

# МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

## MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 519.24

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПО СТОИМОСТНЫМ (ВРЕМЕННЫМ) ЗАТРАТАМ ПЛАНОВ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

**Кошевой Н. Д.** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных измерительных систем и инженерии качества, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Костенко Е. М.** – д-р техн. наук, доцент, Полтавская государственная аграрная академия, Полтава, Украина.

**Муратов В. В.** – аспирант кафедры интеллектуальных измерительных систем и инженерии качества, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Крюков А. М.** – д-р техн. наук, профессор кафедры ракетно-артиллерийского вооружения, Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков, Украина.

**Биленко А. И.** – д-р техн. наук, доцент, начальник докторантуры и адъюнктуры, Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков, Украина.

**Морозов А. А.** – д-р техн. наук, профессор, первый заместитель начальника академии по учебно-методической и научной работе, Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков, Украина.

#### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Предложено применение методов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек для построения оптимальных по стоимости (времени) планов эксперимента при исследовании технологических процессов и систем, позволяющих осуществление на них активного эксперимента.

**Цель работы.** Сравнительный анализ этих методов оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента.

**Метод.** Предложены методы построения оптимальной по стоимости (времени) реализации матрицы планирования эксперимента с использованием алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек. В начале вводится количество факторов и стоимости переходов для каждого уровня факторов. Затем с учетом введенных данных формируется исходная матрица планирования эксперимента. Метод поиска косяком рыб основан на перестановке столбцов матрицы планирования эксперимента, исходя из суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Косяки рыб формируются по следующему принципу: меньше косяков рыб там, где больше сумма стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов. Затем выполняются перестановки косяков рыб, расположенных рядом в матрице планирования эксперимента. При использовании метода обезьяньего поиска столбцы матрицы планирования эксперимента представляют собой деревья. Каждое дерево состоит из ветвей, по которым перемещается обезьяна. Ветвей дерева больше там, где меньше сумма стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов. Обезьяна начинает свое движение снизу вверх по каждой ветви дерева. Во время этого выполняется поиск по ветвям, на которых находится обезьяна по минимальному значению суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. В методе прыгающих лягушек выполняется определение успешной лягушки по наименьшей стоимости переходов между уровнями для каждого из факторов. После этого выполняются перестановки лягушек. Лягушка стремится к наиболее успешной и при условии нахождения поблизости остается в текущем местоположении. Затем рассчитывается выигрыш по сравнению с исходной стоимостью (временем) проведения эксперимента.

**Результаты.** Разработано программное обеспечение, реализующее предложенные методы, которое использовано для проведения вычислительных экспериментов по изучению свойств этих методов при исследовании технологических процессов и систем, позволяющих осуществление на них активного эксперимента. Получены оптимальные по стоимости (времени) реализации планы экспериментов, а также приведены выигрыши в результатах оптимизации по сравнению с исходной

стоимостью проведения эксперимента. Проведен сравнительный анализ методов оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента.

**Выводы.** Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность предложенных методов и реализующего их программного обеспечения, а также позволяют рекомендовать их для применения на практике при построении оптимальных матриц планирования эксперимента.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оптимизация, метод поиска косяком рыб, планирование эксперимента, метод обезьяньего поиска, оптимальный план, метод прыгающих лягушек, стоимость, время.

### НОМЕНКЛАТУРА

$k$  – количество факторов объекта, введенных в исследование;

$t$  – время работы программы, с;

$B$  – выигрыш;

$N$  – количество опытов в матрице планирования эксперимента и матрице стоимостей переходов между уровнями факторов;

$C_{нач}$  – начальная стоимость проведения эксперимента;

$C_{мин}$  – минимальная стоимость проведения эксперимента;

$S_{общ}$  – общая стоимость проведения эксперимента, усл. ед.;

$S_{i,j}$  – стоимость перехода от  $i$ -го опыта к  $j$ -му, усл. ед.;

$X_i$  – значение  $i$ -го фактора исследуемого процесса.

### ВВЕДЕНИЕ

Наиболее важной составной частью научных исследований являются эксперименты. Это один из основных способов получить новые научные знания. Применение планирования эксперимента делает поведение экспериментатора целенаправленным и организованным, существенно способствует повышению производительности его труда и надежности полученных результатов. Важным достоинством метода является его универсальность, пригодность в огромном большинстве областей исследования. Экспериментальные методы исследования широко применяют для оптимизации производственных процессов. Одной из главных целей эксперимента является получение максимального количества информации о влиянии исследуемых факторов на производственный процесс. Эксперимент должен быть проведен по возможности в кратчайший срок с минимальными затратами и позволить получить достоверные результаты [1].

**Объект исследования:** технологические процессы и системы, позволяющие осуществление на них активного эксперимента.

**Предмет исследования:** методы оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов эксперимента, основанные на применении алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек.

**Цель исследования:** провести сравнительный анализ методов оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента. По результатам сравнения выдаются рекомендации для использования каждого из методов.

