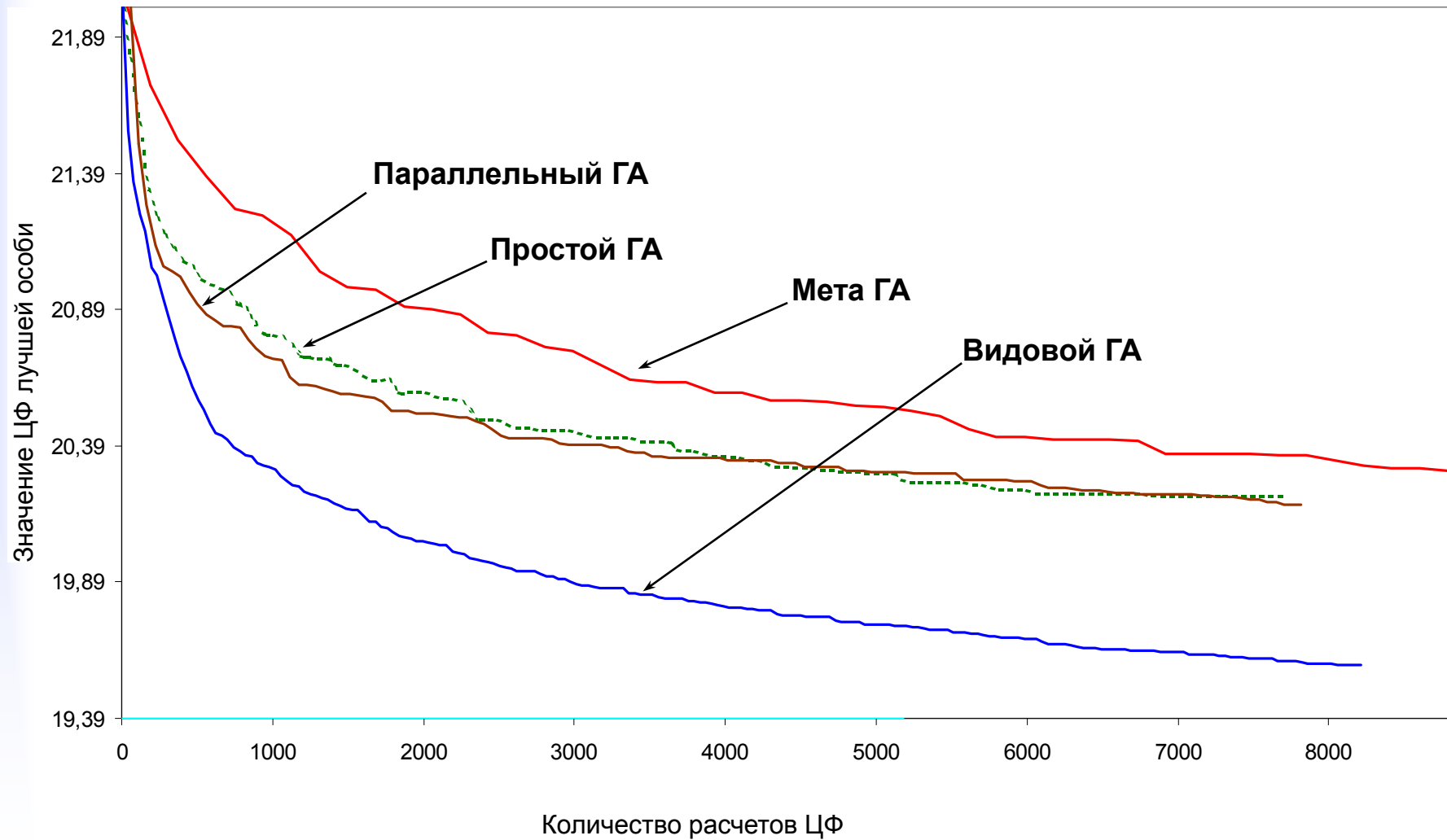
Модификация видов скрещиванием:



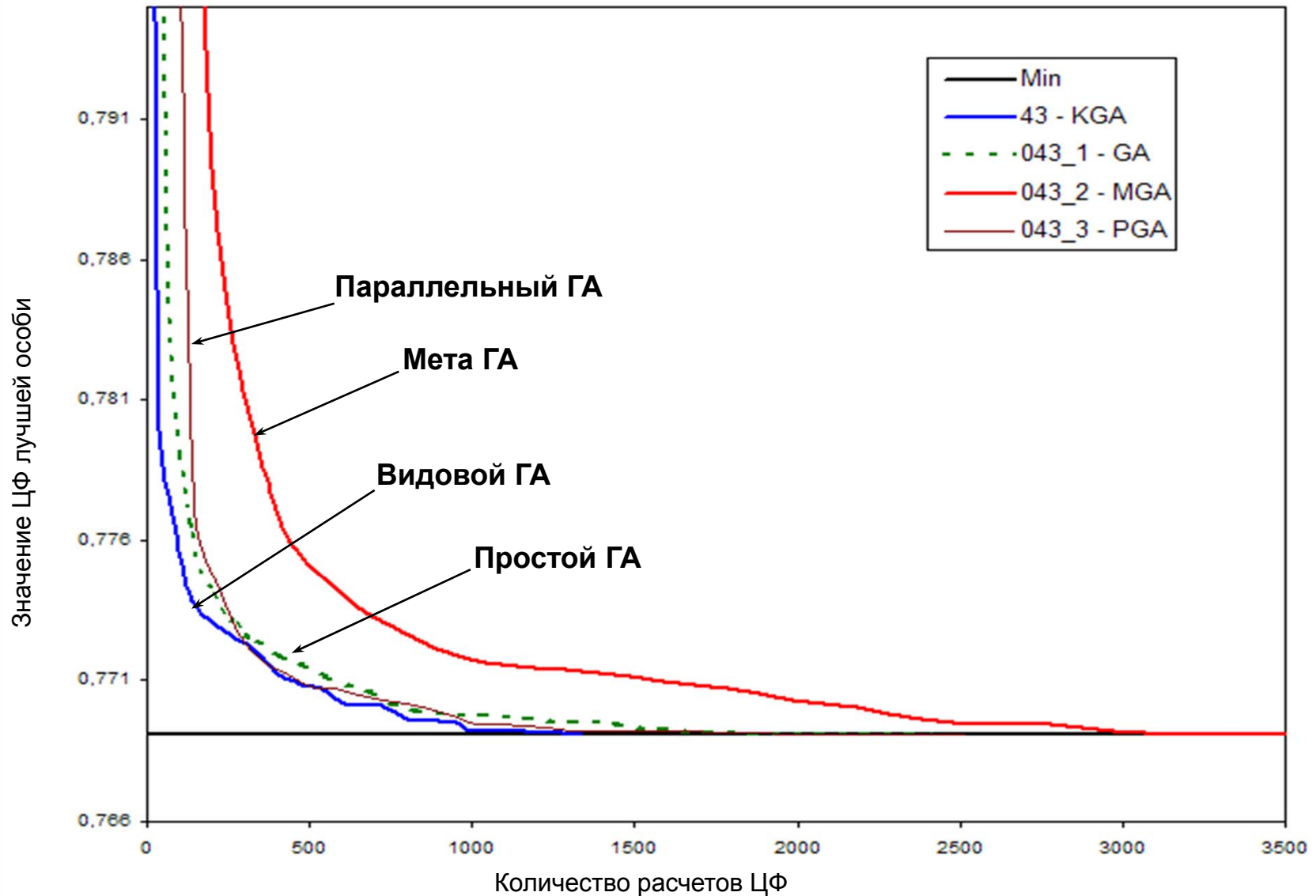
Модификация вида мутацией:



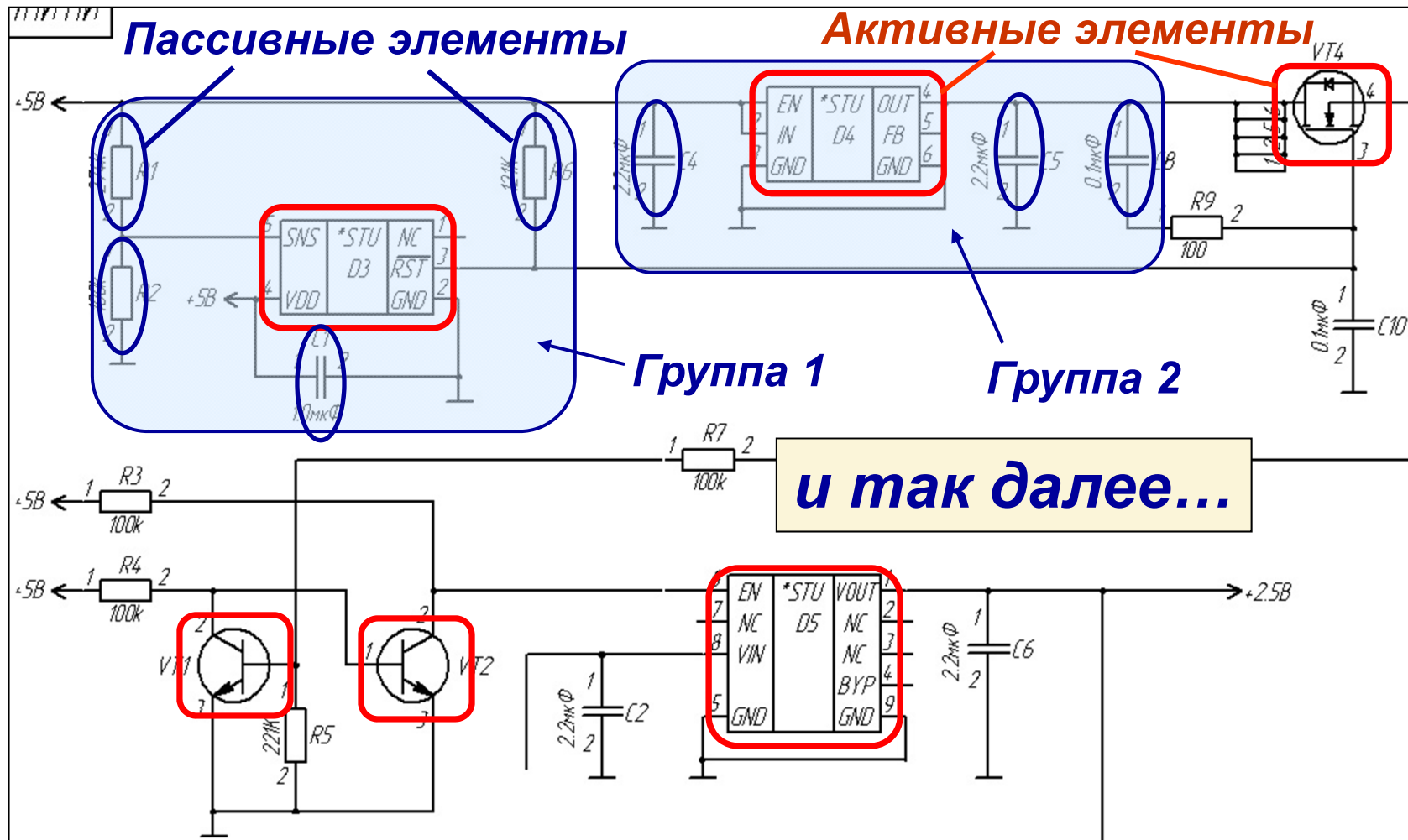
Экспериментальная оценка эффективности ГА



Экспериментальная оценка эффективности ГА



Принцип компоновки элементов по группам



Программная реализация ГА

The screenshot displays the software's configuration panels. On the left, the 'Граничные условия' (Boundary Conditions) panel shows a 3D model of a cube with six faces, each with a temperature and heat flux setting. The 'Параметры разбиения на конечные объемы' (Discretization Parameters) panel includes grid step and threshold values. The main 'ГА' (GA) panel is divided into several sections: 'Параметры популяции' (Population Parameters) with fields for population size and generations; 'Параметры Метаметрического алгоритма' (Meta-metric Algorithm Parameters) for configuration and iteration counts; 'Методы генетических операторов' (Genetic Operator Methods) for selection and crossover; 'Параметры видовой ГА' (Species GA Parameters) for species count and mutation rates; and 'Методы мутации' (Mutation Methods) for point and macro-mutations.

This section shows the 'Код эксперимента' (Experiment Code) field set to 800 and the 'Видовой ГА' (Species GA) section with code 700. Below these is a progress bar indicating 100% completion of the process.

