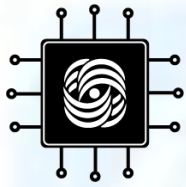


Метод сбалансированного выбора модулей РВС РВ с учётом требований к надёжности

Д.Ю. Волканов

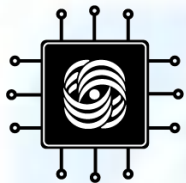
*МГУ им. М.В.Ломоносова, факультет ВМК
Лаборатория Вычислительных Комплексов*

`dimawolf@cs.msu.su`



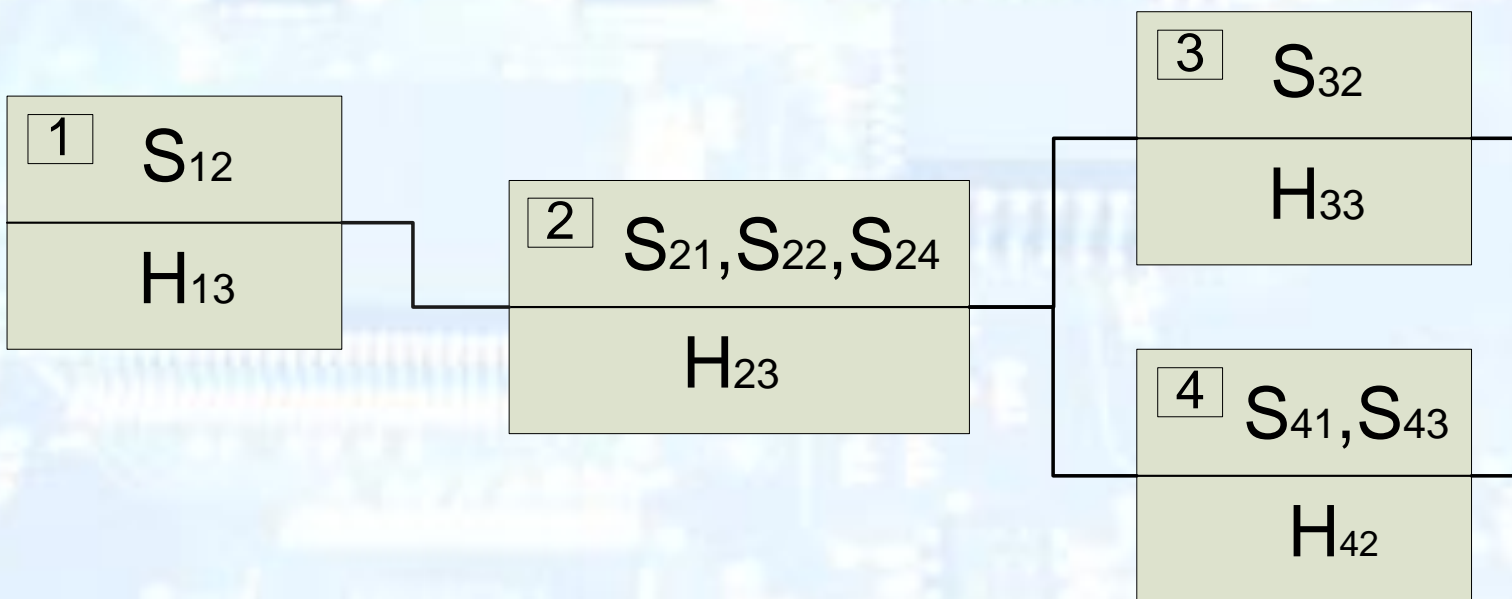
План доклада

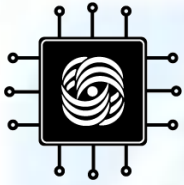
- Введение
- Задача оптимизации надёжности РВС РВ
- Предыдущие работы
- Метод решения задачи оптимизации надёжности РВС РВ
- Особенности предложенного алгоритма
- Результаты экспериментального исследования
- Выводы



Неформальная постановка задачи оптимизации надёжности ВС

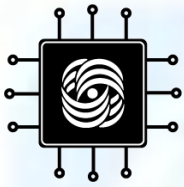
Пример вычислительной системы:





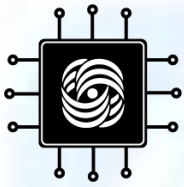
Классическая постановка задачи оптимизации надёжности ВС

