

ANALYSIS OF THE STATE OF THE PROVISION OF DRONES THAT WERE CREATED DURING THE COURSE OF THE ANTI-TERRORIST OPERATION IN THE EAST OF UKRAINE

The article presents the analysis of unmanned aerial vehicles that were created during the conduct of the anti-terrorist operation in eastern Ukraine. The article is based on the description of the features of the use of unmanned aerial vehicles in eastern Ukraine. The article also discusses the advantages of using unmanned aerial vehicles when performing combat missions. The leading concepts of creating unmanned aerial vehicles and a set of factors that determine the success of providing unmanned aerial vehicles with the Armed Forces of Ukraine are defined. The experience of using and providing unmanned aerial vehicles and unmanned aviation complexes during anti-terrorist operation in eastern Ukraine was generalized. Ways to improve the traditional methods of creating unmanned aerial vehicles and identify for which tasks unmanned aerial vehicles were used during the anti-terrorist operation. The article describes the types of unmanned aerial complexes used in the area of anti-terrorist operation by Ukrainian military, special forces and guards.

As a result of the research the peculiarities of determining operational-tactical requirements for unmanned aerial vehicles for their effective use in the east of Ukraine are revealed. The rational ways of creation of unmanned aerial vehicles for their use in the interests of combat use are offered.

The starting point for the analysis was some recent publications on the creation and use of drones for military purposes and guidance documents. The source materials were checked for compliance with the criteria set out in the guidance documents.

Key concepts: operational and tactical requirements, unmanned aerial vehicles and unmanned aerial complexes.

УДК 519.24

д.т.н., проф. Кошевой Н.Д. (НАКУ «ХАИ»)

д.т.н., проф. Костенко Е.М. (Полтавская государственная аграрная академия)

Муратов В.В. (НАКУ «ХАИ»)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2020/66-04>

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЫГАЮЩИХ ЛЯГУШЕК ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРЕХУРОВНЕВЫХ ПЛАНОВ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Планирование эксперимента позволяет решить задачу получения математической модели при минимальных стоимостных и временных затратах. На стоимость реализации эксперимента существенное влияние оказывает порядок чередования уровней изменения факторов. Таким образом, требуется найти порядок реализации опытов, обеспечивающий минимальную стоимость (время) проведения многофакторного эксперимента. Эта задача становится особенно актуальной при исследовании длительных и дорогостоящих процессов. Целью данной статьи является дальнейшее развитие методологии оптимального по стоимостным (временным) затратам планирования эксперимента, которая включает в себя комплекс методов оптимизации планов эксперимента и программно-аппаратные средства для их реализации. Объект исследования: процессы оптимизации по стоимостным затратам трехуровневых планов многофакторных экспериментов. Предмет исследования: метод оптимизации по стоимостным и временным затратам планов экспериментов, основанный на применении метода прыгающих лягушек. 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. Далее строится математическая модель исследуемого объекта. При этом получить эти модели необходимо при минимальных стоимостных и временных затратах. Планирование эксперимента позволяет получать математические модели при минимальных стоимостных и временных затратах. Для этого были разработаны метод и программное обеспечение для оптимизации трехуровневых планов с использованием метода

прыгающих лягушек. Трехуровневые планы используют при построении математических моделей исследуемых объектов и систем. Проведен анализ известных методов синтеза оптимальных по стоимостным и временным затратам трехуровневых планов. Работоспособность алгоритма проверялась при исследовании шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов МЭМС. Показана его эффективность в сравнении со следующими методами: роя частиц, табу-поиска, ветвей и границ. С помощью разработанного метода и программного обеспечения для оптимизации трехуровневых планов с использованием метода прыгающих лягушек можно достичь высоких результатов выигрышей по сравнению с начальным планом эксперимента, оптимальных или близких к оптимальным результатов в сравнении с методами роя частиц, табу-поиска, ветвей и границ, а также высокого быстродействия решения задачи оптимизации в сравнении с разработанными ранее методами оптимизации трехуровневых планов эксперимента.

