УДК 004.89

# Исследование способов построения множеств равноценных альтернатив при проектировании радиоэлектронных устройств летательных аппаратов

**Ильин В. Н.[1*], Лепёхин А.В.[2**]**

*[1]Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*[2]Инжениринговая компания «Атомэнергопроект», ул.Бакунинская, 7, Москва, 105005, Россия*

**e-mail: vnil2005@yandex.ru*

***e-mail: morphologik@yandex.ru*

**Аннотация**

В настоящее время разработчики электронных устройств летательных аппаратах, начинают широко применять САПР на ранних этапах проектирования. Одной из важных компонент таких САПР является подсистема сокращения количества альтернатив при выборе отдельных частей проектируемого устройства. Эффективным средством такого сокращения служит построение множества равноценных альтернатив (множества Парето) с помощью критерия их предпочтения или равноценности. В статье предложен единообразный способ построения множества Парето на основе предикатного представления понятия ”лучше”, что позволяет упростить разработку и повысить удобство использования САПР. Введено понятие строгости критерия

предпочтения альтернатив, сформулирован ряд новых критериев, выполнено компьютерное исследование их эффективности и даны рекомендации по применению.

**Ключевые слова:** множество Парето, частные критерии, равноценные альтернативы, критерии предпочтения

## Введение

Построение множества равноценных альтернатив, называемого далее множеством Парето, является одним из этапов технологии автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств, используемой на ранних, эскизных стадиях проектирования методом морфологического ящика. [1, 2]. Каждая часть устройства представляется набором частных критериев $y_1$, $y_2$,...,$y_n$.. Частным называется критерий, характеризующий только какую-либо одну характеристику, например быстродействие, объём памяти и т. д. Альтернативой называется конкретная реализация набора $y_1$, $y_2$,...,$y_n$ частных критериев. Таким образом, каждая часть устройства представляется группой альтернатив. В результате, если устройство состоит из К частей, а каждая i-я часть может быть реализована Mi альтернативными способами,. общее число N вариантов реализации устройства будет равно произведению $N=M_1M_2…Mк$. Морфологический состав радиоэлектронных и телекоммуникационных устройств летательных аппаратов характеризуется существенным разнообразием из-за большого количества элементных баз (базы типов мостов, маршрутизаторов, переключателей, микросхем разного назначения и др.). При этом каждая элементная база содержит множество разных наборов значений частных критериев $y_1,y_2,...,y_n$: каждого элемента базы (помехоустойчивости, энергопотребления, надёжности и т. д.). В результате появляется весьма значительное количество вариантов построения устройства, образуемых комбинациями альтернативных реализаций каждого элемента. Например, если радиоэлектронное устройство состоит из двадцати различных элементов (частей), каждый из которых имеет не менее десяти альтернатив реализации, что вполне реально,. то общее количество вариантов реализации устройства будет не менее $20^{10} = 1024 \times 10^{10}$, то есть около 10000 миллиардов. Если проверка работоспособности каждого варианта устройства с помощью соответствующей САПР займёт хотя бы одну микросекунду, то это потребует около $3x10^6$ часов, то есть практически невыполнимо даже на суперкомпьютерах. В связи с этим весьма актуальна задача уменьшения числа альтернативных реализаций отдельных частей устройства. Эта задача решается путём построения множества Парето, состоящего из альтернатив, равноценных по какому-либо критерию равноценности, субъективно определяемому разработчиком. Альтернативы, не удовлетворяющие критерию равноценности, отсеиваются с помощью критерия предпочтения альтернатив. Практика показывает, что при этом удаётся отсеять до 90-95% из числа рассматриваемых альтернатив в зависимости от количества частных критериев, образующих сравниваемые альтернативы, и критерия предпочтений альтернатив. В связи с приведенными соображениями предмет и содержание данной статьи, представляются достаточно актуальными.

## Множество Парето и общий способ его построения

Формально отношение принадлежности альтернативы *Kj* множеству Парето *Pi* можно записать так:

$K_j \in P: \forall K_n \exists i [(y]_{ij}$ лучше $y_{in})$ (1)

Алгоритм построения множества Парето в общем случае состоит в выполнении следующего правила. Первая альтернатива включается в состав множества Парето автоматически. Каждая последующая альтернатива сравнивается с уже вошедшими в множестве Парето. При этом возможны три случая

1. Если в множестве Парето имеется хотя бы одна альтернатива, лучшая чем проверяемая, то проверяемая альтернатива не входит в множество Парето.

2. Если в множестве Парето есть альтернативы хуже проверяемой, то они исключаются из множества Парето и заменяются лучшей альтернативой.

3. Если в множестве Парето нет альтернатив лучше, чем проверяемая, и нет альтернатив хуже, то проверяемая альтернатива добавляется в множество Парето.

В функциональном виде алгоритм представляется так:

*1) Функция ПостроитьМножествоПарето(входное_множество):*

*2)     МножествоПарето = {}*

*3)     для всех A из входное_множество:*

*4)        ПроверитьАльтернативу(МножествоПарето, А)*

*5)    вернуть МножествоПарето*

Эта функция формирует *МножествоПарето* для своего аргумента *входное_множество*. Изначально множество пусто, затем функция *ПроверитьАльтернативу* выполняет проверку на принадлежность множеству Парето для каждой альтернативы. Аргументами функции проверки являются текущее множество и проверяемая альтернатива:

*1)    Функция    ПроверитьАльтернативу(МножествоПарето, Альтернатива):*

*2)    для всех А из МножествоПарето:*

*3)        если лучше(А, Альтернатива):*

*4)            завершить функцию*

*5)        если лучше(Альтернатива, А):*

*6)            МножествоПарето.Удалить(А)*

*7)            МножествоПарето.Добавить(Альтернатива)*

*8)    завершить функцию*

Данная функция по очереди сравнивает альтернативы из текущего множества Парето с новой альтернативой. Как только обнаруживается, что в множестве уже есть альтернативы лучше новой - сразу происходит завершение функции (строка 4). Все альтернативы хуже новой удаляются из множества (строка 6). В результате работы программы формируется множество равноценных альтернатив, ни одна из которых не лучше других., то есть удовлетворяет условию включения в множество Парето. Наибольший интерес представляют фрагменты функции, в которых происходит сравнение двух альтернатив между собой (строки 3 и 5) с помощью двухместного предиката, описывающего отношение предпочтения “лучше”.

$$\text{лучше}(a1, a2) = \begin{cases} \text{И, если а1 лучше а2} \\ \text{Л, в остальных случаях} \end{cases} \quad (2)$$

где а1 - альтернатива из множества Парето, а2 - новая альтернатива.

Чем чаще предикат (2) имеет значение ИСТИНА, тем большее количество новых альтернатив будет отсеяно. Использование в (2) предикатного понятия «лучше» позволяет придать ему разные смыслы, соответствующие различным критериям предпочтения, повышает универсальность алгоритма и позволяет существенно расширить возможности использования одной и той же программы для построения различных множеств Парето, отличающихся принципами их построения или строгостью критерия предпочтения при одном и том же принципе построения.