- *Дано:*
 - N – количество подсистем
 - Ch_{ij} , Cs_{ij} – стоимость использования аппаратного/программного компонента j для подсистемы i
 - Rh_{ij} , Rs_{ij} – надёжность аппаратного/программного компонента j для подсистемы i
 - P_{rv} , P_d , P_{all} – вероятности отказа нескольких версий программных компонентов, вероятность отказа схемы принятия решений, вероятность отказа сразу всех версий программного компонента
- *Необходимо найти:*
 - Оптимальный набор компонентов и МОО, на котором $R_{RTES} \rightarrow \max$
- *Ограничения:*
 - $C_{RTES} < Cost$



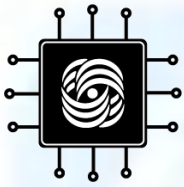
Особенности современных РВС РВ

- Самый многочисленный вид ВС
- Ограничения на массу, габариты и энергопотребление
- Критичность времени работы некоторых задач
- Сотни различных устройств, входящих в состав РВС РВ
- Невозможность представления функционирования РВС РВ в аналитическом виде



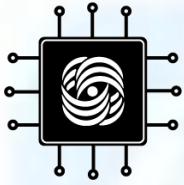
Задача оптимизации надёжности

- *Дано:*
 - N – количество подсистем
 - Ch_{ij}, Cs_{ij} – цена использования аппаратного/программного компонента j для подсистемы i
 - Rh_{ij}, Rs_{ij} – надёжность аппаратного/программного компонента j для подсистемы i
 - P_{rv}, P_d, P_{all} – вероятности отказа нескольких версий программных компонентов, вероятность отказа схемы принятия решений, вероятность отказа сразу всех версий программного компонента
- *Необходимо найти:*
 - Оптимальный набор компонентов и МОО, на котором $R_{RTES} \rightarrow \max$
- *Ограничения:*
 - $C_{RTES} < Cost$
 - $\frac{T_k}{D_k} < D_k$
 - $\frac{M_{RTES}}{Mass} < Mass$
 - $\frac{D_{RTES}}{Dimension} < Dimension$
 - $\frac{E_{RTES}}{Energy} < Energy$



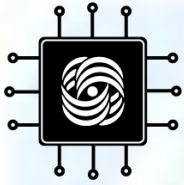
Задача оптимизации надёжности

- *Дано:*
 - N – количество подсистем
 - C_r – структура аппаратной части РВС РВ
 - LE – поведение операционной системы
 - B_h – поведение прикладной программы
 - Shd – это отображение LE и B_h на C_r
 - G – интерпретация LE и B_h с учётом Shd на C_r
 - Ch_{ij}, Cs_{ij} – цена использования аппаратного/программного компонента j для подсистемы i
 - Rh_{ij}, Rs_{ij} – надёжность аппаратного/программного компонента j для подсистемы i
 - Pr_v, Pd, Pa_{ll} – вероятности отказа нескольких версий программных компонентов, вероятность отказа схемы принятия решений, вероятность отказа сразу всех версий программного компонента
- *Необходимо найти:*
 - Оптимальный набор C_r , на котором $R_{RTES} \rightarrow \max$
- *Ограничения:*
 - $C_{RTES} < Cost$
 - $\frac{T_k}{D_k} < D_k$
 - $\frac{M_k}{Mass} < Mass$
 - $\frac{E_k}{Energy} < Energy$



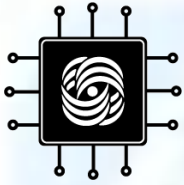
Принятые ограничения

- Все компоненты являются неремонтируемыми
- Моменты появления отказов для аппаратуры статистически независимы
- Все аппаратные компоненты РВС РВ являются активными
- Количество доступных версий для всех компонентов фиксировано
- Интенсивность отказов постоянно



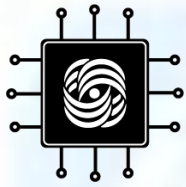
Особенности задачи

- NP-трудная
- Аргументы и значения функции надежности являются дискретными
- Многоэкстремальная область допустимых решений
- Область допустимых решений несвязна
- Функция надежности нелинейна
- Функция стоимости линейна
- Каждый модуль вычислительной системы имеет свой доступный набор механизмов обеспечения отказоустойчивости