### 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При осуществлении перестановок стоимость эксперимента находится по формуле:

$$S_{общ} = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^k S_{ij} \rightarrow \min.$$

Время проведения эксперимента находится по следующей формуле:

$$t_{общ} = \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^k t_{ij} \rightarrow \min.$$

Задача оптимизации планов эксперимента по стоимостным (временным) затратам является  $NP$ -полной, т.е. для своего решения требует времени и большого количества вычислений, быстро растущих с увеличением размерности задачи. Поэтому полный перебор всех возможных вариантов решения является затруднительным [1]. Необходимо найти оптимальный или близкий к оптимальному план эксперимента, для которого суммарная стоимость (время) проведения эксперимента является минимальной или приближенной к минимальной. С увеличением числа факторов  $k$  количество преобразований значительно возрастает. В связи с этим необходимо находить решения с помощью приближенных алгоритмов, например, таких, как поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек [2]. При этом задан исходный план эксперимента и матрица стоимостей (времен) переходов уровней факторов. Также необходимо сравнить результаты разработанных программ по времени реализации методов ( $t_1 < t_2 < t_3$ ) и по выигрышам в стоимости или времени проведения экспериментов ( $B_1 > B_2 > B_3$ ).

### 2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Известны комбинаторные методы оптимизации, но они не применялись для построения оптимальных по стоимостным или временным затратам планов многофакторных экспериментов [3]. Ранее проводились исследования построения многофакторных планов экспериментов, основанные на использовании следующих методов оптимизации: анализ перестановок [4], метод последовательного приближения, метод ветвей и границ, случайный поиск (перестановка строк матрицы планирования), симплекс-метод, муравьиный алгоритм, генетический алгоритм [5], метод отжига, жадный алгоритм, рой частиц [6], алгоритм поиска косяком рыб, алгоритм обезьяньего поиска [7], алгоритм прыгающих лягушек [8]. Известны работы по сравнительному анализу методов оптимизации: синтеза оптимальных по стоимостным (временным) затратам планов многофакторного эксперимента, при

исследовании весоизмерительной системы и терморегулятора [10], сравнительному анализу алгоритмов оптимизации построения композиционных планов второго порядка. Ввиду этого целесообразно для сравнения результатов оптимизации планов эксперимента применить алгоритмы поиска косяком рыб, обезьяньего поиска и прыгающих лягушек [2].

### 3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оптимизации планов полного факторного эксперимента по стоимостным (временным) затратам предложены методы построения оптимальной по стоимости (времени) реализации матрицы планирования эксперимента с использованием алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек [2].

Разработаны методы и программное обеспечение для оптимизации планов полного факторного эксперимента по стоимостным (временным) затратам с использованием алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек. В начале работы программы вводится количество факторов и стоимости переходов для каждого уровня факторов. Затем с учетом введенных данных формируется исходная матрица планирования эксперимента.

Метод поиска косяком рыб основан на перестановке столбцов матрицы планирования эксперимента, исходя из суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Косяки рыб формируются по следующему принципу: меньше косяков рыб там, где больше сумма стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов. Затем выполняются перестановки косяков рыб, расположенных рядом в матрице планирования эксперимента.

При использовании метода обезьяньего поиска столбцы матрицы планирования эксперимента представляют собой деревья. Каждое дерево состоит из ветвей, по которым перемещается обезьяна. Ветвей дерева больше там, где меньше сумма стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов. Обезьяна начинает свое движение снизу вверх по каждой ветви дерева. Во время этого выполняется поиск по ветвям, на которых находится обезьяна по минимальному значению суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов.

В методе прыгающих лягушек выполняется определение успешной лягушки по наименьшей стоимости переходов между уровнями для каждого из факторов. После этого выполняются перестановки лягушек. Лягушка стремится к наиболее успешной и при условии нахождения поблизости остается в текущем местоположении. Затем рассчитывается выигрыш по сравнению с исходной стоимостью (временем) проведения эксперимента.

Рассмотрим пошаговый алгоритм одного из предложенных методов оптимизации планов полного факторного эксперимента по стоимостным (временным) затратам. Суть применения алгоритма поиска косяком рыб заключается в следующем:

Шаг 1. В начале алгоритма вводится количество факторов  $k$ .

Шаг 2. Ввод значений переходов между уровнями для каждого из факторов.

Шаг 3. В зависимости от выбранного количества факторов строится матрица планирования эксперимента.

Шаг 4. Расчет первоначальной стоимости  $C_{нач}$  проведения эксперимента.

Шаг 5. Генерация матрицы сумм значений переходов между уровнями для каждого из факторов.

Шаг 6. Сортировка индексов и генерация массива индексов для сумм значений переходов между уровнями для каждого из факторов.

Шаг 7. Перестановка в столбцах в соответствии с массивом индексов для сумм значений переходов между уровнями для каждого из факторов.

Шаг 8. Разделение матрицы планирования эксперимента на блоки в соответствии с массивом индексов для сумм значений переходов между уровнями для каждого из факторов, количество которых рассчитывается по формуле

$$N_{blocks} = 2^{(N+1)},$$

где  $N$  – индекс (0...3).

Шаг 9. Для каждого столбца создаются перестановки локальных блоков матрицы планирования эксперимента с вычислением минимальной локальной суммы значений для каждого из столбцов.

Шаг 10. Расчет локальной минимальной стоимости эксперимента при перестановке блоков.

Шаг 11. Построение оптимальной матрицы планирования эксперимента.

Шаг 12. Расчет общей стоимости эксперимента.

Шаг 13. Расчет стоимости выигрыша  $B$  как отношения начальной стоимости проведения эксперимента  $C_{нач}$  к минимальной стоимости проведения эксперимента  $C_{мин}$ .

