

№ 1988

В.Ю. Лопатин
В.Н. Шуменко

Организация и планирование эксперимента

Практикум

№ 1988

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра порошковых материалов и функциональных покрытий

В.Ю. Лопатин

В.Н. Шуменко

Организация и планирование эксперимента

Практикум

Рекомендовано редакционно-издательским
советом университета



Москва 2010

УДК 519.2:621.762
Л77

Рецензент
д-р техн. наук, проф. *В.А. Соколов*

Лопатин, В.Ю.

Л77 Организация и планирование эксперимента : практикум /
В.Ю. Лопатин, В.Н. Шуменко. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2010. – 83 с.
ISBN 978-5-87623-384-4

В практикуме приведены порядок выполнения и разобраны примеры методов планирования экспериментов: выделение основных факторов, изучение влияния факторов на параметр оптимизации, построение обобщенного параметра оптимизации, нахождение области оптимума методами градиента и симплекса, изучение влияния состава смеси на параметр оптимизации и построение диаграмм состав–свойство. Приведены условия задач, большинство из которых взяты из научно-исследовательских и дипломных работ, выполненных на кафедре. Работа содержит программы расчета на ПК в Microsoft Excel.

Практикум предназначен для подготовки бакалавров, обучающихся по специальности 150100.

УДК 519.2:621.762

ISBN 978-5-87623-384-4

© В.Ю. Лопатин,
В.Н. Шуменко, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Метод выявления основных факторов	5
2. Полный факторный эксперимент	20
3. Обобщенный параметр оптимизации	37
4. Находные области оптимума	52
4.1. Метод крутого восхождения	52
4.2. Симплексный метод	56
5. Диаграмма состав–свойство	65
Литература	77
Приложения	78

ВВЕДЕНИЕ

Целью практикума является ознакомление с порядком использования методов планирования экспериментов в научных исследованиях, курсовых и дипломных работах, магистерских диссертациях.

При изучении любого материального объекта методом планирования экспериментов предполагают три основные стадии:

1. Выбор метода, расчет числа и условий опытов (планирование экспериментов), необходимых и достаточных для ответа на вопрос, интересующий экспериментатора.

2. Определение порядка выполнения экспериментов (опытов). Выполнение экспериментов, измерение или расчет параметра оптимизации.

3. Статистическая обработка результатов эксперимента в зависимости от выбранной экспериментатором доверительной вероятности (уровня значимости). Анализ полученных результатов. Вывод (ответ по интересующему вопросу).

В практикуме первая цифра порядка выполнения метода будет указывать, к какой из стадий принадлежит та или иная процедура.

Как уже ясно из вышеприведенных стадий, любой метод предусматривает выполнение экспериментов.

Задачи в практикуме сгруппированы по следующим основным методам:

– выявление основных факторов путем опроса специалистов (априорное ранжирование);

– изучение влияния факторов – полный факторный эксперимент (ПФЭ);

– построение обобщенного параметра оптимизации (метод Харрингтона);

– нахождение экстремального значения параметра оптимизации (метод градиента, симплексный метод);

– изучение влияния состава смеси на параметр оптимизации и построение диаграмм состав–свойство.

1. МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ

Перед началом экспериментов каждого исследователя интересует вопрос: «Какие из выбранных факторов оказывают основное влияние на изучаемый объект?», чтобы начать исследование именно с них.

Для ответа на этот вопрос исследователь вынужден проводить анализ публикаций. При этом он сталкивается с различными теоретическими интерпретациями механизмов и явлений, которые по-разному оценивают влияние каждого фактора. Как поступить в этом случае?

Метод априорного ранжирования позволяет выявить такие факторы, которые, по мнению всех (или большинства из них), играют определяющее значение, т.е. являются основными факторами данного объекта исследования. С них и следует начать исследование.

В основу метода априорного ранжирования положены два основных допущения: во-первых, интерпретация механизмов и явлений основана на достоверных практических результатах опытов; во-вторых, эксперименты выполнялись специалистами в данной области знаний.

