

*На правах рукописи*

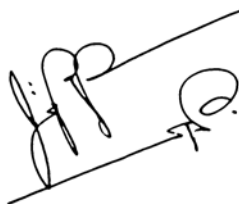
**ВИН НЬИ НЬИ**

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ  
ОБЪЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ**

Специальность 05.13.01 – системный анализ, управление и  
обработка информации (наука)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Автор:



Москва - 2009

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте  
(государственном университете).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Заслуженный деятель науки РФ  
Чалый Виктор Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Александров Владимир Михайлович  
  
кандидат технических наук  
Трухачев Андрей Александрович

Ведущая организация: Московский государственный  
индустриальный университет

Защита состоится «29» апреля 2009 г. в 14:00 на заседании  
диссертационного совета Д 212.130.03 при Московском инженерно-  
физическом институте (государственном университете) по адресу:  
115409, г.Москва, Карширское шоссе, д.31, тел (495) 323-95-26,324-84-98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского  
инженерно - физического института (государственного университета).

Автореферат разослан «\_\_» марта 2009 г.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв в  
одном экземпляре, заверенный печатью организации: Каширское ш., 31,  
отдел диссертационных советов МИФИ.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор



Шумилов Ю.Ю.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

В последние годы наблюдается все более широкое применение средств вычислительной техники для расчета, проектирования и управления различными физическими установками. По всему миру все более пристальное внимание в науке уделяется вопросам системного анализа, управления и обработки информации. Бурное развитие и усложнение техники, существенное расширение масштабов проводимых мероприятий и спектра их возможных последствий, внедрение автоматизированного управления во все области практики – все это приводит к необходимости всестороннего анализа сложных систем с учетом отраслевой специфики.

Основа такого анализа – выполнение теоретических и прикладных исследований системных связей и закономерностей функционирования и развития объектов и процессов, ориентированных на повышение эффективности их управления с использованием современных методов обработки информации.

Одна из наиболее важных на сегодняшний день практических производственных задач – надежная и безопасная работа оборудования. От правильного ее решения зависят не только высокие экономические показатели предприятия, но, достаточно часто, здоровье и жизни многих людей. Для квалифицированной оценки работоспособности оборудования, грамотной организации его обслуживания и правильного планирования сроков и объемов ремонтных работ особенно важно применять современные достижения науки в области обработки информации, принятия решений на основе обработанной информации, оптимизации и прогнозирования.

Актуальность работы заключалась в том, что необходимо предложить требуемый математический аппарат идентификации для решения поставленной задачи [1,3,6] и для анализа существующих методов идентификации объектов. Необходима разработка новых структур планов эксперимента повышающих эффективность идентификации, т.е. уменьшение объема эксперимента и повышение порядка математической модели.

Значительный вклад в теорию и практику методов планирования эксперимента информационных систем, работающих с различными видами приложений, внесли видные Российские ученые и специалисты Налимов В.В., Круг Г.К., Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В., Лецкий Э., и др. и зарубежные ученые G.E.P. Vox, K.B. Wilson, J.S. Hunter, G.F. Franklin, J.D. Powel, Хартман К., Шефер В. и

другие. В России планирование эксперимента развивалось с 1960 г. [1] под руководством В.В. Налимова и Г.К. Круга.

Целью является изучение методов планирования эксперимента для получения математического описания в виде уравнений регрессии (первого, второго, третьего порядков) и использование полученного описания для предсказания оптимальных параметров.

Какие основные задачи с помощью этих методов могут быть поставлены и решены?

1. Внедрение статических методов планирования эксперимента позволяет в значительной степени исключить интуитивный, волевой подход, заменить его научно-обоснованной программой проведения экспериментального исследования, включающей объективную оценку результатов экспериментов на всех последовательных этапах исследования.

2. Основная задача исследования - оптимизация, заключающаяся в нахождении совокупности варьируемых факторов, при которых выбранная целевая функция принимает экстремальное значение, решается оптимальным образом.

3. Даже при неполном знании механизма изучаемого явления путем направленного эксперимента можно получить математическую модель, включающую наиболее влияющие факторы, независимо от их физической природы.

В настоящее время получили широкое распространение методы идентификации как статических так и динамических объектов. В статических моделях входные переменные являются независимыми и математическая модель представляется в виде уравнения регрессии, представленного полиномом различной степени. Для математического описания динамических объектов используются системы дифференциальных уравнений. Поэтому выбор оптимальной стратегии обслуживания сложных систем, прогноз их состояния и рекомендации по дальнейшей эксплуатации один из первоочередных задач любого производства.

В целом, анализ существующих методов показал отсутствие единой формализованной технологии как по построению статических так и динамических моделей. В целом и в настоящее время построение математической модели объекта представляет большую сложность.

Разработанные в настоящее время планы эксперимента не обладают свойствами многокритериальности, что минимизирует объем эксперимента.

Разработанная автором методика обеспечивает значительное сокращение экспериментальных исследований в различных областях науки и техники, в том числе в области нанотехнологий, физических

объектов типа линейных ускорителей электронов и протонов, лазерных систем и установок.