Шаг 14. Расчет времени  $t$ , затраченного на оптимизацию плана полного факторного эксперимента с использованием алгоритма поиска косяков рыб.

### 4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Исходные данные для оптимизации планов эксперимента взяты из работы [11], в которой проводилось исследование системы для определения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания. При этом в качестве критерия оптимизации рассматривался расход топлива  $q$  в миллилитрах. Факторами, которые влияют на этот показатель, были выбраны:  $X_1$  – количество оборотов двигателя в минуту ( $n$ ), об/мин;  $X_2$  – температура двигателя ( $T$ ), °C. Матрица планирования начального эксперимента ( $k = 2$ ) приведена в табл. 1. Стоимости изменения значений уровней факторов приведены в табл. 2 [11].

Таблица 1 – Матрица планирования начального эксперимента

Номер опыта	Начальный план	
	Обозначение факторов	
	$X_1$	$X_2$
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

Таблица 2 – Стоимости изменений значений уровней факторов

Стоимости изменений значений уровней факторов, усл. ед.	Обозначение факторов	
	$X_1$	$X_2$
Из «-1» в «+1»	0,32	0,16
Из «+1» в «-1»	0,22	0,48

В работе [11] проводилось исследование технологического процесса сварки пластин малой толщины по определению оптимального режима сварки.

В качестве факторов рассматривались:  $X_1$  – емкость конденсаторов, мкФ;  $X_2$  – коэффициент трансформации;  $X_3$  – усилие на электродах, Н. Первоначальный план полного факторного эксперимента ( $k = 3$ ) приведен в табл. 3. Стоимости изменения значений уровней факторов приведены в табл. 4 [11].

Таблица 3 – Матрица планирования начального эксперимента

Номер опыта	Начальный план		
	Обозначение факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Таблица 4 – Стоимости изменений значений уровней факторов

Стоимости изменений значений уровней факторов, усл. ед.	Обозначение факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Из «-1» в «+1»	2,5	2,0	1,5
Из «+1» в «-1»	3,0	2,5	2,0

При исследовании технологического процесса изготовления деталей горячей штамповкой на основании априорной информации в качестве критерия оптимизации процесса была выбрана толщина детали  $h_{дет}$ , а доминирующими – следующие факторы:  $X_1$  – температура нагрева заготовки, °C;  $X_2$  – время нагрева заготовки, мин;  $X_3$  – температура нагрева штампа, °C. Первоначальный план полного факторного эксперимента ( $k = 3$ ) приведен в табл. 5. Время изменения значений уровней факторов приведены в табл. 6 [11].

Таблица 5 – Матрица планирования начального эксперимента

Номер опыта	Начальный план		
	Обозначение факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Таблица 6 – Время изменения значений уровней факторов

Время изменения значений уровней факторов, мин	Обозначение факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Из «-1» в «+1»	30	22	3,75
Из «+1» в «-1»	25	5	7,5

Также в работе [11] проведено исследование участка цеха станков с числовым программным управлением. В качестве критерия оптимизации было выбрано суммарное время работы станков. Доминирующими факторами, которые влияют на этот показатель, были выбраны:  $X_1$  – время выполнения профилактики ( $t_n$ ), часов;  $X_2$  – число станков с числовым программным управлением  $u_{ц}$ ;  $X_3$  – время работы станков в течение суток  $t_c$ , часов;  $X_4$  – периодичность профилактики  $t_0$ , часов. Первоначальный план полного факторного эксперимента ( $k = 4$ ) приведен в табл. 7. Время изменения значений уровней факторов приведены в табл. 8 [11].

Таблица 7 – Матрица планирования начального эксперимента

Номер опыта	Начальный план			
	Обозначение факторов			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1

Таблица 8 – Время изменения значений уровней факторов

Время изменения значений уровней факторов, часов	Обозначение факторов			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Из «-1» в «+1»	7,0	6,0	16,0	100,0
Из «+1» в «-1»	3,0	2,0	12,0	50,0

Было разработано программное обеспечение, реализующее метод поиска косяком рыб (Свід. про реєстрацію авторського права на твір № 83293 від 29.11.2018), метод обезьяньего поиска (Свід. про реєстрацію авторського права на твір № 83294 від

29.11.2018), метод прыгаючых лягушэк (Свід. про реєстрацію авторського права на твір № 83295 від 29.11.2018). Язык программирования – C++. Просчеты выполнялись на компьютере с процессором Intel Core i5–7200U с частотой 2.71 GHz. Количество факторов и стоимости переходов уровней факторов вводятся с клавиатуры. Для нахождения оптимальных режимов и конструктивных параметров был выбран начальный план полного факторного эксперимента типа  $2^k$  (число опытов  $N=2^k$ ). Оптимизация начального плана эксперимента осуществлялась по критерию минимума стоимостных или временных затрат на его реализацию [11]. Оптимальные по реализации планы эксперимента для исследования рассматриваемых объектов и сравнительный анализ методов приведены в табл. 9–16.

### 5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность методов, основанных на использовании алгоритмов: поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек [2].

Для стоимостей изменения уровней факторов при исследовании системы для определения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания, представленных в табл. 2, получены результаты оптимизации, отраженные в табл. 9. При этом исходная стоимость проведения эксперимента равна 1,02 усл. ед. Сравни-

тельный анализ методов при исследовании этой системы представлен в табл. 10.