Поясним понятие строгости критерия предпочтения. Его смысл заключается в том, что чем выше строгость критерия предпочтения, тем большее количество альтернатив он отсеивает, тем меньше мощность построенного множества Парето и тем эффективнее данный критерий предпочтения, Другими словами, строгость $S$ критерия предпочтения равна вероятности $P$ выполнения критерия предпочтения, то есть выполнения предиката (2) “лучше” со значением ИСТИНА, когда альтернатива из множества Парето лучше, чем новая рассматриваемая альтернатива.. При максимальной строгости $S$ в состав множества Парето войдёт только первая альтернатива, остальные будут отсеяны, так как они будут удовлетворять предикату “лучше”, то есть критерию предпочтения перед ними первой альтернативы

$$S = P(\text{лучше}(a1, a2) = \text{ИСТИНА}) \quad (3)$$

Таким образом, чем ближе значение строгости $S$ к единице, тем меньше альтернатив войдёт в множество Парето, тем выше степень их отсеивания.. Отсюда следует, что чем строже критерий предпочтения в предикате, тем меньше значение коэффициента *Ko,* определяющего вероятность включения альтернативы в множество Парето

$$K_o = \frac{N_p}{N_s} \quad (4)$$

где Ns – мощность начального множества,

Np – мощность получившегося множества

## Цель и методика исследования

Дальнейшее изложение посвящено исследованию влияния разнообразных факторов на эффективность ряда предложенных критериев предпочтения в отношении количества отсеиваемых ими альтернатив. Целью исследования является получение рекомендаций по использованию разных критериев предпочтения в зависимости от мощности (далее - размера) исходного множества, количества частных критериев т. д. Поскольку заранее предсказать значения этих параметров в каждой конкретной задаче построения множества

Парето невозможно, исследование проведём на основе статистического подхода, охватывающего широкий круг проблемных ситуаций.

Для статистического анализа используем результаты работы программы формирования множества Парето из случайного исходного множества альтернатив. В качестве исследуемой функции примем зависимость соотношения размера начального множества (Ns) и сформированного множества Парето (Np) от размера начального множества, количества частных критериев, закона распределения при формировании случайных значений частных критериев и способа построения множества Парето. Структура проводимого исследования представлена ниже.

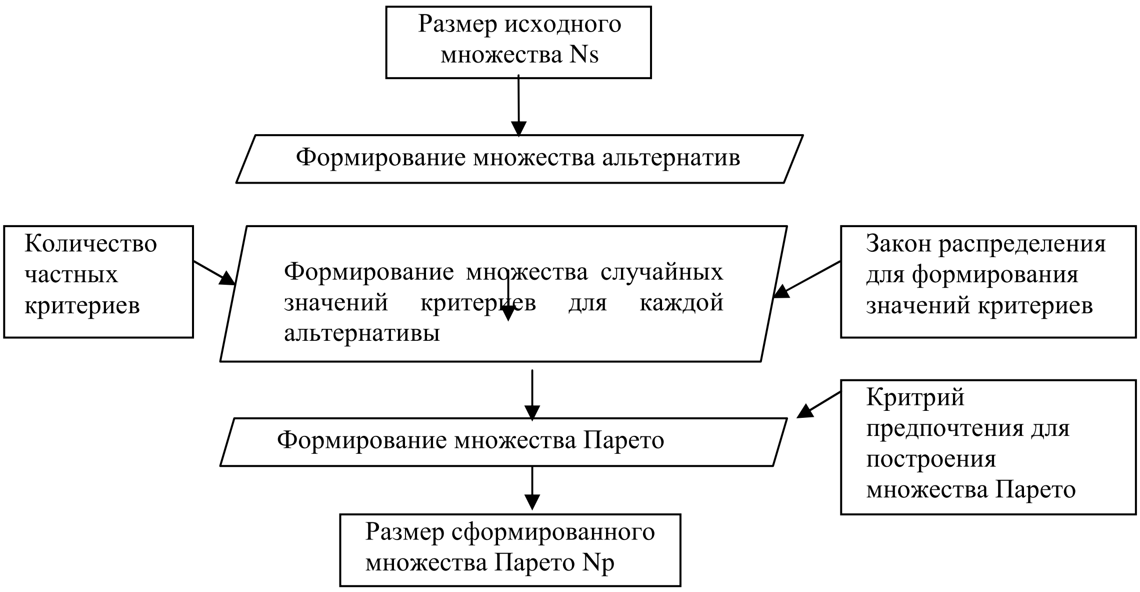


Рисунок 1. Схема моделирования.

## Анализ результатов исследования

По результатам моделирования построим графики зависимости размера множества Парето от размера входного множества $Np = f(Ns)$ и гистограммы размеров Np по результатам 1000 экспериментов. При моделировании частным критериям альтернатив присвоены случайные значения в соответствии с одним из законов распределения:

1. Равномерное распределение значений в диапазоне (0;100).

2. Нормальное распределение с $\mu = 50$ и $\sigma = 10$. Отклонение выбрано из условия, чтобы полученные величины не выходили из диапазона (0;100) для удобства сравнения с равномерным распределением. При данном выборе будем считать этот выход невозможным событием.

Далее рассмотрим различные методы построения множества Парето, различающиеся критериями предпочтения при сравнении альтернатив, реализованными в предикатном выражении (3).

### Классический критерий предпочтения альтернатив

Он определяется так: альтернатива a1 лучше альтернативы a2, если все критерии a1 лучше аналогичных критериев a2, то есть:

$$\text{лучше}(a1, a2) = \bigwedge_{i=1}^{i=n} [\text{лучше}(c]_i^{a1}, c_i^{a2}) \quad (5)$$

где n – количество критериев в сравниваемых альтернативах, c - критерии

Определим строгость этого метода при условии, что все значения критериев являются случайными величинами и вероятность их численного равенства стремится к нулю, а предикат для сравнения критериев принимает форму Ca1 > Ca2, где символ >.означает “лучше”. Тогда вероятность преимущества альтернативы с одним частным критерием равна:

$$p_b(\text{лучше}(c_{a1}, c_{a2}) = \text{И}) = 0{,}5 \qquad (6)$$

а вероятность предпочтения альтернативы с n критериями:

$$P(\text{лучше}(a1, a2) = \text{И}) = \ p^n = 0{,}5^n \qquad (7)$$

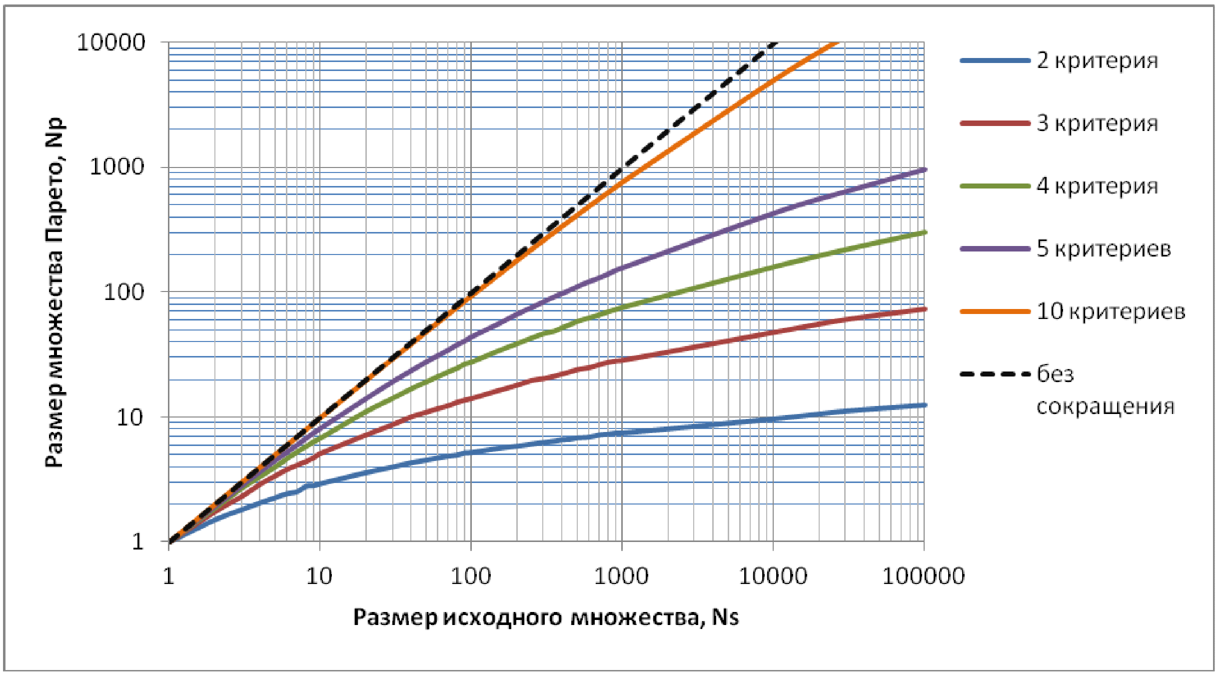


График 1. Зависимость размера множества Парето от количества альтернатив начального множества при разном количестве частных критериев и равномерном законе распределения их значений (логарифмические шкалы).

Как видно из графиков 1, 2, при увеличении числа частных критериев размер множества Парето стремительно растёт. Рост объясняется тем, что чем больше критериев, тем меньше вероятность приоритета одной альтернативы перед другой сразу по всем частным критериям и тем выше вероятность их равноценности. Также видно, что степень сокращения для данного метода одинакова для двух выбранных законов распределения значений частных критериев. Это объясняется тем, что для нормального закона распределения вероятность предпочтения одного значения над другим составляет 0.5, т.е. столько же, сколько и для равномерного.

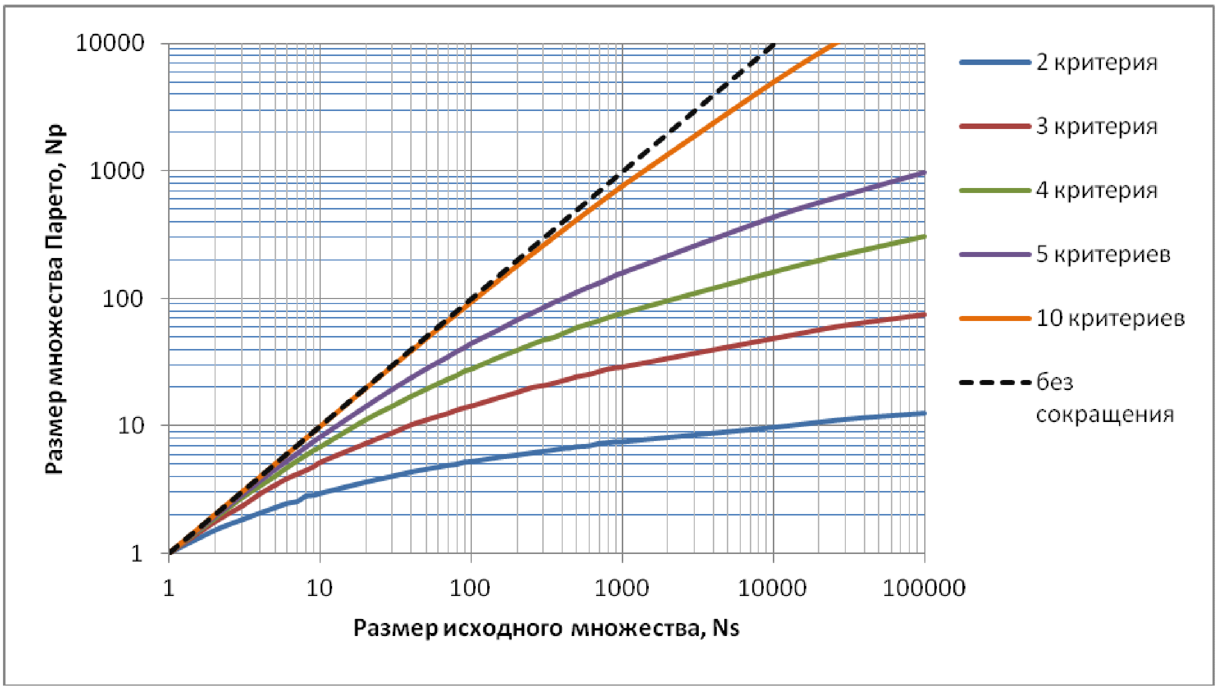


График 2. Зависимость размера множества Парето от количества альтернатив начального множества при разном количестве частных критериев и нормальном законе распределения значений (логарифмические шкалы).

Далее на графиках 3 и 4 представлены гистограммы плотности распределения вероятностей размера множества Парето в зависимости от размера исходного множества. Гистограмма построена путём подсчёта числа альтернатив из 10 на графике 3 и из 100 на графике 4, попавших в множество Парето при проведении 1000 экспериментов. Поскольку результаты для нормального закона распределения значений частных критериев несущественно отличаются от результатов для равномерного распределения, ниже для экономии места приведены графики только для равномерного распределения.

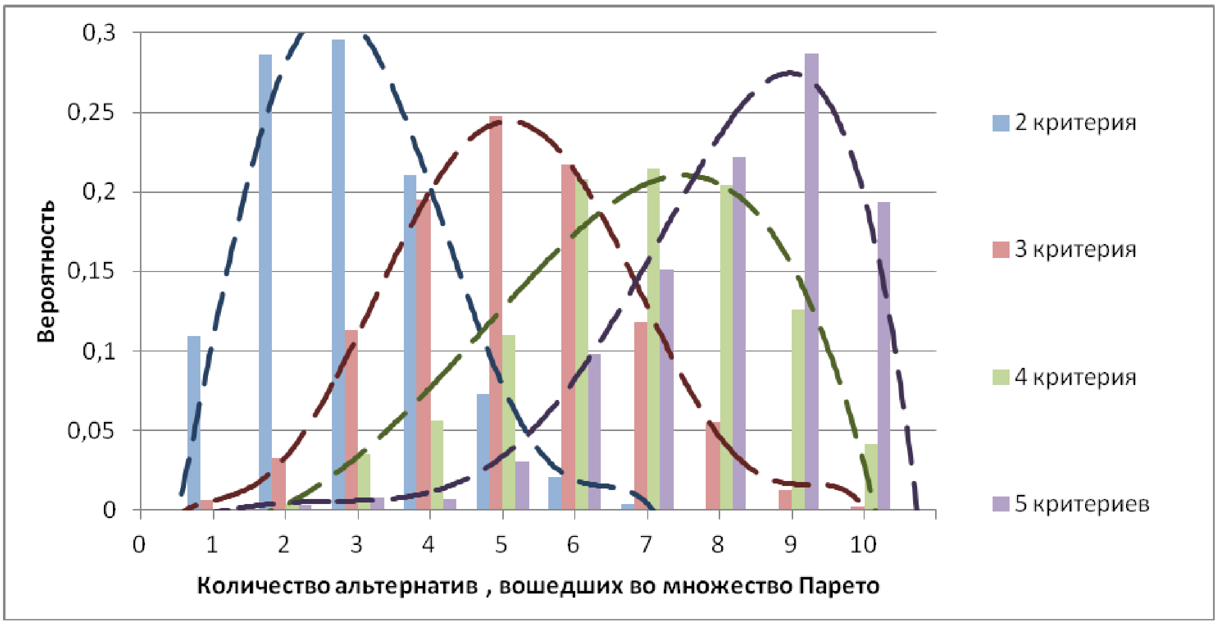


График 3. Гистограммы для десяти исходных альтернатив.