Ключевые слова: оптимальный план, метод прыгающих лягушек, оптимизация, планирование эксперимента, стоимость, время, выигрыш.

Введение. Планирование эксперимента позволяет решить задачу получения математической модели при минимальных стоимостных и временных затратах [1]. На стоимость реализации эксперимента существенное влияние оказывает порядок чередования уровней изменения факторов [2]. Таким образом, требуется найти порядок реализации опытов, обеспечивающий минимальную стоимость проведения многофакторного эксперимента. Эта задача становится особенно актуальной при исследовании длительных и дорогостоящих процессов [1].

Разработаны метод и программа оптимизации многофакторных планов эксперимента с варьированием факторов на трех уровнях с помощью алгоритма прыгающих лягушек [3]. Работоспособность метода оптимизации прыгающих лягушек доказана на примерах исследования метода измерения плотности тока гальванических ванн с использованием мерных датчиков и шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов микро электромеханических систем (МЭМС). Работоспособность и эффективность подтверждается совпадением или приближением оптимальных планов, полученных этим методом и методом роя частиц. Показана его эффективность в сравнении с другими методами оптимизации многофакторных планов эксперимента.

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

Предмет исследования: метод оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов эксперимента, основанный на применении алгоритма прыгающих лягушек [3].

Цель исследования: разработка метода и программного обеспечения для оптимизации трехуровневых планов с использованием алгоритма прыгающих лягушек и проведение сравнительного анализа разработанного метода с методом роя частиц [4].

По результатам сравнения выдаются рекомендации для использования разработанного метода.

Анализ исследований и публикаций. Известны методы синтеза оптимальных по стоимостным и временным затратам планов экспериментов с варьированием факторов на трех уровнях [1], основанные на использовании следующих видов оптимизации: анализ перестановок строк матрицы планирования [1], случайный поиск, метод табу-поиска [5], метод ветвей и границ [6]. Эффективность разработанных методов доказана при исследовании ряда различных технологических процессов, приборов и систем [1]. Однако их недостатками являются: низкое быстродействие, не всегда находится оптимальное решение. Поэтому целесообразно проверить возможность применения метода прыгающих лягушек [7] для оптимизации планов многофакторного эксперимента процесса измерения плотности тока гальванических ванн с использованием мерных датчиков и шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов МЭМС с

варьированием факторов на трех уровнях и провести сравнительный анализ результатов с методами роя частиц, табу-поиска, ветвей и границ [3].

Основные материалы исследования. Для решения поставленной задачи разработаны метод и программа для оптимизации трехуровневых планов с использованием алгоритма прыгающих лягушек [3]. С использованием разработанного программного обеспечения оптимизировался план для исследования шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов МЭМС. Исходный план эксперимента 3^k , а также описание метода определения шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов МЭМС, приведены в работе [1]. При составлении плана эксперимента были учтены три входных фактора процесса, предположительно способных в наибольшей степени влиять на оптимизируемый параметр (среднее арифметическое отклонение профиля): X_1 – отношение длительности стадий пассивации и травления; X_2 – давление в реакторе, Па; X_3 – температура электрода-подложкодержателя, °С. Условия проведения эксперимента представлены в табл. 1. В табл. 2 представлены стоимости изменений значений уровней факторов.