Для стоимостей изменения уровней факторов при исследовании технологического процесса сварки пластин малой толщины, представленных в табл. 4, получены результаты оптимизации, приведенные в табл. 11. Исходная стоимость проведения эксперимента в этом случае – 27 усл. ед. Сравнительный анализ предложенных методов при исследовании этого технологического процесса представлен в табл. 12.

Для времен изменения уровней факторов при исследовании технологического процесса изготовления деталей горячей штамповкой, представленных в табл. 6, получены результаты оптимизации, приведенные в табл. 13. Исходное время проведения эксперимента 247,75 мин. Сравнительный анализ методов при исследовании этого технологического процесса представлен в табл. 14.

Для времен изменения уровней факторов при исследовании участка цеха станков с числовым программным управлением, представленных в табл. 8, получены результаты оптимизации, приведенные в табл. 15. Исходное время проведения эксперимента 251 час. Сравнительный анализ предложенных методов при исследовании участка цеха станков с числовым программным управлением, представлен в табл. 16.

Таблица 9 – Планы эксперимента для исследования системы определения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания

Начальный план			Метод поиска косяком рыб			Метод обезьяньего поиска			Метод прыгающих лягушек		
Номер опыта	Обозначение факторов		Номер опыта	Обозначение факторов		Номер опыта	Обозначение факторов		Номер опыта	Обозначение факторов	
	$X_1$	$X_2$		$X_1$	$X_2$		$X_1$	$X_2$		$X_1$	$X_2$
1	-1	-1	2	+1	-1	4	+1	+1	2	+1	-1
2	+1	-1	1	-1	-1	3	-1	+1	1	-1	-1
3	-1	+1	3	-1	+1	1	-1	-1	3	-1	+1
4	+1	+1	4	+1	+1	2	+1	-1	4	+1	+1

Таблица 10 – Сравнительный анализ методов при исследовании системы определения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания

Метод оптимизации	Стоимость реализации эксперимента, усл. ед.	Время счета программы, с	Выигрыш
Поиск косяком рыб	0,7	0,013	1,46
Обезьяний поиск	0,94	0,001	1,1
Прыгающих лягушек	0,7	0,001	1,46

Таблица 11 – Планы эксперимента для исследования технологического процесса сварки пластин малой толщины

Начальный план				Метод поиска косяком рыб				Метод обезьяньего поиска				Метод прыгающих лягушек			
Номер опыта	Обозначение факторов			Номер опыта	Обозначение факторов			Номер опыта	Обозначение факторов			Номер опыта	Обозначение факторов		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		$X_1$	$X_2$	$X_3$		$X_1$	$X_2$	$X_3$		$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2	+1	-1	-1	1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	5	-1	-1	+1	6	+1	-1	+1	5	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	7	-1	+1	+1	8	+1	+1	+1	7	-1	+1	+1
4	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1	4	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1
5	-1	-1	+1	4	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1	4	+1	+1	-1
6	+1	-1	+1	8	+1	+1	+1	7	-1	+1	+1	8	+1	+1	+1
7	-1	+1	+1	6	+1	-1	+1	5	-1	-1	+1	6	+1	-1	+1
8	+1	+1	+1	2	+1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2	+1	-1	-1

Таблица 12 – Сравнительный анализ методов при исследовании технологического процесса сварки пластин малой толщины

Метод оптимизации	Стоимость реализации эксперимента, усл. ед.	Время счета программы, с	Выигрыш
Поиск косяком рыб	14	0,05	1,93
Обезьяний поиск	14,5	0,03	1,86
Прыгающих лягушек	14	0,03	1,93

Таблица 13 – Планы эксперимента для исследования технологического процесса изготовления деталей горячей штамповкой

Начальный план				Метод поиска косяком рыб				Метод обезьяньего поиска				Метод прыгающих лягушек			
Номер опыта	Обозначение факторов			Номер опыта	Обозначение факторов			Номер опыта	Обозначение факторов			Номер опыта	Обозначение факторов		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	4	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1	4	+1	+1	-1
2	+1	-1	-1	8	+1	+1	+1	7	-1	+1	+1	8	+1	+1	+1
3	-1	+1	-1	6	+1	-1	+1	5	-1	-1	+1	6	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	2	+1	-1	-1	1	-1	-1	-1	2	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	1	-1	-1	-1	2	+1	-1	-1	1	-1	-1	-1
6	+1	-1	+1	5	-1	-1	+1	6	+1	-1	+1	5	-1	-1	+1
7	-1	+1	+1	7	-1	+1	+1	8	+1	+1	+1	7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1	3	-1	+1	-1	4	+1	+1	-1	3	-1	+1	-1

Таблица 14 – Сравнительный анализ методов при исследовании технологического процесса изготовления деталей горячей штамповкой

Метод оптимизации	Время реализации эксперимента, мин	Время счета программы, с	Выигрыш
Поиск косяком рыб	74,5	0,051	3,33
Обезьяний поиск	79,5	0,04	3,12
Прыгающих лягушек	74,5	0,01	3,33

Таблица 15 – Планы эксперимента для исследования участка цеха станков с числовым программным управлением