### **Цель работы**

Цель работы заключается в создании новых типов планов эксперимента для внедрения их в новые информационные технологии, современные устройства для достижения оптимальных условий работы в системах и устройствах.

Необходимо создать методологию построения математических моделей позволяющей с минимальными погрешностями определить неизвестные постоянные коэффициенты модели и подобрать математический аппарат для построения математической модели.

Требуется выполнить экспериментальные исследования полученных новых типов планов эксперимента по их работоспособности и получении адекватных моделей. Провести анализ по ряду критериев: ортогональности, композиционности, близости к насыщенному плану и другим критериям.

В процессе работы решены следующие задачи:

- выполнено теоретическое обоснование построения моделей статических объектов;
- проанализированы существующие методы построения моделей;
- проведено исследование и анализ методов построения математических моделей для управления сложными объектами и процессами;
- показано сокращение объема экспериментальных данных по сравнению с пассивным экспериментом;
- обоснована возможность применения разработанных методов для фундаментальных исследований;
- экспериментальная проверка методов.

### **Методы исследования**

На основе выполненных исследований лежит использование регрессионных методов с оценкой параметров по критерию наименьших квадратов, методов аппроксимации, теории матриц, численного интегрирования, теории оптимизации, методов вычислительной математики, методов программирования, методов моделирования и методов регрессионного анализа.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы заключается в том, что автор предложил разработку новых типов планов эксперимента позволяющих увеличить порядок математических моделей, позволяющих

минимизировать объем эксперимента. Системный анализ существующих планов, исследование и обоснование разработанных типов планов.

В работе автором получены следующие научные результаты:

1. Теоретически обоснована и исследована возможность использования критерия композиционности, ортогональности, симметричности и близости к насыщенному плану.
2. Обоснована возможность применения разработанных методов в фундаментальных исследованиях.
3. Выведены расчетные формулы для оценки коэффициентов уравнений регрессии на основе экспериментальных данных.
4. Разработаны и обоснованы дополнительные условия для создания новых экономичных планов эксперимента для исследования сложных объектов и явлений.

#### **Практическая ценность работы**

Практическая значимость полученных в работе результатов заключается в следующем:

1. Разработанная методология построения математических моделей позволяет значительно сократить количество экспериментальных данных как по времени так и по стоимости.
2. Особенностью методологии является возможность построения как линейных, так и нелинейных систем.
3. Методология позволяет открывать приближенные законы природы.
4. Открывается возможность оптимизации объекта и прогнозирования поведения объекта или явления за пределами экспериментальной области.
5. Создана группа программных продуктов на языке Visual Basic.
6. Теоретически рассмотрена и экспериментально проверена возможность построения математической модели линейного ускорителя электронов типа у-10, с использованием композиционного плана эксперимента. Поставлена и функционирует лабораторная работа по курсу "Теоретические основы идентификации объектов" под названием "Идентификация статических моделей первого, второго и третьего порядков".

#### **Положения, выносимые на защиту**

Для публичной защиты выдвигаются следующие положения:

1. Методология построения экономичных планов эксперимента для создания математических моделей объектов и явлений.
2. Анализ и обоснование известных критериев планирования эксперимента и выбор из них таких, которые позволяют решать поставленную задачу.
3. Анализ количества опытов в планах эксперимента ПФЭ, ДФЭ, ОЦКП и ортогональных планах третьего порядка.

4. Разработка, исследование и обоснование новых экономических планов эксперимента для исследования сложных объектов и явлений для которых структура уравнения регрессии не известна.

5. Методики повышения порядка математических моделей полученных с помощью ОЦКП для полных и неполных моделей третьего порядка.

#### **Внедрение результатов диссертационного исследования**

Проведено внедрение теоретических исследований для ускорителя  $y-10$  и разработан лабораторный практикум по курсу “Теоретические основы идентификации объектов” под названием “Идентификация статических моделей первого, второго и третьего порядков”.

#### **Апробация результатов работы**

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах.

1. Научная сессия МИФИ, Программное обеспечение информационных технологий – 2007, 2008, 2009.
2. XI московская международная телекоммуникационная конференция студентов и молодых ученых – 2008.
3. Опубликованы в 2008 году в журнале «Безопасность информационных технологий».

#### **Личный вклад автора**

Впервые создан, исследован и обоснован многокритериальный композиционный план для идентификации объектов с минимальным объектом эксперимента. Этот тип плана позволяет строить уравнения регрессии с первого по третий порядок включительно. Автор использовал обобщающий критерий включающий: композиционность, ортогональность, симметричность и близость плана к насыщенному плану. Выведены все параметры плана, получены формулы для расчета оценок коэффициентов модели. Выполнена проверка достоверности полученных результатов. Все научные и практические результаты диссертации получены автором лично.

#### **Публикации**

Всего по теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 1 статья в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов работы.

### Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы из 78 наименований и приложений. Основная работа диссертации содержит (167) страниц текста, включая (45) рисунков и (39) таблиц.

### Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы и дается ее краткая характеристика, формулируются цель исследования, основные задачи и положения, выносимые на защиту. Излагается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** рассматривается методология построения экономических планов эксперимента для создания математических моделей объектов и явлений. Методы планирования эксперимента позволяют проводить исследование для многофакторных объектов и получать адекватные математические модели для различной размерности управляющих факторов. Такая операция проводится в кодированных значениях управляющих факторов. Следовательно, для многофакторного объекта можно обеспечить получение математической модели в виде уравнения регрессии которое будет характеризовать приближенный закон исследуемого объекта.

Структурная схема использования методов планирования эксперимента (идентификации) представлена на рис.(1).

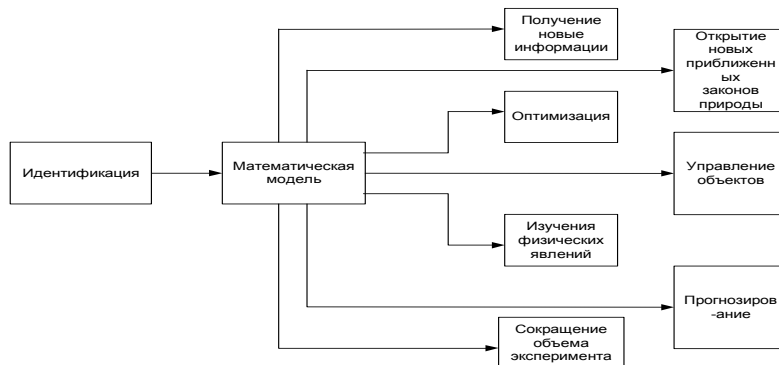


Рис. 1

В большинстве случаев структура уравнения регрессии не известна. Для таких случаев необходимо разработать методологию формирования планов эксперимента с минимальными потерями, как в



количестве опытов, так и в материальных потерях, затрачиваемых на проведение эксперимента.

Для решения поставленной цели следует решить следующие задачи.

1. Анализ известных критериев планирования эксперимента и выбор из них таких, которые позволяют решать поставленную задачу.

2. Анализ известных планов эксперимента с первого по третий порядок включительно.

3. Анализ количества опытов в планах первого, второго и третьего порядков.

4. Разработка, исследование и обоснование новых экономических планов эксперимента для исследования сложных объектов и явлений, для которых структура уравнения регрессии не известна.

Решение поставленных задач возможно после полного анализа существующих методов планирования эксперимента для идентификации объектов и явлений. Будем рассматривать для построения композиционного плана только основные ортогональные планы. Достижение композиционного плана возможно с использованием ядер полного факторного эксперимента (ПФЭ), ядер дробного факторного эксперимента (ДФЭ), ядер звездных точек и наконец центральной точки (центр эксперимента). (Рис.2).



Рис. 2

Учитывая поставленную задачу, автор выбрал многокритериальный критерий удовлетворяющий следующим критериям: (1) композиционность (2) симметричность (3) близость к насыщенности (4) ортогональность.

Из рисунка (3) видно, что объем эксперимента  $N$  для ПФЭ резко возрастает от числа факторов  $n = 5$  и выше, что говорит о нецелесообразности использования в этой области построения экономических композиционных планов эксперимента. На рисунке представлены данные по количеству определяемых коэффициентов  $(K+1)$  для линейной модели и для неполной квадратичной модели.

Из рисунка (4) видно, насколько оригинально поступил автор ОЦКП Бокс[1]. Сочетая ядра ПФЭ и ядра ДФЭ, с целью минимизации количества опытов  $N$ . Однако, автор работы поставил задачу на базе ОЦКП построить планы для построения полных и неполных моделей третьего порядка.

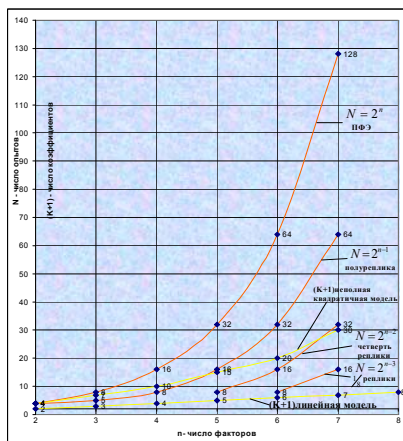


Рис. 3

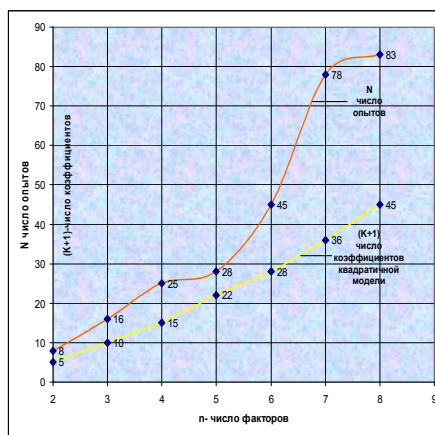


Рис. 4

Во **второй главе** созданы и теоретически обоснована методология построения полных и неполных планов моделей третьего порядка в виде уравнения регрессии.