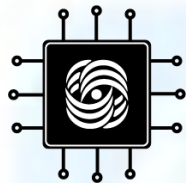
Предыдущие работы - методы

- Алгоритмы муравьиных колоний
- Генетические алгоритмы
- Имитация отжига
- Иммунные алгоритмы
- Прочие эвристики
- Поиск с отсечением
- Динамическое программирование
- Другие точные методы

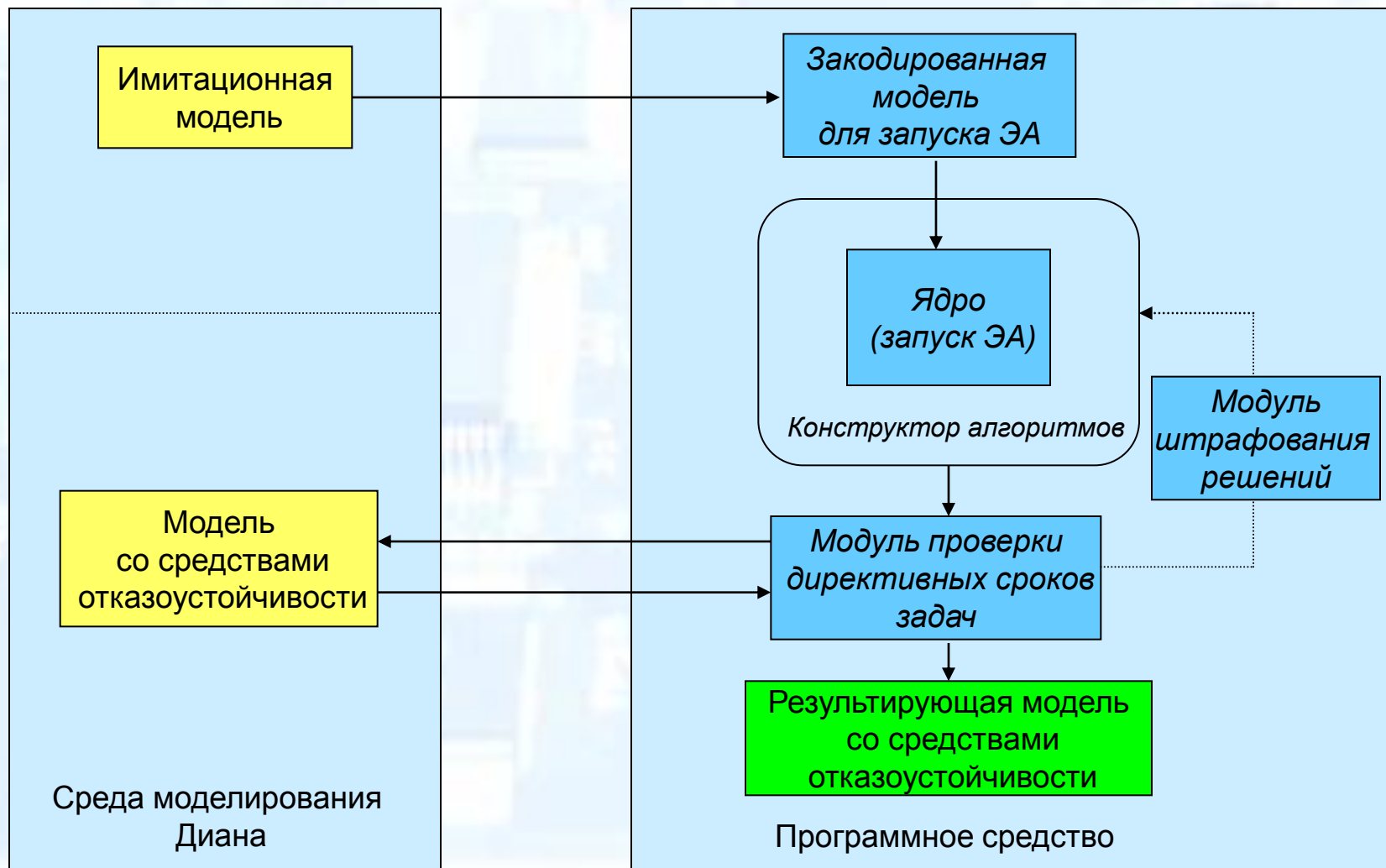


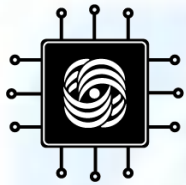
Ограничения существующих методов

- Временные ограничения не рассматриваются
- Рассматривается только резервирование
- Рассматривается только аппаратное или программная отказоустойчивость
- Точные методы эффективны для задач малой размерности



Метод поиска сбалансированного выбора модулей РВС РВ





Описание предложенного алгоритма

Поставленная задача решается с помощью **адаптивного гибридного эволюционного алгоритма (АГЭА)**.