Начальный план					Метод поиска косяком рыб					Метод обезьяньего поиска					Метод прыгающих лягушек				
Номер опыта	Обозначение факторов				Номер опыта	Обозначение факторов				Номер опыта	Обозначение факторов				Номер опыта	Обозначение факторов			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-1	-1	-1	-1	16	+1	+1	+1	+1	8	+1	+1	+1	-1	16	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	-1	-1	14	+1	-1	+1	+1	6	+1	-1	+1	-1	14	+1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	13	-1	-1	+1	+1	5	-1	-1	+1	-1	13	-1	-1	+1	+1
4	+1	+1	-1	-1	15	-1	+1	+1	+1	7	-1	+1	+1	-1	15	-1	+1	+1	+1
5	-1	-1	+1	-1	11	-1	+1	-1	+1	3	-1	+1	-1	-1	11	-1	+1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1	9	-1	-1	-1	+1	1	-1	-1	-1	-1	9	-1	-1	-1	+1
7	-1	+1	+1	-1	10	+1	-1	-1	+1	2	+1	-1	-1	-1	10	+1	-1	-1	+1
8	+1	+1	+1	-1	12	+1	+1	-1	+1	4	+1	+1	-1	-1	12	+1	+1	-1	+1
9	-1	-1	-1	+1	4	+1	+1	-1	-1	12	+1	+1	-1	+1	4	+1	+1	-1	-1
10	+1	-1	-1	+1	2	+1	-1	-1	-1	10	+1	-1	-1	+1	2	+1	-1	-1	-1
11	-1	+1	-1	+1	1	-1	-1	-1	-1	9	-1	-1	-1	+1	1	-1	-1	-1	-1
12	+1	+1	-1	+1	3	-1	+1	-1	-1	11	-1	+1	-1	+1	3	-1	+1	-1	-1
13	-1	-1	+1	+1	7	-1	+1	+1	-1	15	-1	+1	+1	+1	7	-1	+1	+1	-1
14	+1	-1	+1	+1	5	-1	-1	+1	-1	13	-1	-1	+1	+1	5	-1	-1	+1	-1
15	-1	+1	+1	+1	6	+1	-1	+1	-1	14	+1	-1	+1	+1	6	+1	-1	+1	-1
16	+1	+1	+1	+1	8	+1	+1	+1	-1	16	+1	+1	+1	+1	8	+1	+1	+1	-1

Таблица 16 – Сравнительный анализ методов при исследовании участка цеха станков с числовым программным управлением

Метод оптимизации	Время реализации эксперимента, часов	Время счета программы, с	Выигрыш
Поиск косяком рыб	130	0,14	1,93
Обезьяний поиск	180	0,037	1,39
Прыгающих лягушек	130	0,017	1,93

## 6 ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании системы для определения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания для значения стоимостей изменения уровней факторов, приведенных в табл. 2, получены результаты оптимизации планов эксперимента методами поиска косяком рыб, обезьяньего поиска и прыгающих лягушек (табл. 9). Как видно из табл. 10, выигрыши в результатах оптимизации при использовании методов поиска косяком рыб и прыгающих лягушек больше, чем при методе обезьяньего поиска. Однако быстродействие выполнения вычислений при использовании метода прыгающих лягушек выше, чем

при использовании методов обезьяньего поиска и косяком рыб.

Исходя из исследования системы технологического процесса сварки пластин малой толщины для значения стоимостей изменения уровней факторов, приведенных в табл. 4, получены результаты оптимизации планов эксперимента методами поиска косяком рыб, обезьяньего поиска и прыгающих лягушек (табл. 11). Как видно из табл. 12, выигрыши в результатах оптимизации при использовании методов поиска косяком рыб и прыгающих лягушек больше, чем при методе обезьяньего поиска. Однако быстродействие выполнения вычислений при использовании

метода поиска косяком рыб выше, чем при использовании методов обезьяньего поиска и прыгающих лягушек.

Вследствие исследования технологического процесса изготовления деталей горячей штамповкой для значений времен изменения уровней факторов, приведенных в табл. 6, получены результаты оптимизации планов эксперимента методами поиска косяком рыб, обезьяньего поиска и метода прыгающих лягушек (табл. 13). Как видно из табл. 14, выигрыши в результатах оптимизации при использовании методов поиска косяком рыб и прыгающих лягушек больше, чем при методе обезьяньего поиска. Однако быстродействие выполнения вычислений при использовании метода прыгающих лягушек выше, чем при использовании методов поиска косяков рыб и обезьяньего поиска.

В ходе исследования участка цеха станков с числовым программным управлением для значений времен изменения уровней факторов, приведенных в табл. 8, получены результаты оптимизации планов эксперимента методами поиска косяком рыб, обезьяньего поиска и метода прыгающих лягушек (табл. 15). Как видно из табл. 16, выигрыши в результатах оптимизации при использовании методов поиска косяком рыб и прыгающих лягушек больше, чем при методе обезьяньего поиска. Однако быстродействие выполнения вычислений при использовании метода прыгающих лягушек выше, чем при использовании методов поиска косяков рыб и обезьяньего поиска.

## ВЫВОДЫ

В работе решена актуальная задача получения последовательности опытов при проведении полного факторного эксперимента, обеспечивающая его минимальную стоимость или время реализации эксперимента.