Рассмотрим ортогональные планы третьего порядка, используемые для построения математических моделей в виде полных полиномов третьего порядка. В общем виде модель третьего порядка записывается следующим образом.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i<j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j<k}^n b_{ijk} x_i x_j x_k + \sum_{i+j}^n b_{ij} x_i x_j^2 + \sum_{i=1}^n b_{iii} x_i^3 \quad (1)$$

где  $Y$  - функция отклика,  $x_i$  - входные кодированные переменные,  $b_0, b_i, b_{ij}, \dots$ , - коэффициенты модели.

Широко используемые на практике ортогональные центральные композиционные планы (ОЦКП) для построения математических моделей второго порядка являются избыточными как по числу экспериментальных точек, так и по числу уровней варьирования факторов. Так, для четырех факторов число экспериментальных точек ОЦКП равно 25, в то время как число неизвестных коэффициентов в полной модели второго порядка равно 15. Следовательно, для проверки адекватности модели остается 10 степеней свободы. Для числа факторов больше либо равно трем число уровней варьирования равно пяти, в то время как для построения модели второго порядка достаточно трех уровней варьирования факторов. Следовательно, ОЦКП являются избыточными как по числу экспериментальных точек, так и по числу

уровней варьирования факторов. Поэтому ставится задача более эффективного использования ОЦКП, а именно их использования для построения математических моделей третьего порядка. При этом ОЦКП остаются без изменения, либо к ним добавляется некоторое количество экспериментальных точек.

Причем величина звёздного плеча  $\alpha = 1$ . Следовательно, число уровней варьирования в двухфакторном ОЦКП второго порядка равно трем. Это минимальное число уровней варьирования необходимо для построения модели второго порядка. Поэтому использование двухфакторного ОЦКП второго порядка для построения полной модели третьего порядка невозможно, так как минимальное число уровней варьирования факторов, должно быть не менее четырех.

Неполная модель третьего порядка для двух факторов записывается следующим образом –

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{221}x_2^2x_1 \quad (2)$$

Для  $n = 3$  число экспериментальных точек равно 15. При этом число коэффициентов равно 14. Число экспериментальных точек в матрице ОЦКП второго порядка для трех факторов недостаточно для построения полной модели третьего порядка. Однако, ОЦКП второго порядка можно использовать для построения неполной модели третьего порядка вида.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3 + b_{333}x_3^3 \quad (3)$$

Для ортогонализации этих вектор-столбцов введем замены переменных

$$\left. \begin{aligned} x_i^2 &\rightarrow x_i^2 - \xi; \\ x_i^3 &\rightarrow x_i^3 - \eta x_i. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Подставляя введенные замены переменных в неравенства и обращая их в равенства, получаем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{u=1}^N x_{0u} (x_{iu}^2 - \xi) &= \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 - N\xi = 0 \\ \sum_{u=1}^N (x_{iu}^2 - \xi)(x_{ju}^2 - \xi) &= \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 x_{ju}^2 - N\xi^2 = 0 \\ \sum_{u=1}^N x_{iu} (x_{iu}^3 - \eta x_{iu}) &= \sum_{u=1}^N x_{iu}^4 - \eta N\xi = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Подставляя параметры плана в систему уравнений и решая ее, получаем следующие значения параметров плана и параметров замен переменных

$$\alpha = 1,215; \xi = 0,730; \eta = 1,1287.$$

Где  $\alpha$  и  $\xi$  соответствуют ОЦКП второго порядка.

Для  $n = 4$  число экспериментальных точек равно 25. При этом число коэффициентов равно 23. Однако, четырех-факторные ортогональные центральные композиционные планы (ОЦКП) второго порядка можно использовать для построения неполной модели третьего порядка вида.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3 + b_{333}x_3^3 + b_{444}x_4^3$$

(6)

Для  $n = 4$  параметры плана :  $\alpha = 1.414214, \xi = 0,800, \eta = 1,200$ .

Для  $n = 5$  число экспериментальных точек равно 43. При этом число коэффициентов, которые можно оценить, равно 36. Пятифакторные ортогональные центральные композиционные планы (ОЦКП) второго порядка можно использовать для построения неполной модели третьего порядка вида.

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{55}x_5^2 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{125}x_1x_2x_5 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{135}x_1x_3x_5 + b_{145}x_1x_4x_5 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{235}x_2x_3x_5 + b_{245}x_2x_4x_5 + b_{345}x_3x_4x_5 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3 + b_{333}x_3^3 + b_{444}x_4^3 + b_{555}x_5^3$$

(7)

По аналогии решая систему уравнений (5), получаем значения параметров плана и параметров замен переменных-

$$\alpha = 1,5960, \xi = 0,862662, \eta = 1,2125$$

Аналогичным образом были получены параметры планов и параметры замен переменных для числа факторов равных 6 – 10. Причем в качестве ядра ОЦКП использовались как полный факторный эксперимент, так и дробный факторный эксперимент. Формулы для оценивания коэффициентов неполных моделей третьего порядка являются справедливыми для любого числа факторов. Параметры планов и параметры замен переменных приведены в таблице (1). В неполной

модели третьего порядка должны отсутствовать взаимодействия типа  $x_i x_j^2$ .