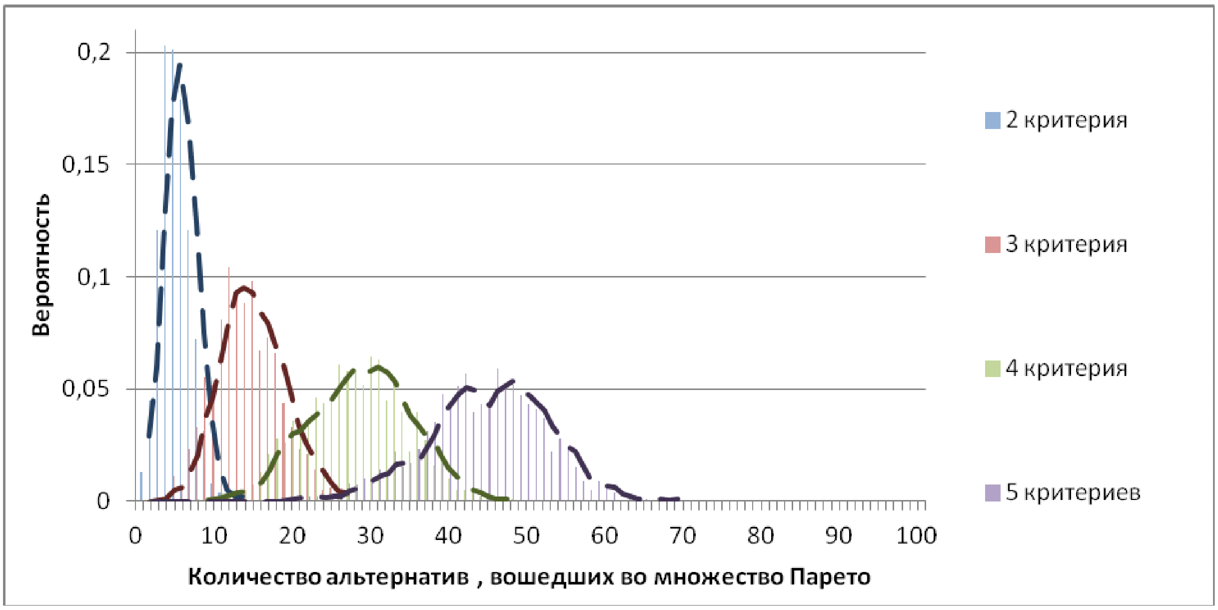


График 4. Гистограммы для ста альтернатив.

Из графиков видно смещение матожидания к размеру исходного множества с ростом числа частных критериев, что объясняется малыми шансами одной альтернативы быть лучше другой (см. формулу 7). В результате большое количество альтернатив входит в множество Парето.

## Модель с дискретизацией значений частных критериев

Пусть имеется X альтернатив с У частных критериев, причём существует диапазон допустимых значения для каждого частного критерия [y1, y2]. Тогда методика дискретизации значений частных критериев будет заключаться в следующем:

1) Деление интервала [y1, y2] на H подинтервалов.
2) Присваивание подинтервалам номеров от 1 до H.
3) Присваивание частному критерию значения подинтервала, в который он попадает.

Это позволяет нам сделать ненулевым шанс равенства частных критериев при сравнении альтернатив. Причиной такого решения служит здравый смысл. Действительно, если есть две альтернативы, одна из которых превосходит другую по всем критериям, кроме одного, по которому незначительно уступает, то по классическому методу сравнения обе альтернативы войдут в множество Парето, хотя первая имеет явное преимущество перед второй. Однако, если ввести интервалы (допуски) так, что при незначительном различии критерии будут считаться равными, то в вышеописанном случае в множество Парето войдёт только первая альтернатива. Можно найти вероятность преимущества одной альтернативы перед другой по одному критерию при условии равенства интервалов и равномерном распределении значений критериев:

$$p_b(\text{лучше}(c_{a1}, c_{a2}) = \text{И}) = \frac{1 - p_d}{2} \quad (8)$$

где $p_d$ – вероятность попадания значений сравниваемых критериев в один интервал, т.е. их равенства.

А вероятность предпочтения альтернативы с n критериями:

$$P(\text{лучше}(a1, a2) = \text{И}) = p^n = \sum_{i=1}^{n} p_b{}^i * p_d{}^{(n-i)} * C_n^i \quad (9)$$

Формула (9) справедлива для любых законов распределения, но значения $p_b$ и $p_d$ будут меняться; кстати, формула (7) из предыдущего раздела является частным случаем формулы (9) с $p_d = 0$.

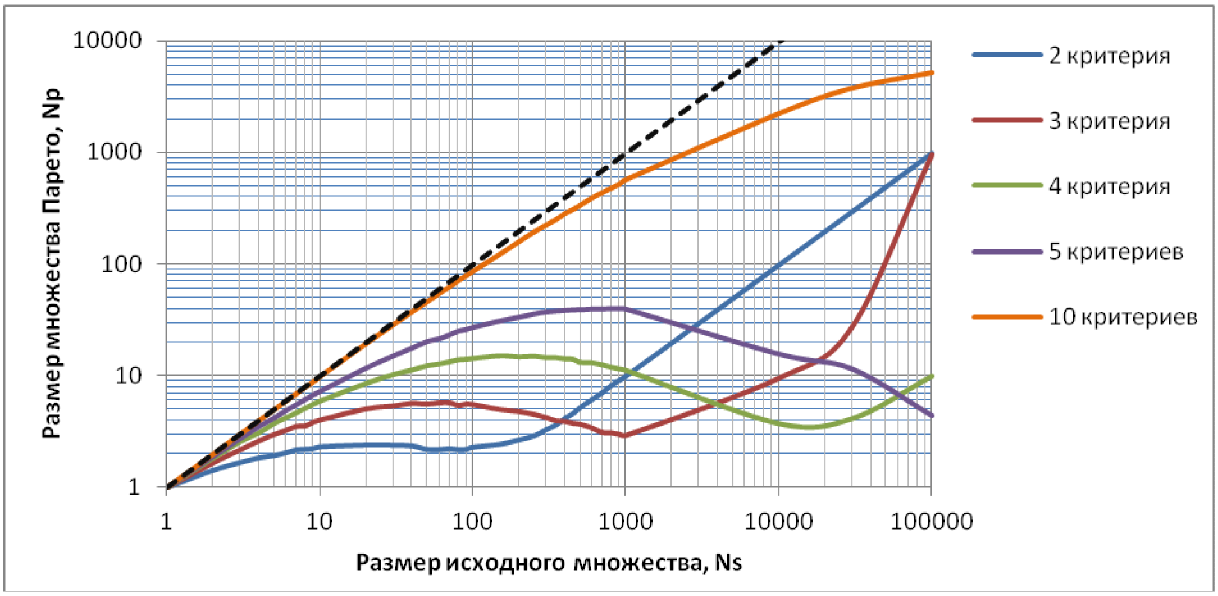


График 5. Np = f(Ns) при H = 10 и равномерном законе распределения значений.