Кодирование решений:

Каждое возможное решение кодируется в виде строки, состоящей из блоков, соответствующих модулям:

H_i - номер конфигурации аппаратной составляющей модуля i ,
 S_i - номер конфигурации программной составляющей, а T_i – это номер МОО, используемого в данном модуле.

H1	S1	T1	H2	S2	T2	H3	S3	T3	H4	...
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

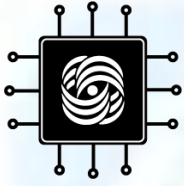
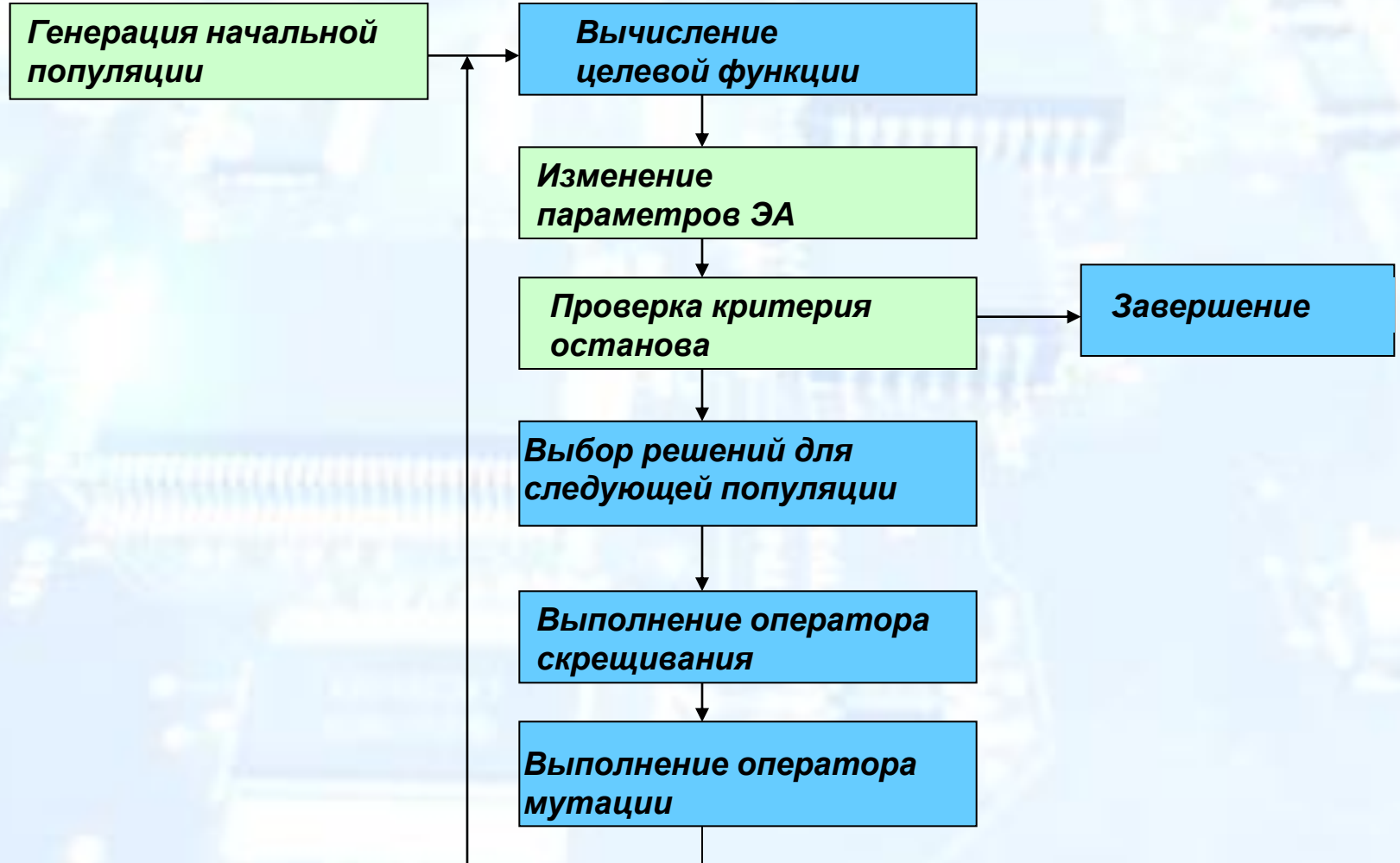
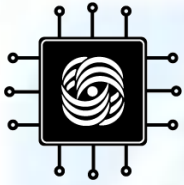