Разработаны методы и программное обеспечение, реализующие оптимизацию многофакторных планов экспериментов с применением алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек. На примерах исследования системы для определения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания, технологического процесса сварки пластин малой толщины, технологического процесса изготовления деталей горячей штамповкой, участка цеха станков с числовым программным управлением доказана работоспособность и эффективность предложенных методов. Исследование показало, что поиск оптимального или близкого к оптимальному плану эксперимента с использованием метода прыгающих лягушек дал наилучшие результаты. Также этот метод обладает лучшими показателями быстродействия, чем метод обезьяньего поиска. Выигрыши, получаемые в результате оптимизации, при использовании данных методов являются существенными. Применение разработанных методов и программного обеспечения, основанного на использовании алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска, прыгающих лягушек, эффективно при количестве факторов  $k \geq 3$ .

**Научная новизна** работы состоит в том, что впервые предложены методы построения оптимальных планов многофакторных экспериментов, основанные на использовании алгоритмов поиска косяком рыб, обезьяньего поиска и прыгающих лягушек, что позволит строить оптимальные комбинаторные планы без полного перебора вариантов перестановок опытов.

© Кошевой Н.Д., Костенко Е. М., Муратов В. В., Крюков А. М., Биленко А. И., Морозов А. А., 2020  
DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-6

В начале работы программ, реализующих методы построения оптимальных планов многофакторных экспериментов вводится количество факторов и стоимости переходов для каждого уровня факторов. Затем с учетом введенных данных формируется исходная матрица планирования эксперимента.

Метод поиска косяком рыб основан на перестановке столбцов матрицы планирования эксперимента, исходя из суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Косяки рыб формируются по следующему принципу: меньше косяков рыб там, где больше сумма стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов. Затем выполняются перестановки косяков рыб, расположенных рядом в матрице планирования эксперимента.

При использовании метода обезьяньего поиска столбцы матрицы планирования эксперимента представляются собой деревья. Каждое дерево состоит из ветвей, по которым перемещается обезьяна. Ветвей дерева больше там, где меньше сумма стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов. Обезьяна начинает свое движение снизу вверх по каждой ветви дерева. Во время этого выполняется поиск по ветвям, на которых находится обезьяна по минимальному значению суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов.

В методе прыгающих лягушек выполняется определение успешной лягушки по наименьшей стоимости (времени) переходов между уровнями для каждого из факторов. После этого выполняются перестановки лягушек. Лягушка стремится к наиболее успешной и при условии нахождения поблизости остается в текущем местоположении.

В конце работы программ, реализующих эти методы, рассчитывается выигрыш по сравнению с исходной стоимостью (временем) проведения эксперимента.

**Практическая значимость** результатов работы заключается в том, что разработано программное обеспечение, реализующее предложенные методы, а также проведены эксперименты, подтвердившие его работоспособность и позволяющие рекомендовать для использования на практике научным работникам при построении оптимальных матриц планирования экспериментов.

**Перспективы дальнейших исследований** состоят в применении разработанного программного обеспечения на более широком наборе практических задач, в частности для исследования трехуровневых планов многофакторного эксперимента, а также композиционных планов второго порядка.

## ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Hoskins D. S. Combinatorics and Statistical Inferecing / D. S. Hoskins. – London : Applied Optimal Designs, 2007. – № 4. – P. 147–179.
2. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А. П. Карпенко. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 446 с.
3. Bailey R. A. Combinatorics of optimal designs / R. A. Bailey, P. G. Cameron. – London : Surveys in Combinatorics, 2009. – Vol. 365. – P. 19–73.
4. Min-Yuan Cheng. K-means Optimization with Embedded Chaotic Search for Solving Multidimensional Problems / Min-Yuan Cheng, Kuo-Yu Huang and Hung-Ming Chen // Applied Mathematics and Computation, 2012. – Vol. 219, № 6. – P. 3091–3099.

5. Koshevoy N. D. Optimization for the design of technological processes / N. D. Koshevoy, V. A. Gordienko, Ye. A. Sukhobrus // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2014. – Vol. 73, №15. – P. 1383–1386. DOI: 10.1615 / *TelecomRadEng*. V73.i15.60.
6. Гальченко В. Я. Популяційні метаевристичні алгоритми оптимізації роєм частиць : учебное пособие / В. Я. Гальченко, А. Н. Якимов. – Черкасы : ФЛП Третьяков А. Н., 2015. – 160 с.
7. Кошовий М. Д. Застосування алгоритму мавпячого пошуку для оптимізації планів повного факторного експерименту / М. Д. Кошовий, В. В. Муратов // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного університету імені Тараса Шевченка*, 2019. – № 61. – С. 61–70.
8. Кошевой Н. Д. Применение алгоритма прыгающих лягушек для оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента / Н. Д. Кошевой, В. В. Муратов // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2018. – № 4. – С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.4.05>.
9. Morgan J. P. Association Schemes: Designed Experiments, Algebra and Combinatorics / J. P. Morgan // *Journal of the American Statistical Association*. – 2005. – Vol. 100, No. 471. – P. 1092–1093.
10. Кошевой Н. Д. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента : монография / Н. Д. Кошевой, Е. М. Костенко. – Полтава : издатель Шевченко П. В., 2013. – 317 с.
11. Research on Particle Swarm Optimization based clustering: a systematic review of literature and techniques / [Shafiq Alam, Gillian Dobbie, Yun Sing Koh, Patricia Riddle] // *Swarm and Evolutionary Computation*, 2012. – Vol. 17, No. 8. – P. 1–13.
12. Poli R. Analysis of the publications on the applications of optimization / R. Poli. – London : *Journal of Artificial Evolution and Applications*, 2008. – P. 1–10. DOI: 10.1155/2008/685175.
13. Narimani M. R. A New Modified Shuffle Frog Leaping Algorithm for Non-Smooth Economic Dispath / M. R. Narimani. – Dubai : *World Applied Sciences Journal*, 2011. – P. 803–814.
14. Alcalá-Fdez J. KEEL Data-mining software Tool: data, set repository, integration of algorithms and experimental analysis framework / J. Alcalá-Fdez, A. Fernández, J. Luengo // *Valued Logic & Soft Computing*. – 2011. – Vol. 17. – P. 255–287.