Сущность метода прыгающих лягушек и программы, обеспечивающей его реализацию для оптимизации трехуровневых планов, заключается в следующем. В начале работы программы вводится количество факторов k , после чего осуществляется ввод стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов и строится матрица планирования эксперимента трехуровневого плана. Затем осуществляется вычисление начальной стоимости (времени) проведения эксперимента и происходит генерация матрицы сумм стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Выполняется сортировка столбцов по индексам и генерация массивов индексов для сумм стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Затем происходят перестановки столбцов в соответствии с массивом индексов для сумм стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Выполняется построчный перебор между всеми блоками столбцов (мемплексов, в которых перемещается лягушка) и определение начальной точки для дальнейшего перебора, исходя из наименьшей суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов. Также программой выполняется поиск в рамках блока столбца, в котором находится лягушка по минимальному значению суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями для каждого из факторов, после чего происходит переход на следующую строку матрицы планирования и сравнение с предыдущей. Осуществляется поиск в блоке столбца с наименьшим значением суммы стоимостей (времен) переходов между уровнями и установление соответствующего блока (перестановка местами в матрице планирования эксперимента). После реализации необходимых перестановок выполняются: построение оптимальной матрицы планирования эксперимента; расчет общей стоимости (времени) реализации эксперимента; расчет выигрыша B ; расчет времени t , затраченного на оптимизацию трехуровневого плана многофакторного эксперимента с использованием метода прыгающих лягушек.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Наименование параметров	Обозначение	Входные факторы		
		X_1	X_2	X_3
Нулевой уровень	0	0,2	3	20
Интервал варьирования	ΔX_i	0,1	1	10
Нижний уровень	-1	0,1	2	10
Верхний уровень	+1	0,3	4	30

Таблица 2

Стоимости изменения значений уровней факторов

Стоимости изменений, усл. ед.	Обозначение факторов		
	X ₁	X ₂	X ₃
из «0» в «-1»	3	7	8
из «0» в «+1»	2	5	10
из «-1» в «+1»	4	10	20
из «+1» в «-1»	6	14	16
из «-1» в «0»	2	5	10
из «+1» в «0»	3	7	8

Режимы проведения процессов травления кремния задавали в соответствии с выбранным планом (табл. 3), который представлял собой полный факторный эксперимент для трех факторов при их одновременном варьировании на трех уровнях: «+1», «-1», «0». Оптимальный план эксперимента, полученный с использованием разработанного программного обеспечения, реализующего алгоритм прыгающих лягушек, также представлен в табл. 3.

Таблица 3

Исходный и оптимальный планы эксперимента

Исходный план				Оптимальный план (метод прыгающих лягушек)				Оптимальный план (метод роя частиц)			
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
1	-1	0	0	16	-1	-1	0	1	-1	0	0
2	-1	0	-1	26	0	-1	0	19	0	0	0
3	+1	-1	-1	18	+1	-1	0	10	-1	-1	+1
4	0	0	+1	6	+1	+1	0	22	0	-1	+1
5	+1	0	0	27	-1	+1	0	7	-1	+1	+1
6	+1	+1	0	24	0	+1	0	4	0	0	+1
7	-1	+1	+1	4	0	0	+1	13	-1	+1	-1
8	+1	0	+1	19	0	0	0	25	+1	0	-1
9	+1	+1	+1	1	-1	0	0	16	-1	-1	0
10	-1	-1	+1	20	-1	0	+1	26	0	-1	0
11	+1	+1	-1	5	+1	0	0	2	-1	0	-1
12	0	0	-1	8	+1	0	+1	20	-1	0	+1
13	-1	+1	-1	14	+1	-1	+1	23	0	+1	+1
14	+1	-1	+1	22	0	-1	+1	5	+1	0	0
15	0	+1	-1	10	-1	-1	+1	15	0	+1	-1
16	-1	-1	0	13	-1	+1	-1	6	+1	+1	0
17	0	0	-1	7	-1	+1	+1	18	+1	-1	0
18	+1	-1	0	23	0	+1	+1	3	+1	-1	-1
19	0	0	0	15	0	+1	-1	27	-1	+1	0
20	-1	0	+1	9	+1	+1	+1	9	+1	+1	+1
21	-1	-1	-1	11	+1	+1	-1	17	0	0	-1
22	0	-1	+1	25	+1	0	-1	8	+1	0	+1
23	0	+1	+1	2	-1	0	-1	11	+1	+1	-1
24	0	+1	0	12	0	0	-1	14	+1	-1	+1
25	+1	0	-1	17	0	0	-1	12	0	0	-1

Исходный план				Оптимальный план (метод прыгающих лягушек)				Оптимальный план (метод роя частиц)			
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
26	0	-1	0	21	-1	-1	-1	21	-1	-1	-1
27	-1	+1	0	3	+1	-1	-1	24	0	+1	0