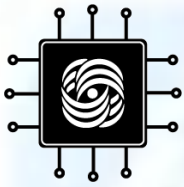
Схема работы АГЭА





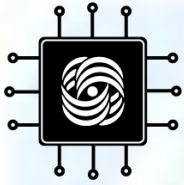
Блок нечёткой логики (изменение параметров)

- Позволяет автоматически перенастраивать алгоритм, управляя степенью влияния генетических операторов
- Для каждого параметра ЭА устанавливается минимальное, среднее и максимальное значения
- Имеет невысокую сложность по сравнению с одной итерацией алгоритма
- Решение принимается исходя из изменений среднего значения целевой функции по популяции и лучшего решения



Случайная с ограничениями генерация начальной популяции

- Генерация решения
 - Случайным образом генерируется конфигурация модуля
 - Проверяется ограничение на время для полученного модуля. Если конфигурация удовлетворяет ограничению, переход к генерации следующего модуля, иначе регенерация модуля
- Проверка ограничения на стоимость для полученного решения. Если решение удовлетворяет ограничению, переход к генерации следующего решения, иначе регенерация решения



Штрафная функция (1)

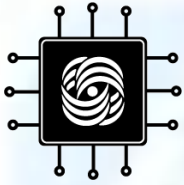
- Штрафная функция равна 1, если решение удовлетворяет ограничениям, иначе обратно пропорциональна времени (стоимости).

- для времени:

$$E_{time}^i = \begin{cases} 1, T_i < D_i \\ \frac{D_i}{T_i}, \text{ иначе} \end{cases} \quad R_i^* = R_i \cdot E_{time}^i \quad R_{system}^* = \prod_{i=1}^n R_i^*$$

- для стоимости:

$$E_{cost} = \begin{cases} 1, C_{system} < C_{system}^{\max} \\ \frac{C_{system}^{\max}}{C_{system}}, \text{ иначе} \end{cases} \quad R_{system}^{**} = R_{system}^* \cdot E_{cost}$$



Штрафная функция (2)

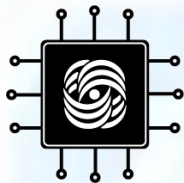
- Штрафная функция равна 1, если решение удовлетворяет ограничениям, иначе убывает экспоненциально.

- для времени:

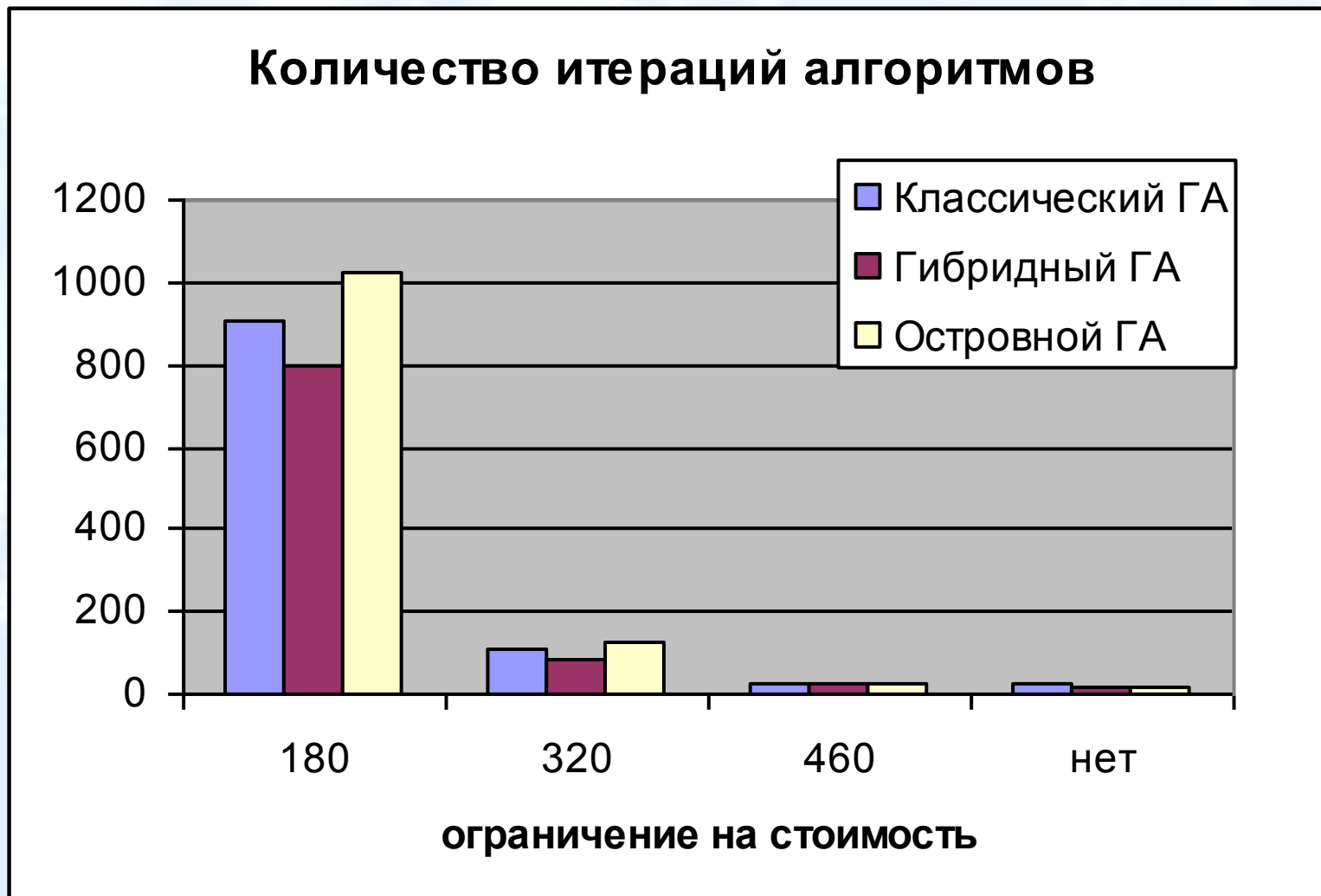
$$E_{time}^i = \begin{cases} 1, T_i < D_i \\ e^{(D_i - T_i)}, \text{иначе} \end{cases} \quad R_i^* = R_i \cdot E_{time}^i \quad R_{system}^* = \prod_{i=1}^n R_i^*$$

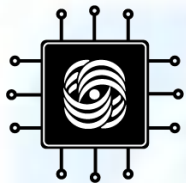
- для стоимости:

$$E_{cost} = \begin{cases} 1, C_{system} < C_{system}^{\max} \\ e^{(C_{system}^{\max} - C_{system})}, \text{иначе} \end{cases} \quad R_{system}^{**} = R_{system}^* \cdot E_{cost}$$