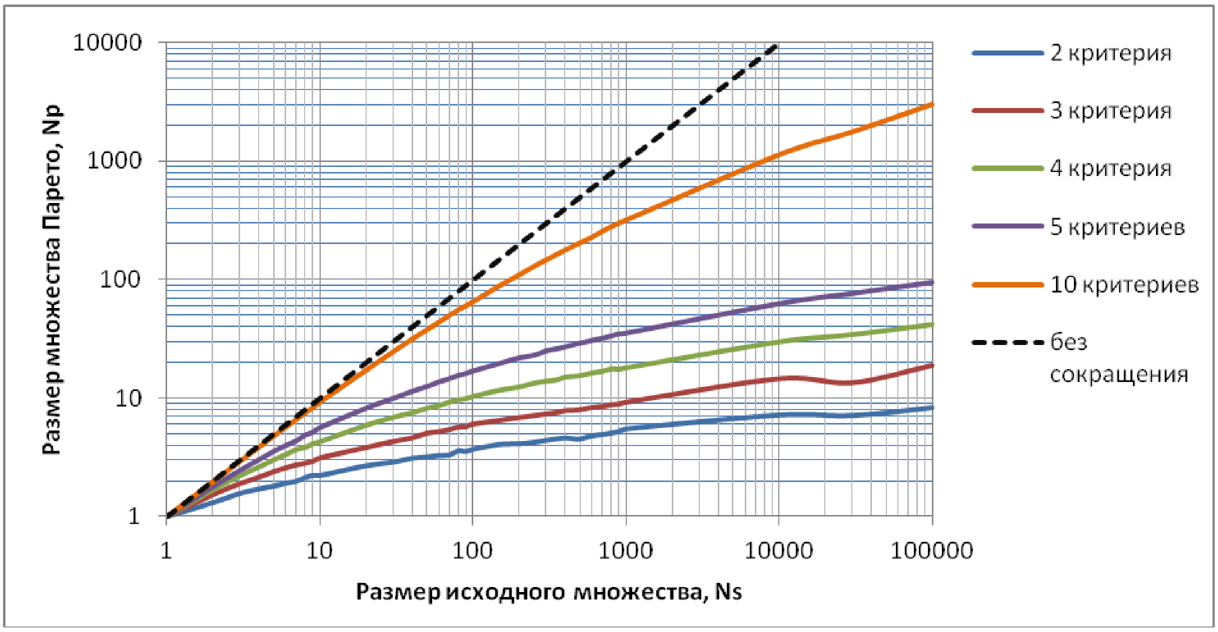


График 6. Np = f(Ns) при H = 10 и нормальном законе распределения значений.

Результаты эксперимента, приведенные на графике 5, 6, на первый взгляд, кажутся необычными из-за проседания графиков на некоторых интервалах, что означает: при увеличении исходного множества сформированное множество Парето уменьшается. Но этому есть объяснение. При дискретизации диапазона значений критериев появляется то, что можно назвать «идеальной альтернативой», т.е. такой альтернативой, у которой значения всех частных критериев попали в последний интервал и, таким образом, с точки зрения алгоритма эти альтернативы выглядят как эквивалентные и неисключаемые. Нетрудно заметить, что количество этих альтернатив напрямую зависит от количества интервалов. При равномерном распределении вероятность одного частного критерия попасть в лучший интервал равна:

$$p_c(c_i \text{ в лучшем интервале}) = \frac{1}{H} \quad (10)$$

а вероятность альтернативы стать «идеальной»:

$$p_a(a - \text{идеальная альтернатива}) = p_c{}^n = \left(\frac{1}{H}\right)^n = \frac{1}{H^n} \quad (11)$$

Из (11) можно легко найти асимптоту для данного метода, т.к. только $p_a$ от всех альтернатив станут идеальными :

$$f(x) = p_a \cdot x \text{ при } x \to \infty \quad (12)$$

Например, при десяти интервалах и двух частных критериях получаем, что $p_a = (1/10)^2 = 0{,}01$ от числа всех альтернатив станут идеальными, и это видно на графике 5.

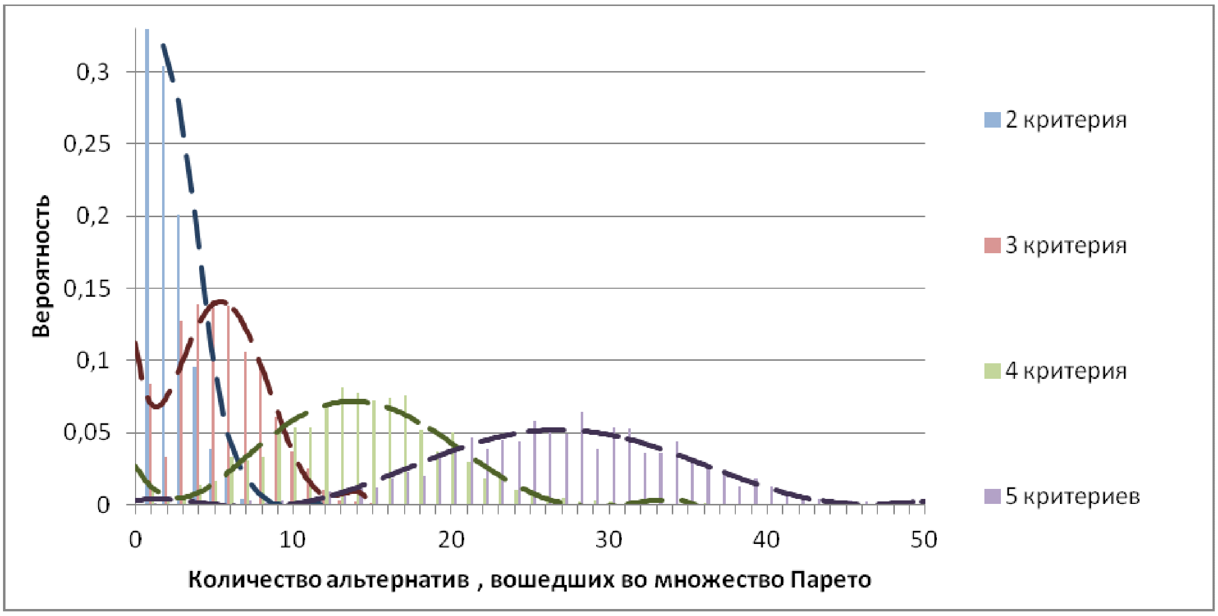


График 7. Гистограммы для ста альтернатив, равномерного закона и H = 10.

Второй интересной особенностью данного метода являются проявления «нестабильности» при некоторых условиях (случай для трёх критериев на графике 7), а именно: при количестве альтернатив, когда высока вероятность появления во входном множестве одной или двух идеальных альтернатив. В этом случае на выходе алгоритма мы будем получать либо подмножество из нескольких десятков альтернатив, когда идеальных альтернатив всё же нет, либо те самые 1-2 идеальные альтернативы, что, конечно же, не является хорошим результатом. Так, например при четырёх критериях и выборе из 10000 альтернатив в среднем в множество Парето входит 3.7 из них: неправдоподобный результат.