Предлагаемый читателю метод по выявлению основных факторов не требует никаких предварительных экспериментов на объекте исследования. Вся информация о влиянии факторов можно получить либо из публикаций, либо с помощью опроса мнений специалистов. В первом случае исследователь делает это самостоятельно, во втором – предлагает специалистам, независимо друг от друга, расставить факторы по местам в зависимости от степени их влияния на объект исследования: на первое место – основной фактор, на второе – менее влияющий и т.д. В том случае, если специалист затрудняется отдать предпочтение одному из двух или более факторов, он может дать всем одно и то же место (ранг). Например, ранг для двух факторов, занимающих 2-е и 3-е место, будет равен сумме мест, деленному на число факторов: $(2 + 3)/2 = 2,5$. Для трех факторов, занимающих 4, 5, 6-е место, ранг будет равен: $(4 + 5 + 6)/3 = 5$.

Порядок выполнения метода

- 1.1. Выбираем факторы.
- 1.2. Выбираем источники информации.
2. Распределяем факторы по степени влияния.
3. Обрабатываем полученные результаты.

3.1. Определяем согласованность мнений специалистов.

3.2. Выбираем основные факторы.

Пример 1. Выбрать основные факторы процесса восстановления MeO_3 до металла водородом.

Решение

1.1. Выбираем факторы:

X_1 – расход водорода, л/мин;

X_2 – продолжительность смешения MeO_3 с твердым восстановителем, ч;

X_3 – высота слоя засыпки MeO_3 в лодочке, мм;

X_4 – скорость продвижения лодочки, см/мин;

X_5 – температура процесса восстановления, °С;

X_6 – продолжительность процесса восстановления, мин;

X_7 – количество твердого восстановителя (активатора), %;

X_8 – размер частиц MeO_3 , мкм.

1.2. Выбираем метод независимого опроса четырех специалистов.

2. Специалисты независимо друг от друга расположили факторы по степени их влияния на процесс восстановления MeO_3 (табл. 1).
Специалист 2 разделил 2-е и 3-е место между факторами X_5 и X_7 .
Специалист 3 разделил 4, 5 и 6-е место между факторами X_1 , X_2 и X_8 .

Таблица 1

Результаты опроса специалистов

Номер специалиста	Ранги							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1	6	5	4	7	1	2	3	8
2	7	8	6	4	2,5	1	2,5	5
3	5	5	8	7	1	3	2	5
4	6	8	7	5	1	2	4	3

3. Обработка результатов опроса специалистов:

– в каждом столбце подсчитываем сумму рангов: $\sum_{j=1}^m \alpha_{ij}$,

где i – номер специалиста ($i = 1, 2, 3, 4$);

j – номер фактора ($j = 1, 2, \dots, 8$);

– определяем среднее арифметическое значение ранга по всем строкам и столбцам:

$$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = \frac{1}{8} \cdot (24 + 26 + 25 + 23 + 5,5 + 8 + 11,5 + 21) = 18;$$

– находим отклонение $\sum_{j=1}^m \alpha_{ij}$ от средней суммы ранга: $\Delta = \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} -$

– 18;

– вычисляем квадрат отклонения Δ^2 .

Обработка результатов опроса специалистов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Расчет согласованности мнений специалистов

Параметры	Ранги							
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
$\sum_{j=1}^m \alpha_{ij}$	24	26	25	23	5,5	8	11,5	21
Δ	-6	-8	-7	-5	12,5	10	6,5	-3
Δ^2	36	64	49	25	156,25	100	42,25	9

3.1. Определяем согласованность мнений специалистов.

1. Определяем коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^k \Delta_i^2}{m^2(k^3 - k) - m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (1)$$

где m – число специалистов;

k – число факторов;

$$T_i = \frac{1}{12} \sum_{u=1}^3 (t_u^3 - t_u), \quad (2)$$

здесь t_u – число групп, образованных факторами одинакового ранга:

$$T_1 = 0; T_2 = 1/12 \cdot (2^3 - 2) = 0,5; T_3 = 1/12 \cdot (3^3 - 3) = 2; T_4 = 0.$$

Значение $W = 0,717$.

2. Согласованность мнений специалистов определяют по соотношению между расчетным значением критерия согласия λ^2 и табличным значением критерия.

Расчетное значение критерия определяют по формуле