Received 03.06.2019.  
Accepted 10.01.2020.

УДК 519.24

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗА ВАРТІСНИМИ (ЧАСОВИМИ) ВИТРАТАМИ ПЛАНІВ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Кошовий М. Д.** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Костенко О. М.** – д-р техн. наук, доцент, Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна.

**Муратов В. В.** – аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Крюков О. М.** – д-р техн. наук, професор кафедри ракетно-артилерійського озброєння, Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна.

**Біленко О. І.** – д-р техн. наук, доцент, начальник докторантури і ад'юнктури, Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна.

**Морозов О. О.** – д-р техн. наук, професор, перший заступник начальника академії з навчально-методичної та наукової роботи, Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна.

#### АНОТАЦІЯ

**Актуальність.** Запропоновано застосування методів пошуку косяком риб, мавпячого пошуку, стрибаючих жаб для побудови оптимальних за вартістю (часом) планів експерименту при дослідженні технологічних процесів і систем, що дозволяють здійснення на них активного експерименту.

**Мета роботи** – порівняльний аналіз цих методів оптимізації за вартісними (часовими) витратами планів повного факторного експерименту.

**Метод.** Запропоновано методи побудови оптимальної за вартістю (часом) реалізації матриці планування експерименту з використанням алгоритмів пошуку косяком риб, мавпячого пошуку, стрибаючих жаб. На початку вводиться кількість чинників і вартості переходів для кожного рівня факторів. Потім з урахуванням введених даних формується вхідна матриця планування експерименту. Метод пошуку косяком риб заснований на перестановці стовпців матриці планування експерименту, виходячи з сум вартостей (часів) переходів між рівнями для кожного з факторів. Косяки риб формуються за наступним принципом: менше косяків риб там, де більша сума вартостей (часів) переходів між рівнями факторів. Потім виконуються перестановки косяків риб, розташованих поруч в матриці планування експерименту. При використанні методу мавпячого пошуку стовпці матриці планування експерименту є деревами. Кожне дерево складається з гілок, по яким переміщається мавпа. Гілок дерева більше там, де менша сума вартостей (часів) переходів між рівнями факторів. Мавпа починає свій рух знизу вгору по кожній гілці дерева. Під час цього виконується пошук по гілках, на яких знаходиться мавпа, за мінімальним значенням сум вартостей (часів) переходів між рівнями для кожного з факторів. У методі стрибаючих жаб виконується визначення успішної жаби за найменшою вартістю переходів між рівнями для кожного з факторів. Після цього виконуються перестановки жаб. Жаба прагне до найбільш успішної та за умови перебування поблизу залишається в поточному розташуванні. Потім розраховується виграш в порівнянні з вихідною вартістю проведення експерименту.

**Результати.** Розроблено програмне забезпечення, що реалізує запропоновані методи, яке використано для проведення обчислювальних експериментів з вивчення властивостей цих методів при дослідженні технологічних процесів і систем, що дозволяють здійснення на них активного експерименту. Отримано оптимальні за вартістю (часом) реалізації плани експериментів, а також наведені виграші в результатах оптимізації в порівнянні з вихідною вартістю проведення експерименту. Проведено порівняльний аналіз методів оптимізації за вартісними (часовими) витратами планів повного факторного експерименту.

**Висновки.** Проведені експерименти підтвердили працездатність запропонованих методів і реалізуючого їх програмного забезпечення, а також дозволяють рекомендувати їх для застосування на практиці при побудові оптимальних матриць планування експериментів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** оптимізація, метод пошуку косяком риб, планування експерименту, метод мавпячого пошуку, оптимальний план, метод стрибаючих жаб, вартість, час.



УДК 519.24

## COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIMIZATION METHODS BY COST (TIME) COSTS OF FULL FACTOR EXPERIMENT PLANS

**Koshevoy N. D.** – Dr. Tech. Sciences, Professor, Head of the Department of Intelligent Measuring Systems and Quality Engineering, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine.

**Kostenko E. M.** – Dr. Tech. Sciences, Associate Professor, Poltava State Agrarian Academy, Poltava, Ukraine.

**Muratov V. V.** – Postgraduate student of the Department of Intellectual Measuring Systems and Quality Engineering, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky “Kharkiv aviation institute”, Kharkiv, Ukraine.

**Kriukov A. M.** – Dr. Tech. Sciences, Professor of the Department of missile artillery weapons, National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

**Bilenko A. I.** – Dr. of Tech. Sciences, Associate Professor, Head of Doctoral and Adjunct Department, National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

**Morozov A. A.** – Dr. of Tech. Sciences, Professor, First deputy head of the academy for educational-methodical and scientific work, National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

### ABSTRACT

**Relevance.** It is proposed to use methods to search for fish schools, monkey searches, jumping frogs for constructing optimal cost (time) experiment plans in the study of technological processes and systems that allow the implementation of an active experiment on them.