Таблица(1)

n	Тип ядра	Число опытов	Число коэффициентов	Значения параметров		Параметры замены переменных	
				$\beta$	$\alpha$	$\xi$	$\eta$
2	$2^2$	9	8	1	1	0,666	0,897
3	$2^3$	15	14	1	1,215	0,730	1,128
4	$2^4$	25	23	1	1,414	0,8	1,2
5	$2^5$	43	36	1	1,596	0,862	1,212
6	$2^6$	77	54	1	1,760	0,911	1,185
7	$2^7$	143	78	1	1,909	0,946	1,142
7	$2^{7-1}$	79	78	1	1,884	0,900	1,255
8	$2^8$	273	109	1	2,044	0,968	1,100
8	$2^{8-1}$	145	109	1	2,029	0,939	1,188
9	$2^9$	531	148	1	2,169	0,981	1,066
9	$2^{9-1}$	275	148	1	2,159	0,964	1,128
10	$2^{10}$	1045	196	1	2,285	0,989	1,042
10	$2^{10-1}$	533	196	1	2,279	0,862	1,083

В **третьей главе** выполняется экспериментальная проверка разработанных структур планов эксперимента и построение графиков изменения параметров по сечениям при фиксировании значения одного из параметров.

Для исследования и обоснования теоретических положений первой и второй глав диссертации в этой главе использованы гипотетические модели. Гипотетические модели были выбраны произвольно для моделей второго порядка, неполных моделей третьего порядка, полных моделей третьего порядка для разного числа входных переменных. Такой подход обоснован тем, что решается обратная задача т.е. по гипотетической модели строится новая модель, которая должна совпадать с исходной гипотетической моделью в пределах ошибок при

вычислении [1]. В этом случае исключаются ошибки реального объекта т.е. случайные ошибки и ошибки от задания входных параметров  $X_i$ .

Выбранная методология позволяет последовательно строить линейную модель, полную модель второго порядка без потери экспериментальных точек, далее без потери строить неполную модель третьего порядка и наконец строить полную модель третьего порядка. Построенные графики позволяют сопоставить и сравнить полученные результаты и обосновать применение разработанных структур планов эксперимента на практике. Проанализировав все расчеты, можно сделать вывод что построенная нами модель может применяться для оптимизации параметров заданного объекта.

### Сравнение параметров модели ОЦКП и неполная модель третьего порядка

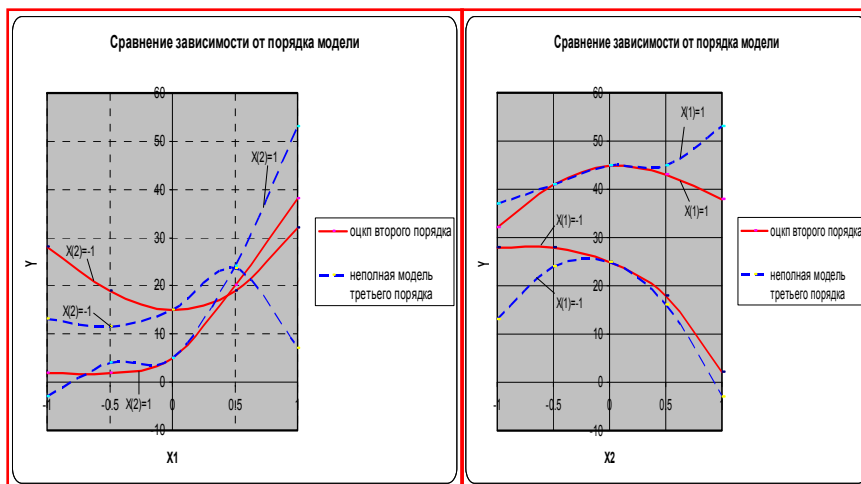


Рис. 5

### Построение полной модели третьего порядка для двух переменных

Двухфакторный ортогональный план третьего порядка предлагается строить на основе ОЦКП второго порядка путем добавления к нему ещё одного ядра типа  $2^n$ . Число экспериментальных точек для такого плана определяется по формуле.

$$N = 2 \cdot 2^n + 2n + 1, \quad (n = 2)$$

где  $n$  – число факторов,  $N$  – Число экспериментальных точек плана.