Оптимизированный план эксперимента имеет значение стоимости реализации, равное 181 усл.ед., в то время как исходный план – 417 усл.ед. Выигрыш по стоимости составил 2,31 раза, в то время как при использовании метода ветвей и границ выигрыш составлял 1,28 раза. При этом на оптимизацию плана необходимо затратить 0,03 с, в то время как на реализацию метода ветвей и границ – 137 мин, а на реализацию метода роя частиц – 0,33 с. С использованием разработанного программного обеспечения исследовали метод измерения плотности тока гальванических ванн с мерными датчиками. Исходный план эксперимента 3^k, а также описание метода измерения плотности тока гальванических ванн с использованием мерных датчиков, приведены в работе [1]. Методом прыгающих лягушек проведена оптимизация исходного плана по критерию суммарной стоимости реализации эксперимента. Стоимости изменений значений уровней факторов приведены в табл. 4. Порядок проведения опытов оптимального по стоимости реализации плана эксперимента представлен в табл. 5. Стоимость реализации эксперимента по этому плану составляет 87 усл. ед., тогда как стоимость реализации исходной матрицы планирования – 174 усл. ед. Таким образом, достигнут выигрыш по стоимости реализации в 2 раза по сравнению с исходным планом проведения эксперимента.

Таблица 4

Стоимости изменений значений уровней факторов

Стоимости изменений, усл. ед.	Обозначение факторов		
	X ₁	X ₂	X ₃
из «0» в «-1»	3	3	3
из «0» в «+1»	2	2	2
из «-1» в «+1»	5	5	5
из «+1» в «-1»	5	5	5
из «-1» в «0»	3	3	3
из «+1» в «0»	2	2	2

Сравнение результатов при использовании усовершенствованного программного обеспечения по методу оптимизации прыгающих лягушек и ранее разработанных методов [3] приведено в табл. 6. Таким образом, доказана работоспособность метода прыгающих лягушек на примерах исследования шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов МЭМС и метода измерения плотности тока гальванических ванн с использованием мерных датчиков.

Таблица 5

Исходный и оптимальный планы эксперимента

Исходный план				Оптимальный план (метод прыгающих лягушек)				Оптимальный план (метод роя частиц)			
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
1	-1	0	0	6	+1	+1	0	1	-1	0	0
2	-1	0	-1	7	-1	+1	0	10	+1	+1	+1
3	+1	-1	-1	25	0	+1	0	19	+1	-1	0
4	0	0	+1	27	0	+1	0	20	0	0	0
5	+1	0	0	19	+1	-1	0	2	-1	0	-1

Исходный план				Оптимальный план (метод прыгающих лягушек)				Оптимальный план (метод роя частиц)			
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
6	+1	+1	0	17	-1	-1	0	3	+1	-1	-1
7	-1	+1	0	1	-1	0	0	21	-1	0	+1
8	-1	+1	+1	21	-1	0	+1	24	0	+1	+1
9	+1	0	+1	5	+1	0	0	6	+1	+1	0
10	+1	+1	+1	9	+1	0	+1	4	0	0	+1
11	-1	-1	+1	20	0	0	0	22	-1	-1	-1
12	+1	+1	-1	4	0	0	+1	13	0	0	-1
13	0	0	-1	23	0	-1	+1	14	-1	+1	-1
14	-1	+1	-1	11	-1	-1	+1	23	0	-1	+1
15	+1	-1	+1	15	+1	-1	+1	5	+1	0	0
16	0	+1	-1	12	+1	+1	-1	15	+1	-1	+1
17	-1	-1	0	10	+1	+1	+1	12	+1	+1	-1
18	0	-1	-1	8	-1	+1	+1	11	-1	-1	+1
19	+1	-1	0	14	-1	+1	-1	17	-1	-1	0
20	0	0	0	24	0	+1	+1	26	+1	0	-1
21	-1	0	+1	16	0	+1	-1	8	-1	+1	+1
22	-1	-1	-1	13	0	0	-1	9	+1	0	+1
23	0	-1	+1	2	-1	0	-1	27	0	+1	0
24	0	+1	+1	26	+1	0	-1	18	0	-1	-1
25	0	+1	0	3	+1	-1	-1	16	0	+1	-1
26	+1	0	-1	18	0	-1	-1	25	0	+1	0
27	0	+1	0	22	-1	-1	-1	7	-1	+1	0