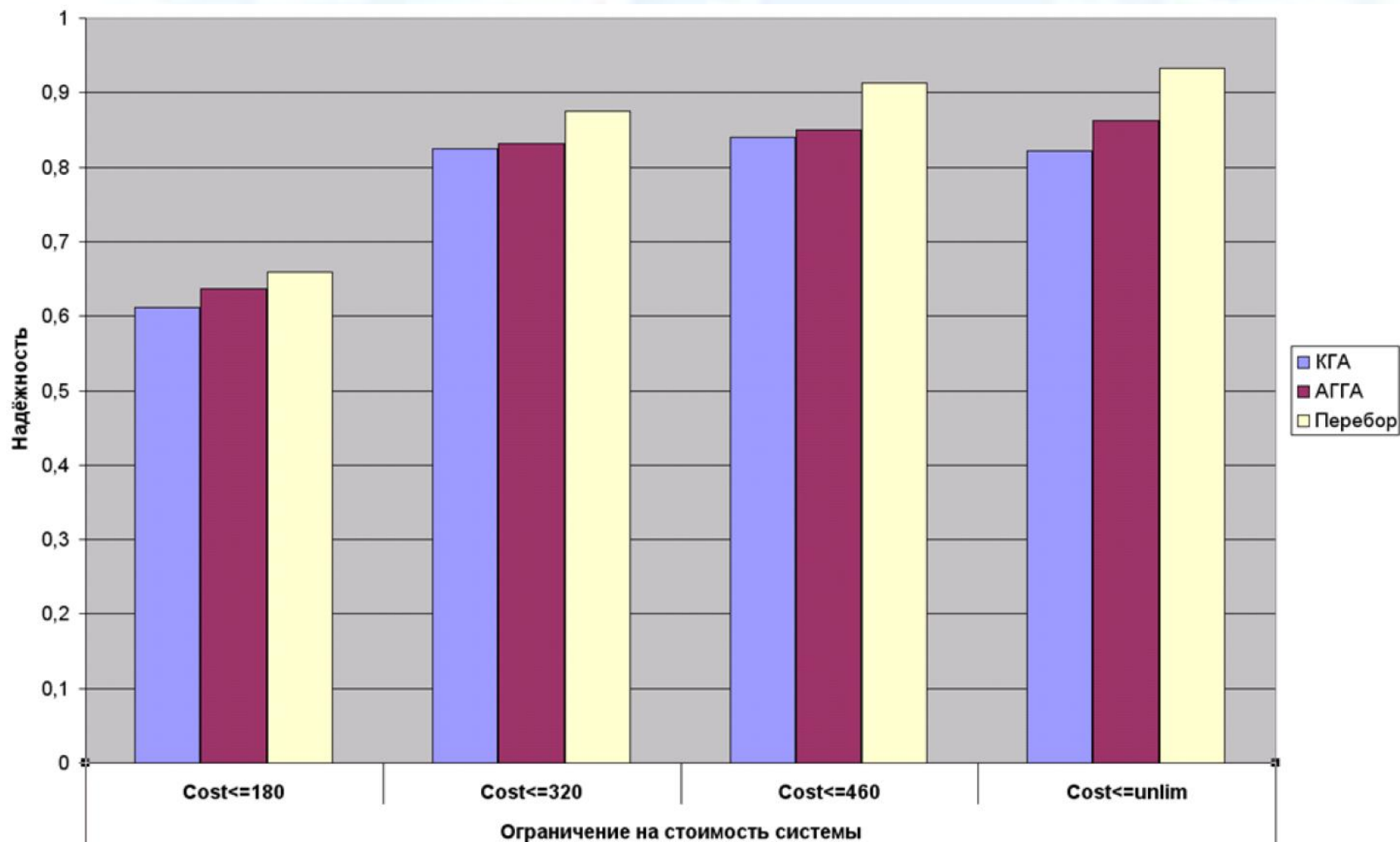


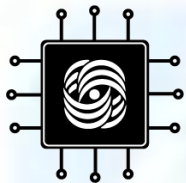
Результаты экспериментов



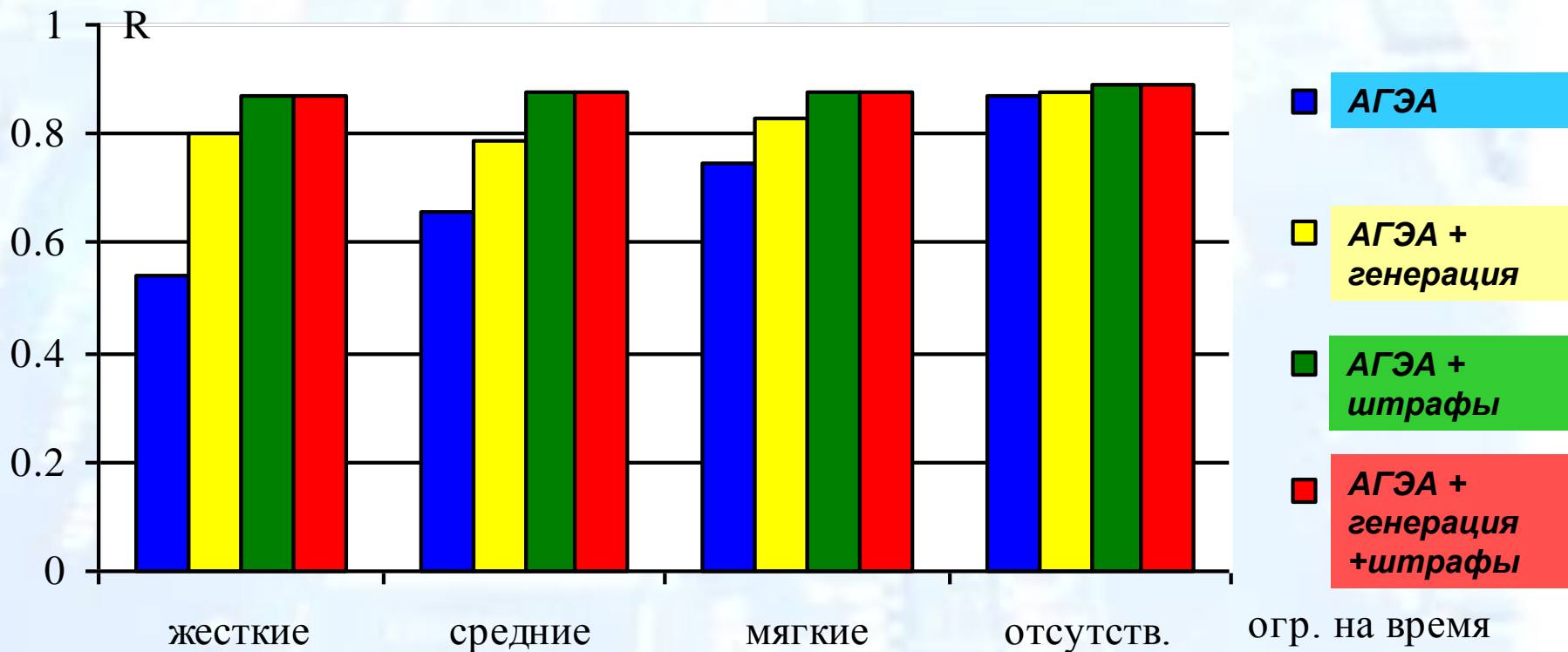


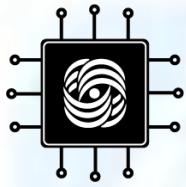
Результаты экспериментов (2)





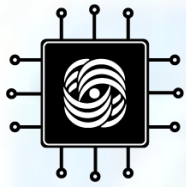
Результаты экспериментов (3)





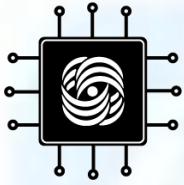
Выводы из экспериментального исследования (1)

- Точность алгоритмов КГА и АГЭА оказалась примерно одинаковой, а отклонение АГЭА от оптимального решения получилось не превосходящим 8%
- На малой области приемлемых решений, предпочтительным оказывается АГЭА, поскольку он имеет наименьшую сложность
- На большой области приемлемых решений, точность, стабильность и сложность алгоритмов КГА и АГЭА примерно одинакова



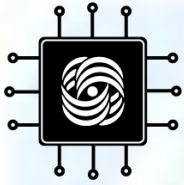
Выводы из экспериментального исследования (2)

- На большой области приемлемых решений: качество решений АГЭА без модификаций и АГЭА с различными комбинациями предложенных модификаций, приблизительно одинаково
- На малой области приемлемых решений: наилучшее качество решений достигается при использовании АГЭА со штрафами и АГЭА со штрафами и со случайной с ограничениями генерацией начальной популяции
- Однако, на случайную с ограничениями генерацию исходных решений необходимо тратить дополнительное время, поэтому предпочтительнее использовать АГЭА только со штрафами



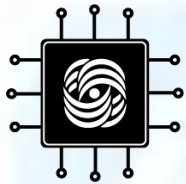
Основные результаты

- Предложен метод поиска сбалансированного выбора модулей РВС РВ с учётом требований к надёжности, обладающий следующими особенностями:
 - Совместное рассмотрение механизмов обеспечения отказоустойчивости для аппаратуры и программ
 - Рассмотрение ограничений времени выполнения программ
 - Использование имитационного моделирования для оценки времени выполнения программ в РВС РВ
- *Разработана модель функционирования РВС РВ при наличии ошибок*
- *Разработано программное средство, реализующее данный метод*



Направление будущих работ

- Исследование применимости методики на большем наборе реальных ВС РВ
- Исследовать поддержку в популяции большего количества различных решений.
- Исследовать применимость использования методов более быстрой (возможно более грубой) оценки времени выполнения программ.
- Исследование различных метаэвристических алгоритмов
- Исследование методов многокритериальной оптимизации для этой задачи



Спасибо за внимание