The purpose of the work is a comparative analysis of these optimization methods for the cost (time) costs of plans for a full factorial experiment.

**Method.** Methods are proposed for constructing the cost-effective (time-consuming) implementation of the experiment planning matrix using fish search, monkey search, jumping frogs algorithms. At the beginning, a number of factors and transition costs are entered for each level of factors. Then, taking into account the entered data, the initial planning matrix of the experiment is formed. The fish search method is based on rearranging the columns of the experiment planning matrix, based on the sum of the values (times) of transitions between the levels for each of the factors. The schools of fish are formed according to the following principle: there are fewer schools of fish where the sum of the values (times) of transition between the levels of factors is greater. Then permutations of fish schools located side by side in the experiment planning matrix are performed. When using the monkey search method, the columns of the experiment planning matrix are trees. Each tree consists of branches along which a monkey moves. There are more tree branches where there is less sum of costs (times) of transitions between levels of factors. The monkey begins its movement upward along each branch of the tree. During this, a search is performed on the branches on which the monkey is located by the minimum value of the sum of the values (times) of transitions between the levels for each of the factors. In the jumping frog method, a successful frog is determined by the least cost of transitions between levels for each of the factors. After this, permutations of frogs are performed. The frog strives for the most successful and, provided it is nearby, it remains in its current location. Then the gain is calculated compared to the initial cost (time) of the experiment.

**Results.** Developed software that implements the proposed methods, which was used to conduct computational experiments to study the properties of these methods in the study of technological processes and systems that allow the implementation of an active experiment on them. Optimum cost plans for the implementation of the experiments were obtained, and the gains in the optimization results compared with the initial cost of the experiment were given. A comparative analysis of optimization methods for the cost (time) costs of plans for a full factorial experiment has been carried out.

**Conclusions.** The experiments have confirmed the performance of the proposed methods and the software implementing them, and also allow us to recommend them for practical use in constructing optimal experiment planning matrices.

**KEYWORDS:** optimization, fish school search method, experiment planning, monkey search method, optimal plan, jumping frog method, cost, time.

### REFERENCES

1. Hoskins D. S. *Combinatorics and Statistical Inference*. London, Applied Optimal Designs, 2007, No. 4, pp. 147–179.
2. Karpenko A. P. *Sovremennye algoritmy poiskovoj optimizacii. Algoritmy, vdohnovlennye prirodoj: uchebnoe posobie*. Moscow, izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman, 2014, 446 p.
3. Bailey R. A., Cameron P. G. *Combinatorics of optimal designs*. London, *Surveys in Combinatorics*, 2009, Vol. 365, pp. 19–73.
4. Min-Yuan Cheng, Kuo-Yu Huang and Hung-Ming Chen K-means Optimization with Embedded Chaotic Search for Solving Multidimensional Problems, *Applied Mathematics and Computation*, 2012, Vol. 219, No. 6, pp. 3091–3099.
5. Koshevoy N. D., Gordienko V. A., Sukhobrus Ye. A. Optimization for the design of technological processes. Kharkiv, *Telecommunications and Radio Engineering*, 2014, Vol. 73, No. 15, pp. 1383–1386. DOI: 10.1615 / TelecomRadEng. V73.i15.60.
6. Gal'chenko V. Ya., Yakimov A. N. *Populyacionnie metaevristicheskie algoritmy optimizacii roem chastic, uchebnoe posobiye*. Cherkassi, FLP Tretyakov A. N., 2015, 160 p.
7. Koshoviy M. D., Muratov V. V. Zastosuvannja algoritmu mavp-jachogo poshuku dlja optimizacii planiv povnogo faktornogo eksperimentu. *Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo Nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka*. Kyiv, No. 61, pp. 61–70.
8. Koshevoy N. D., Muratov V. V. *Primenenie algoritma prygajushhij ljasushek dlja optimizacii po stoimostnym (vremennym) zatratam planov polnogo faktornogo jeksperimenta*. *Radioelektronni i kompjuterni sistemi*, No. 4, pp. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2018.4.05>.
9. Morgan J. P. Association Schemes: Designed Experiments, Algebra and Combinatorics, *Journal of the American Statistical Association*, 2005, Vol. 100, No. 471, pp. 1092–1093.
10. Koshevoy N. D., Kostenko E. M. *Optimal'noe po stoimostnym i vremennym zatratam planirovanie eksperimenta: monografija*. Poltava, izdatel' Shevchenko R. V., 2013, 317 p.
11. Shafiq Alam, Gillian Dobbie, Yun Sing Koh, Patricia Riddle Research on Particle Swarm Optimization based clustering: a systematic review of literature and techniques, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2012, Vol. 17, No. 8, pp. 1–13.
12. Poli R. Analysis of the publications on the applications of optimization. London, *Journal of Artificial Evolution and Applications*, 2008, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2008/685175.
13. Narimani M. R. A New Modified Shuffle Frog Leaping Algorithm for Non-Smooth Economic Dispath. Dubai, *World Applied Sciences Journal*, 2011, pp. 803–814.
14. Alcalá-Fdez J., Fernández A., Luengo J. KEEL Data-mining software Tool: data, set repository, integration of algorithms and experimental analysis framework, *Valued Logic & Soft Computing*, 2011, Vol. 17, pp. 255–287.