Таблица 6

Результаты оптимизации планов эксперимента

Метод поиска	C _{исх} , усл.ед.	C _{min} , усл.ед.	Выигрыш по сравнению с исходным планом эксперимента
Метод прыгающих лягушек	174	87	2
Метод оптимизации роем частиц	174	85	2,05
Табу-поиск	174	97	1,79
Случайный поиск	174	147	1,2

В работе [7] были разработаны метод и программное обеспечение для оптимизации планов полного факторного эксперимента по стоимостным (временным) затратам с помощью алгоритма прыгающих лягушек. Программное обеспечение для оптимизации трехуровневых планов изменено в следующих модулях: генерация исходной матрицы планирования эксперимента, ввод стоимостей (времен) переходов между уровнями факторов и выполнение перестановок для получения трехуровневых планов методом прыгающих лягушек. Программное обеспечение реализовано на языке программирования C++. Все необходимые расчеты выполнялись на компьютере с процессором Intel Pentium G620 с частотой 2.60 GHz. Необходимый объем памяти – 32 МБ. Количество факторов и стоимости переходов уровней факторов вводятся с клавиатуры либо задаются в файле. Реализация метода прыгающих

лягушек требует небольшого объема памяти ЭВМ и имеет высокое быстродействие решения задачи. Разработанное программное обеспечение состоит из следующих модулей: ввод данных, построение исходной матрицы планирования эксперимента, построение матрицы сумм стоимостей (времен) изменения значений уровней факторов, оптимизация методом прыгающих лягушек, построение оптимальной матрицы планирования эксперимента, расчет выигрыша В.

Выводы. Разработаны метод и программное обеспечение, реализующие оптимизацию с применением алгоритма прыгающих лягушек многофакторных планов экспериментов с варьированием факторов на трех уровнях. Доказана его работоспособность и эффективность при исследовании метода измерения плотности тока гальванических ванн с мерными датчиками и шероховатости поверхности кремния при процессах глубокого плазмохимического травления элементов МЭМС.

Поиск оптимального или близкого к оптимальному плану эксперимента, полученного этим методом, реализуется за существенно меньшее время счета, чем при методе ветвей и границ и методе случайного поиска. Выигрыш в стоимости реализации планов экспериментов при использовании данного метода значительно больше, чем при методах случайного поиска и табу-поиска. Применение разработанного программного обеспечения, основанного на использовании алгоритма прыгающих лягушек, эффективно при количестве факторов $k \geq 3$. Показано, что для оптимизации трехуровневых планов целесообразно использование метода прыгающих лягушек.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Полтава: изд. Шевченко Р.В., 2013. 317 с.
2. Koshevoy N. D., Kostenko E.M., Gordienko V.A., Syrooklyn V.P. Optimum planning of an experiment in manufacturing the electronic equipment. Telecommunications and Radio Engineering. 2011. V.70, N 6. P. 731-734. <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.V70.i8.60>.
3. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446 с.
4. Кошевой Н.Д., Беляева А.А. Применение алгоритма оптимизации роєм частиц для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2018. №1. С. 41 – 49. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-1-5>.
5. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М., Беляева А.А. Сравнительный анализ методов оптимизации при исследовании весоизмерительной системы и терморегулятора. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2018. №4. С. 179-188. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-17>.
6. Кошевой Н. Д., Костенко Е.М., Чуйко А.С. Применение методов ветвей и границ и последовательного приближения для оптимизации моделирования процесса получения пористых материалов. Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Севастопольського нац. техн. університету. 2011. Вип. 13. С. 69-74.
7. Кошевой Н.Д., Муратов В.В. Применение алгоритма прыгающих лягушек для оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2018. №4. С. 53-61. <https://doi.org/10.32620/reks.2018.4.05>.