### Сравнение параметров модели ОЦКП и полная модель третьего порядка

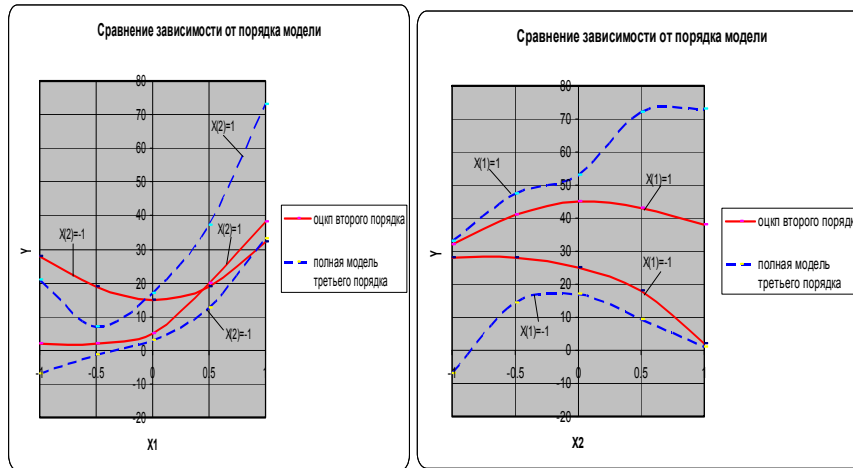


Рис. 6

Проведенные исследования показали эффективность использования предложенной методологии.

### Сравнение параметров модели ОЦКП и неполной модели третьего порядка для трех переменных

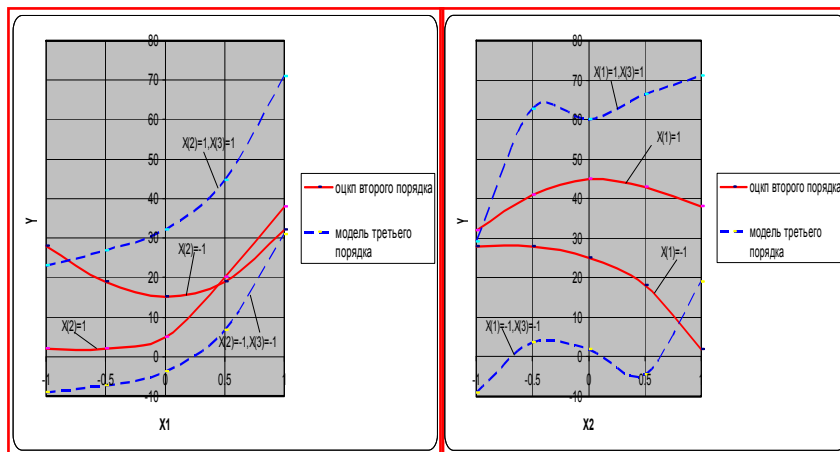


Рис. 7

В четвертой главе выполнена оптимизация режимов работы ускорителя электронов по математической модели. Автор привел практический пример для того, чтобы проверить возможность построения математической модели линейного ускорителя электронов типа  $y = 10$ , с использованием ортогонального центрального композиционного плана эксперимента. Ускорители по конструкционным особенностям делятся на два основных типа: линейные и циклические. Линейные ускорители делятся на два класса: односекционные и многосекционные. По типу пучков на выходе ускорители могут ускорять электроны или протоны. Очевидно, что односекционные ускорители могут состоять как из одного (группирователя), так и из двух участков, (группирователя и ускоряющего участка).

Регулировка энергии в линейных ускорителях электронов (ЛУЭ) позволяет расширить его возможности как орудия исследования, а также расширяет границы применимости для прикладных целей. В отличие от других источников радиоактивного излучения, ЛУЭ не дают остаточной радиоактивности.

Основное назначение - (а) Исследование микромира, (б) Исследование взаимодействия различных веществ со сгустком электронов и протонов, (в) Военные цели и т.д. В народном хозяйстве, например, облучение твердосплавного инструмента при определенных условиях дает повышение стойкости на 30-40%; облучение резины приводит к увеличению пробега автомобильных шин на 20-25%; облучение сельскохозяйственных продуктов приводит к уничтожению микробов и сохранению продуктов в течение всего года без наличия остаточных свойств радиации.