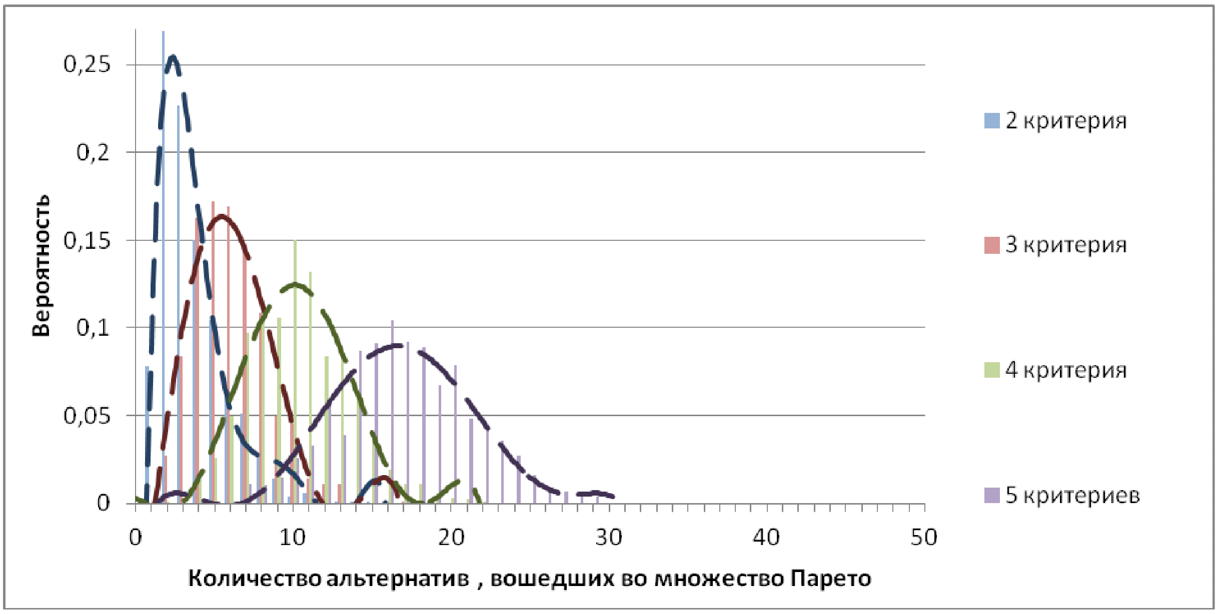


График 8. Гистограммы для ста альтернатив, нормального закона и Н = 10.

Проанализировав результаты, можно выделить три чётко сформированных области действия алгоритма, но прежде нужно ввести величину, показывающую среднее количество альтернатив, на которое приходится одна идеальная:

$$M_a = \frac{1}{p_a} \quad (13)$$

Области действия:

1) *Первая стабильная область.* Действует при $Ns < 0,1 \cdot Ma$. Вероятность появления идеальной альтернативы мала, и, следовательно, алгоритм действует ожидаемым способом.
2) *Нестабильная область.* Действует при $0,1 \cdot Ma < Ns < 10 \cdot Ma$. Есть большие шансы появления нескольких идеальных альтернатив, которые, тем не менее могут и не появиться, что приводит к большим разбросам в результатах.
3) *Вторая стабильная область.* Действует при $10 \cdot Ma < Ns$. Фактически идеальные альтернативы гарантированно появятся, причём в достаточном количестве – их поиск и будет результатом работы.

Параметр метода H позволяет управлять строгостью сравнения: уменьшая количество диапазонов, мы получаем больше отсеивания, но, с другой стороны, раньше входим в нестабильную область. Увеличивая количество интервалов, в пределе мы приходим к классическому способу сравнения альтернатив. Хорошей стратегией будет держать значение H таким, чтобы $Ns \approx 0,1 \cdot Ma$, т.е. на грани первой стабильной области. В целом, степень отсеивания значительно лучше, чем у классического метода, особенно при количестве частных критериев больше трёх.

### Критерий предпочтения с сокращением диапазона

Идея критерия заключается в том, чтобы ввести некоторые граничные значения Хмин и Хмакс для частных критериев, начиная от которых все значения считаются равносильными. На естественном языке это правило можно интерпретировать так: «Нас интересует значение критерия в некоторых пределах, и улучшение значения сверх предела не даёт нам никаких дополнительных преимуществ».

Методика сокращения диапазона заключается в следующем:

1) Если значение частного критерия X принадлежит диапазону [Xmax; Xmin], то оно остаётся неизменным.
2) Если X<Xmin, то принимаем X=Xmin.
3) Если X>Xmax, то принимаем X=Xmax.

Таким образом «сокращается» диапазон значений. Вероятность преимущества одной альтернативы по одному критерию равна:

$$p(\text{лучше}(c_{a1}, c_{a2}) = \text{И}) = \frac{1 - p_{max} - p_{min}}{2} \quad (14)$$

где $p_{max}$ – вероятность того, что оба значения сравниваемых критериев будут больше Xmax, $p_{min}$ – соответственно меньше Xmin.

А вероятность предпочтения альтернативы с n критериями вычисляется по формуле (9).

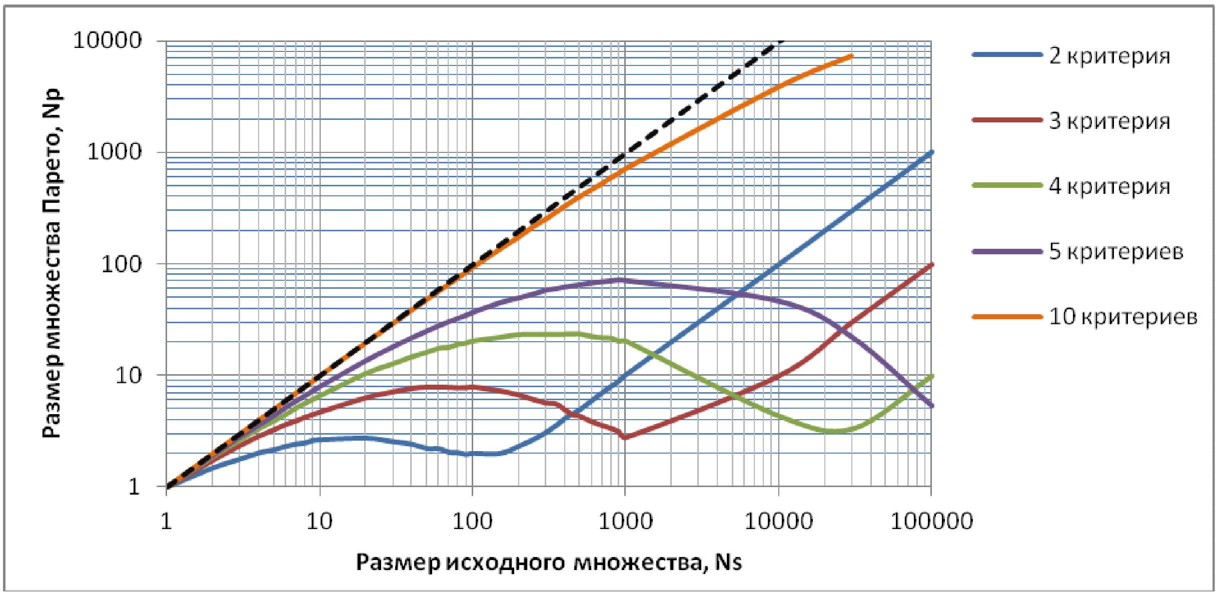

График 9. Np = f(Ns) при Xmin = 10, Xmax = 90 и равномерном законе распределения значений частных критериев.