REFERENCES:

1. Koshevoy N. D., Kostenko E.M. Experimentally-optimal cost and time planning of the experiment: a monograph. Poltava: ed. Shevchenko R.V. 2013. 317 p.
2. Koshevoy N. D., Kostenko E.M., Gordienko V.A., Syrooklyn V.P. Optimum planning of an experiment in manufacturing the electronic equipment. Telecommunications and Radio Engineering. 2011. V.70, N 6. P. 731-734. <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.V70.i8.60>.
3. Karpenko A. P. Modern search engine optimization algorithms. Nature-inspired algorithms: a tutorial. M.: publishing house of MSTU. N.E. Bauman, 2014. 446 p.
4. Koshevoy N. D., Belyaeva A.A. Application of particle swarm optimization algorithm to minimize the cost of a multivariate experiment. Radio electronics, informatics, control. 2018. N. 1. S. 41 - 49. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-1-5>.

5. Koshevoy N.D., Kostenko E.M., Belyaeva A.A. Comparative analysis of optimization methods in the study of the weighing system and thermostat. Radio electronics, informatics, control. 2018. No4. S. 179-188. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2018-4-17>.

6. Koshevoy N. D., Kostenko E. M., Chuyko A. S. The use of branch and bound methods and sequential approximation to optimize the modeling of the process of obtaining porous materials. Optimization of virological processes: zb. sciences. pr. Sevastopol national tech. to university. 2011. VIP. 13. – P. 69-74.

7. Koshevoi N.D., Muratov V.V. The use of the jumping frog algorithm for optimization of the cost (time) cost of plans for a full factorial experiment. Radio electronics and computer system. 2018. N4. Pp. 53-61. <https://doi.org/10.32620/reks.2018.4.05>.

prof. Koshevoy N.D., prof. Kostenko E.M., Muratov V.V.

APPLICATION OF THE JUMPING FROGS METHOD FOR THE OPTIMIZATION OF THREE-LEVEL PLANS OF A MULTIPLE FACTOR EXPERIMENT

The planning of the experiment allows us to solve the problem of obtaining a mathematical model with minimal cost and time costs. The cost of implementing an experiment is significantly affected by the order of alternating levels of change in factors. Thus, it is required to find a procedure for the implementation of experiments that provides the minimum cost (time) for conducting a multivariate experiment. This task becomes especially relevant when studying long and expensive processes. The purpose of this article is the further development of the methodology of optimal planning of the experiment in terms of cost (time), which includes a set of methods for optimizing the plans of the experiment and hardware and software for their implementation. Object of study: optimization processes for the cost of three-level plans for multivariate experiments. Subject of research: optimization method for cost and time costs of experimental designs based on the use of the jumping frog method. Experimental research methods are widely used to optimize production processes. One of the main goals of the experiment is to obtain the maximum amount of information about the influence of the studied factors on the production process. Next, a mathematical model of the object under study is built. Moreover, it is necessary to obtain these models at the minimum cost and time costs. The design of the experiment allows you to get mathematical models with minimal cost and time costs. For this, a method and software were developed for optimizing three-level plans using the jumping frog method. Three-level plans are used in the construction of mathematical models of the studied objects and systems. An analysis is made of the known methods for the synthesis of three-level plans that are optimal in cost and time costs. The operability of the algorithm was tested when studying the roughness of the silicon surface during deep plasma-chemical etching of MEMS elements. Its effectiveness is shown in comparison with the following methods: swarm of particles, taboo search, branches and borders. Using the developed method and software for optimizing three-level plans using the jumping frog method, one can achieve high winnings compared to the initial experimental plan, optimal or close to optimal results compared to particle swarm, taboo search, branches and borders methods, and also high speed of solving the optimization problem in comparison with previously developed optimization methods for three-level experimental designs.

Keywords: *optimal plan, method of jumping frogs, optimization, experiment planning, cost, time, payoff.*