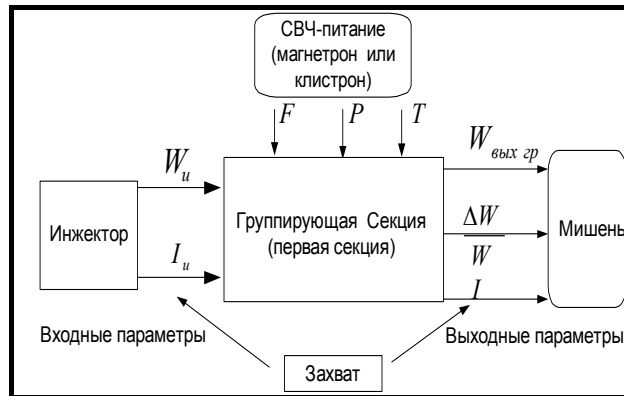


Рис. 8



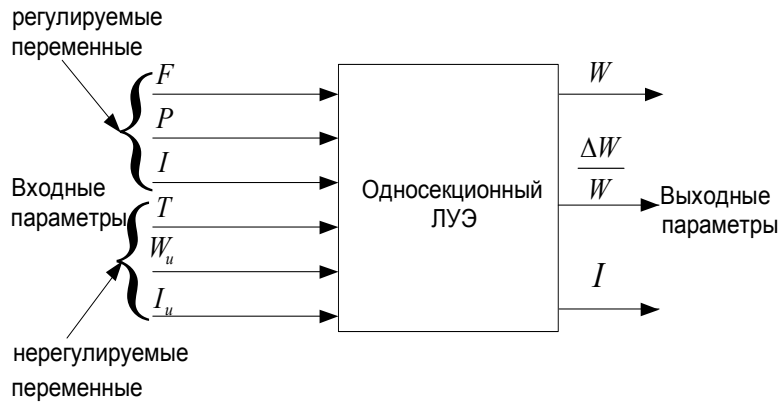


Рис. 9

$$W = F(I, P, f)$$

или

$$W = b_0 + b_1 I + b_2 P + b_3 f + b_{11} I^2 + b_{22} P^2 + b_{33} f^2 + b_{12} IP + b_{13} If + b_{23} Pf$$

(8)

Где  $W$  - энергия пучка электронов в МэВ,  $I$  - ток ускоренных частиц в мкА,  $P$  - мощность высокочастотного генератора в кВт или мВт,  $f$  - частота высокочастотного генератора в делениях волномера.

Для ускорителя У-10 используется ОЦКП с целью определения оценок коэффициентов модели и получен.

$$Y = 2.8641 - 0.02510x_1 + 0.1943x_2 + 0.0604x_3 - 0.02625x_1x_2 - 0.00625x_1x_3 - 0.1275x_2x_3 - 0.0530x_1^2 - 0.07689x_2^2 - 0.2730x_3^2$$

(9)

В результате проведенного анализа и исследования удалось получить систему, которая может быть положена в основу построения управляющей ЭВМ.

$$\frac{dP}{dt} = W_{\text{зэл}} - a_0 - a_1 f - a_2 P + a_3 I + a_{11} f^2 + a_{22} P^2 + a_{33} I^2 + a_{12} fP + a_{13} fI + a_{23} PI$$

$$\frac{df}{dt} = a_1 - 2a_{11} f - a_{12} P - a_{13} I$$

(10)

Покажем на пример линейного ускорителя у-10 метод расчета, построения и использования номограмм в режиме оптимизации его работы. Расчет номограмм оптимального управления ЛУЭ может быть

выполнен двумя путями. Первый обеспечивает решение с использованием системы автоматического поиска путем задания энергии через определенные диапазоны, второй - использует ЭВМ общего назначения и

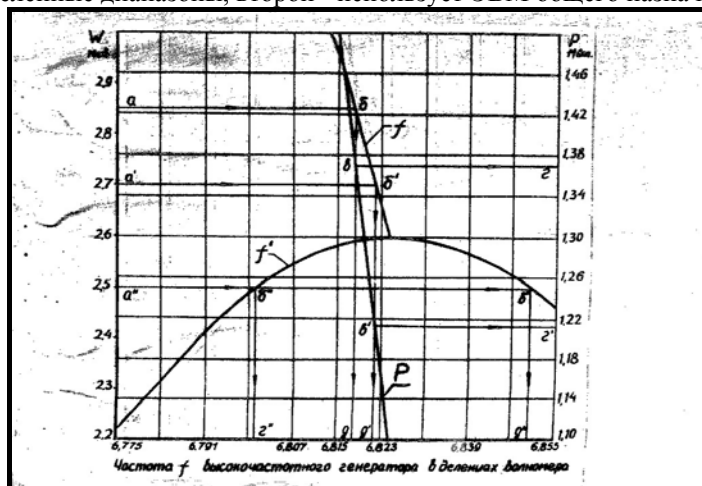


Рис. 10

систему уравнений, показанную выше. По результатам решений строятся графики в координатах, показанных на рисунке.

В **пятой главе** автором создается специализированное программное обеспечение на языке Visual Basic для использования методов планирования эксперимента при построении статических моделей (главы 1 и 2), по результатам экспериментальных данных (глава 3).

Дается краткая характеристика содержания и взаимодействия основных блоков программного обеспечения. С целью получения адекватной математической модели для автоматизации оценивания коэффициентов регрессионных моделей для двух, трех, четырех и пяти переменных. Разработанное программное обеспечение прошло экспериментальную проверку и доказало свою работоспособность. Объект должен быть управляемым и обеспечивать воспроизводимость эксперимента. На рисунке представлена блок-схема алгоритма для неполной модели.

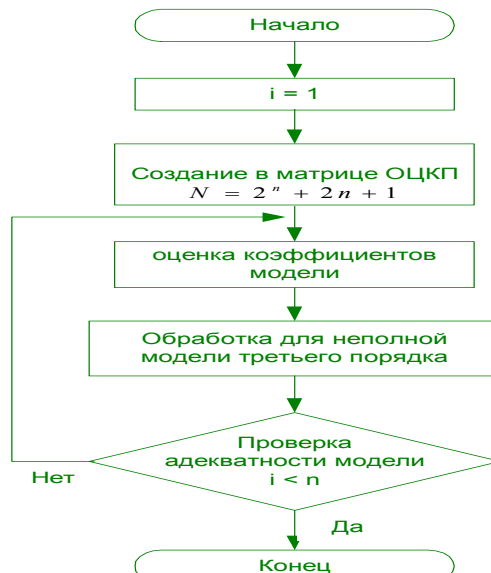


Рис. 11 блок-схема алгоритма для неполной модели.