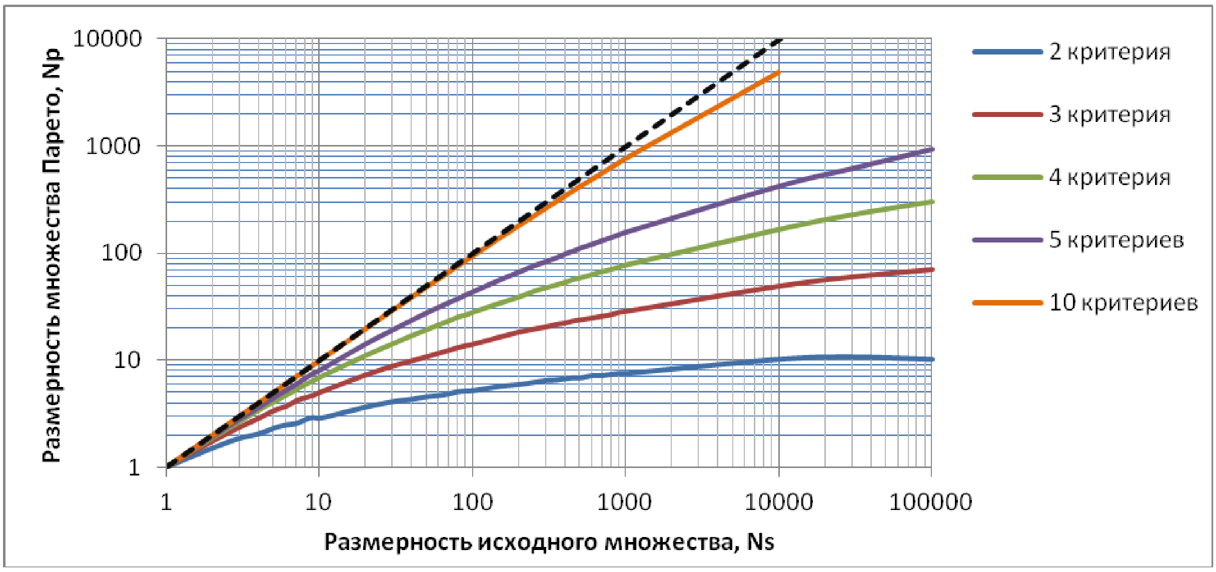


График 10. Np = f(Ns) при Xmin = 10, Xmax = 90 и нормальном законе распределения значений частных критериев.

По принципу действия эта модель является своего рода комбинацией классического способа сравнения и сравнения с дискретизацией значений. Поскольку мы ограничиваем верхний и нижний пределы значений, то возможно появление идеальных альтернатив, как и в случае с дискретизацией значений. По этой причине, при превышении размерности входного множества уже известной величины 10·Ma, поведение метода становится идентичным методу с дискретизацией. Однако, при нормальном распределении и, как следствие, почти невозможности появления идеальных альтернатив, поведение метода становится идентичным классическому методу. Параметры метода Xmax и Xmin выполняют схожую роль с параметром H в модели с дискретизацией.

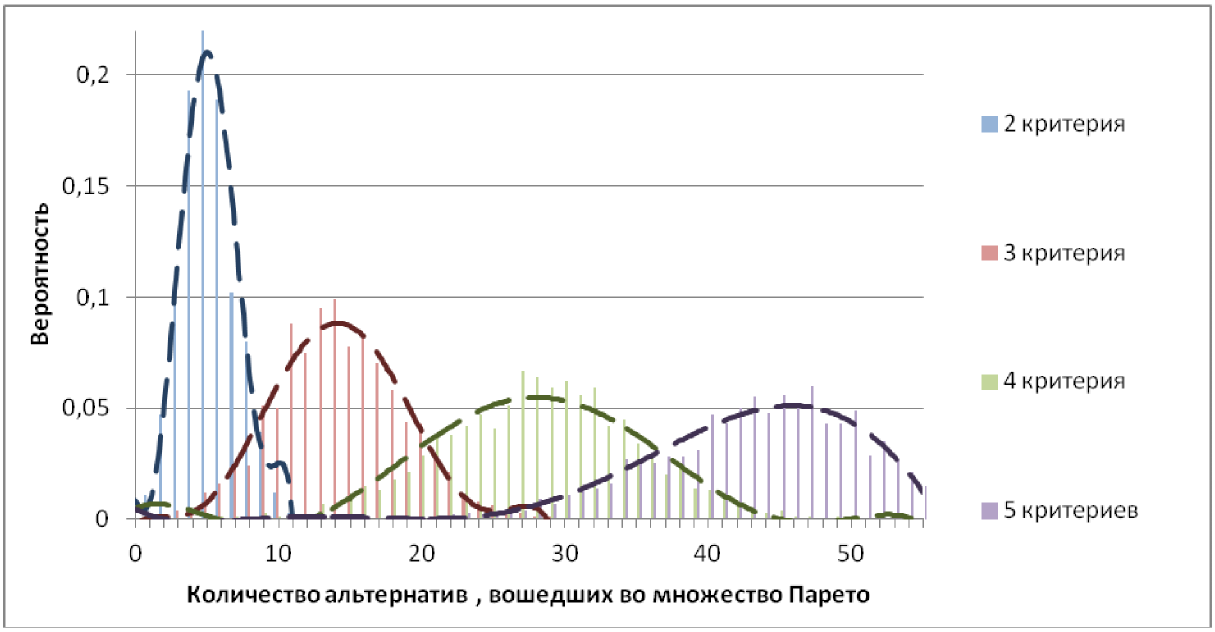


График 11. Гистограммы для ста альтернатив, нормального закона, Xmin = 20 и Xmax = 80.

## Фильтр

Все вышеописанные методики могут применяться для построения множеств Парето при довольно ограниченном количестве частных критериев. Но даже при небольшом увеличении их количества размер множества Парето существенно растёт. В качестве метода борьбы с этим ростом можно использовать фильтр, который будет отсеивать альтернативы, имеющие частные критерии со значениями хуже допустимых Хдоп. Заметим, что Хдоп может ограничивать допустимое значение частного критерия как сверх, так и снизу, в зависимости от “хорошего” или “плохого” смысла частного критерия. Сокращение размера множества Парето при введении данного ограничения объясняется тем, что при уменьшении количества частных критериев из-за их отсеивания размер множества Парето , как показано на графиках 1 и 2, заметно уменьшается

Вероятность того, что альтернатива не будет отсеяна, составляет:

$p = (1 - d)^n$   (15)

где d–вероятность, что значение критерия будет хуже допустимого.

Вероятность p и будет коэффициентом для асимптоты графика вхождения в множество Парето при большом количестве исходных альтернатив.

$f(x) = p \cdot x$ при $x \to \infty$   (16)

Например, при отсеивании альтернатив с десятью частными критериями и значениями хотя бы одного из критериев в диапазоне [0; 10] при равномерном законе распределения значений критериев получаем, что $f(x) = p \cdot x = (1 - 0{,}1)^{10} \cdot x = 0{,}35 \cdot x$ , это иллюстрируется на графике 12.