Программное обеспечение представляет собой универсальную расчетную программу, которую можно использовать для построения моделей с первого по третий порядок включительно.

Такая методика обоснована тем, что решается обратная задача т.е. по гипотетической модели строится новая модель, которая должна совпадать с исходной гипотетической моделью, в пределах ошибок при вычислении. В этом случае исключаются ошибки реального объекта т.е. случайные ошибки и ошибки от задания входных параметров  $x_i$ .

По результатам проведенной практической работы и на основании планирования эксперимента делаются выводы относительно высокой эффективности практического применения созданного программного обеспечения.

В **заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы и формулируются выводы.

В **приложении** приведен листинг разработанного программного обеспечения.

### **Основные результаты работы**

1. Разработана методология построения экономических планов эксперимента для создания математических моделей объектов и явлений.
2. Проведен системный анализ известных критериев планирования эксперимента и обоснован выбор обобщающего критерия для решения

поставленной задачи, который включает следующие критерии: композиционность, ортогональность, симметричность, близость к насыщенному плану.

3. Сформулированы внутренние свойства объектов и явлений для которых могут применяться методы планирования эксперимента.

4. Построена структурная схема использования методов планирования эксперимента для различных областей и объектов.

5. Проведен системный анализ известных планов эксперимента с первого по третий порядок включительно и обоснованы ядра, которые применены автором для решения поставленной задачи.

6. Выполнен анализ количества опытов в планах эксперимента ПФЭ, ДФЭ, ОЦКП и ортогональных планах третьего порядка.

7. Разработаны и обоснованы дополнительные условия для создания новых экономичных планов эксперимента для исследования сложных объектов и явлений.

8. Предложено использовать модели второго порядка для построения полных и неполных математических моделей третьего порядка, что позволило повысить эффективность уравнения регрессии с минимальными объемом экспериментальных точек используя ОЦКП, сократить экспериментальные затраты, повысить качество идентификации.

9. Проведены теоретические исследования и обоснована методология повышения порядка математических моделей полученных с помощью ОЦКП для полных и неполных моделей третьего порядка. Выведены все формулы для вычисления оценок коэффициентов модели.

10. Выведены необходимые зависимости, позволяющие использовать ОЦКП второго порядка для построения полных и неполных моделей третьего порядка.

11. Построены матрицы планов для оценивания коэффициентов неполных моделей третьего порядка.

12. Проведена экспериментальная проверка разработанных планов эксперимента для построения полных и неполных моделей третьего порядка.

13. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании объектов и процессов в различных областях на науки и техники.

14. Построены математические модели позволяющие с минимальными затратами определить коэффициенты модели для двух, трех, четырех и пяти факторов.

15. Представлены программы написанные на языке Visual Basic, которые прошли экспериментальную проверку и доказали свою работоспособность для проверки точности.

16. Проведено внедрение теоретических исследований для ускорителя  $у - 10$  и разработан лабораторный практикум по курсу “Теоретические основы идентификации объектов” под названием “Идентификация статических моделей первого, второго и третьего порядков”.

**Основные публикации по теме диссертации**

1. Вин Ньи Ньи., В.Д. Чалый., Математические методы в информационных технологиях. Безопасность информационных технологий 2008: Том 1, С.68-72.
2. Вин Ньи Ньи., В. Д. Чалый., Применение методов планирования эксперимента для исследования физических объектов. Научная сессия МИФИ 2007: Том 2, С.126-127.
3. Вин Ньи Ньи., В. Д. Чалый., Исследование построения математических моделей для ускорителей электронов. Научная сессия МИФИ 2007: Том 2, С.128-129.
4. Вин Ньи Ньи., В. Д. Чалый., Повышение эффективных экспериментов для построения полных и неполных моделей. Научная сессия МИФИ 2008: Том 11, С.162-163.
5. Вин Ньи Ньи., В. Д. Чалый., Разработка экономичных планов для построения уравнений регрессии третьего порядка. Научная сессия МИФИ 2008: Том 11, С.164-165.
6. Вин Ньи Ньи., Построение уравнений регрессии третьего порядка для четырех факторов. Научная сессия МИФИ 2008: Молодежь и наука, С.80-81.
7. Вин Ньи Ньи., Использование пятифакторных ортогональных центральных композиционных планов для построения неполных моделей третьего порядка. Научная сессия МИФИ 2008: Молодежь и наука, С.82-83.
8. Вин Ньи Ньи., Использование математических методов в информационных технологиях. Научная сессия МИФИ 2009.
9. Вин Ньи Ньи., Программное обеспечение для исследования уравнений регрессии. Научная сессия МИФИ 2009.