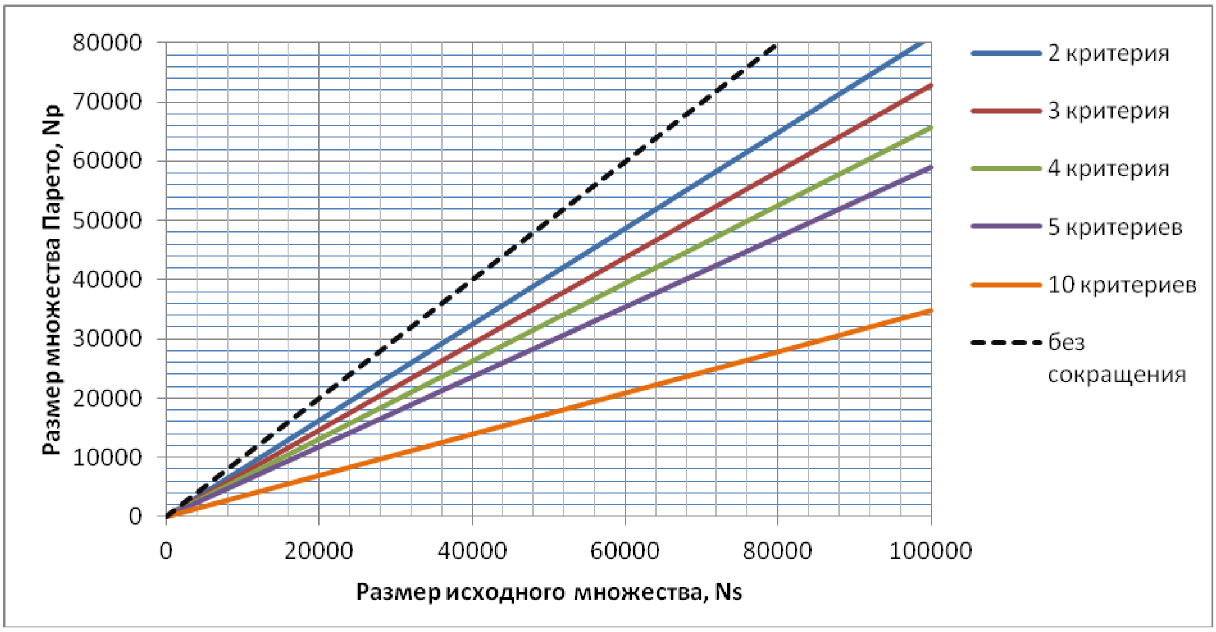


График 12. Np = f(Ns) при Xmin = 10 и равномерном законе.

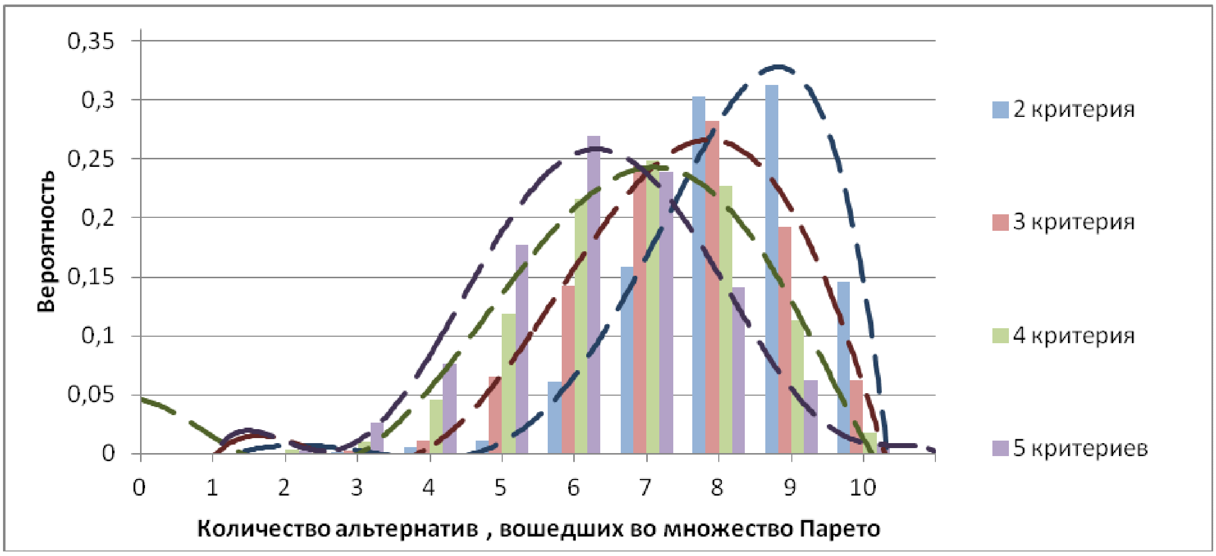


График 13. Гистограммы для десяти альтернатив, равномерного закона и Xmin = 10.

На графиках чётко видно соответствие выведенным выше закономерностям. При использовании нормального распределения снижается вероятность попадания значения критерия в недопустимый диапазон, и, следовательно, снижается степень фильтрации.

Параметр метода Xmin позволяет предсказуемым образом управлять степенью отсеивания. Выставление большого значения Xmin может привести к отсеиванию хороших альтернатив с плохим значением одного из частных критериев, а выставление малого значения Xmin не даст ощутимого результата.

## Заключение

Проведенное исследование показало, что разные методы построения множества Парето имеют неодинаковую эффективность в отношении степени отсеивания альтернатив и стабильности результатов, которые зависят от количества альтернатив, количества частных критериев и законов распределения их значений. Поэтому целесообразно построить матрицу выбора оптимального метода построения множества Парето в зависимости от этих параметров (Таблица 1)

Таблица 1. Матрица выбора критерия предпочтения.

| Число альтернатив / Число критериев | 1 - 10 | 10 - 100 | 100 – 1000 | >1000 |
|---|---|---|---|---|
| 1-3 | Классич. метод | С сокращением, Xmin = 10 | С сокращением, Xmin = 15 | С сокращением, Xmin = 20 |
| 3-6 | Классич. метод | С дискр., H = 20 | С дискр., H = 10 | С дискр., H = 5 |
| Более 6 | С дискр., H = 10 | Фильтрация + Дискр., H = 20 | Фильтрация + Дискр., H = 10 | Фильтрация + Дискр., H = 5 |

Эту матрицу можно использовать для выбора критерия предпочтения в каждом конкретном случае в любой САПР, в том числе в САПР, предназначенных для проектировании радио и телеустройств летательных аппаратов.

Кроме того, существует возможность многоступенчатого отбора равноценных альтернатив,. когда перечисленные методы могут использоваться по принципу конвейера, то есть множество Парето, полученной одним способом, можно использовать как исходное множество для другого способа. Сказанное означает, что можно произвольным образом комбинировать перечисленные методы для получения более качественных результатов. Например сперва пропустить входное множество альтернатив через фильтр, а затем сократить классическим методом. Также можно сделать процесс выделения равноценных альтернатив итерационным, постепенно увеличивая строгость критерия предпочтения на каждой итерации, пока не останется приемлемо малое число альтернатив, или наоборот – задать сначала строгий критерий, а затем уменьшать строгость от итерации к итерации. Этим же способом можно бороться с нестабильностью метода с дискретизацией, т.е. в случае получения одной-двух альтернатив отобрать их и запустить метод повторно.

Результаты проведенного исследования использованы в «программе структурно-параметрического синтеза на основе метода морфологического ящика», включённой в Российский фонд алгоритмов и программ. В данной программе также реализована технология проектирования на начальных этапах методом морфологического ящика [1]. Эта программа широко используется студентами Радиовтуза МАИ при выполнении курсовых и дипломных проектов, в том числе при проектировании радиоустройств и сетей.

**Библиографический список**

1.В.Н. Ильин, А. В. Лепёхин Технология автоматизации структурно-параметрического синтеза на основе метода морфологического ящика Сборник «Труды МАИ» 2011г. № 46

2.Потёмкин И. С. Методы поиска технических решений. М.: МЭИ, 1989 - 62.