

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное агентство по образованию

---

Государственное образовательное учреждение

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Т.А. Дурина, А.А. Черный

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Методическое пособие

Пенза 2010

Дурина Т.А., Черный А.А. Математическое моделирование процессов рафинирования алюминиевых сплавов: Методич. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2010. – 33 с.

Изложены: методические разработки по рафинированию алюминия и алюминиевых сплавов, методы математического моделирования при планировании экспериментов на трех уровнях факторов, алгоритм математического рафинирования, пример выполнения программы математического моделирования на ЭВМ, основные требования по выполнению исследовательских работ и оформлению отчетов.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Сварочное, литейное производство и материаловедение» и в Научно-исследовательском институте плавки литейных сплавов при ПГУ. Оно предназначено для студентов всех форм обучения по специальности «Машины и технология литейного производства» и может быть полезно при выполнении исследований с применением математического моделирования.

Рецензенты:

Научный совет Пензенского научного центра;

А.С. Белоусов, главный металлург ОАО «Пензадизельмаш»

© Т.А. Дурина, А.А. Черный, 2010

## **ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО РАФИНИРОВАНИЮ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Алюминиевые сплавы широко применяются в промышленности. Положительные свойства алюминия это – легкость, высокая пластичность, коррозионная стойкость, повышенная электропроводность

Современные требования к литейному производству обеспечение получения отливок из сверхчистого алюминия. В связи с этим разработка новых методов рафинирования (очистки) алюминия является актуальной задачей. Перспективным способом является рафинирование металла солями. Сущность этого метода рафинирования металла заключается в том, что отдельно производят расплавление металла и соли. В расплавленную соль, удельной вес которой меньше удельного веса металла вливают расплавленный металл. Чем меньше разность удельных весов соли и металла и меньше поверхность контакта соли и металла, тем с большей интенсивностью проводят вибрационное воздействие на расплавленную соль.

Это позволяет снизить трудоемкость процесса рафинирования металла, получить более чистый металл, улучшить качество металла, снизить энергозатраты и стоимость очистки металла.

Проверка эффективности предложенного способа рафинирования металла (патент №2287022) осуществляется следующим образом. Производят плавку металла в тигельной печи и одновременно в другой плавят водорастворимую соль, удельной вес которой меньше удельного веса металла в 1,5-10,5 раза, например, соль натрия, бария или калия. Температуру расплава алюминия повышают до 800°C, затем тигель с расплавом соли подвергают вибрации, и расплав алюминия вливают в расплавленную соль. После прохождения соли через металл и скопления соли на поверхности металла, вибрацию прекращают. Выливают расплав

соли вместе с расплавом металла в тигель, в котором плавил алюминий. Далее расплавленную соль сливают с жидкого металла, и металл используют для заливки отливок. После остывания соль растворяют в воде, удаляют из раствора неметаллические материалы, выпаривают воду, сушат соль, полученную из раствора. Соль повторно можно использовать для очистки алюминия от неметаллических включений.

Выбор интенсивности перемешивания расплавленной соли зависит от разности удельных весов расплава соли и очищаемого металла, а также от поверхности контакта расплавленной соли с расплавленным металлом, требуемой степени очистки металла от неметаллических включений. Чем меньше разность удельных весов соли и металла и меньше поверхность контакта соли и металла и чем чище требуется металл, тем должна быть больше интенсивность движения размешивания расплавленной соли. Удельный вес расплава соли должен быть в 1,5-10,5 раза меньше расплавленного металла, вливаемого в расплавленную соль.

Оценку качества рафинирования металла-алюминия проводят при помощи экспериментальных данных и математической модели. В технике и технологии преимущества метода математического моделирования очевидны: оптимизация процессов, сокращение затрат на процессы, повышение качества продукции, уменьшение эксплуатационных расходов. Математическое моделирование существенно преобразует также сам характер научных исследований, устанавливая новые формы взаимосвязи между экспериментальными и математическими методами. Применение математического моделирования в литейном производстве привело к появлению большого числа программных пакетов, с помощью которых более или менее успешно решаются задачи, с которыми литейщики сталкиваются в практической работе.

Прогнозирование улучшения процессов и свойств при рафинировании расплавов алюминия рационально проводить при помощи математического

моделирования на основе планирования экспериментов на трех уровнях факторов [4,13,14]

Преимуществами предложенной методики математического моделирования являются оригинальная разработка ортогонализации матриц, вывод формул для расчета коэффициентов ортогонализации, коэффициентов регрессии, дисперсий в определении коэффициентов регрессии, буквенное обозначение показателей степени факторов в уравнении регрессии и возможность изменять величины показателей степени факторов, добиваясь требуемой точности математических моделей. При математическом моделировании используются абсолютные величины факторов и показателей процесса. Уровни факторов могут быть ассиметричными и симметричными, а математические зависимости – нелинейными или линейными.

Анализ следует проводить по компьютерной программе NW3 [13,14], разработанной в соответствии с эффективным алгоритмом. В этой программе объединены три программы для случаев планирования  $3^1$  ( $X = 3$ ),  $3^2$  ( $X = 9$ ),  $3^3$  ( $X = 27$ ). В зависимости от того, какая управляющая величина  $X$  будет введена, начнет работать одна из программ. Программы составлены так, что достигается высокая точность расчетов, осуществляется проверка расчетов. После выявления математической модели программа позволяет выполнять расчеты по модели, определять максимальные и минимальные величины показателей, строить графики зависимостей показателей от факторов.

## **СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Лабораторные работы посвящены исследованию рафинирования алюминия с применением математического моделирования на основе планирования экспериментов на трех уровнях факторов.

Преимуществами предложенной методики математического моделирования [4] являются оригинальная разработка ортогонализации матриц, вывод формул для расчета коэффициентов ортогонализации,

коэффициентов регрессии, дисперсий в определении коэффициентов регрессии, буквенное обозначение показателей степени факторов в уравнении регрессии и возможность изменять величины показателей степени факторов, добиваясь требуемой точности математических моделей. При математическом моделировании используются абсолютные величины факторов и показателей процесса. Уровни факторов могут быть ассиметричными и симметричными, а математические зависимости – нелинейными или линейными.

Лабораторные работы по дисциплине «Вычислительная техника в инженерных расчетах» согласно учебного плана для дневной формы обучения и заочной формы обучения должны выполняться в течение 17 часов аудиторных занятий. Выполняются 4 исследовательские работы. Тематика работ представлена в табл 1.

Таблица 1

Тематика лабораторных работ

Номер работы	Тематика работы	Объем работы (час)	Примечания
№ 1	Рафинирование алюминиевых сплавов солями бария.	4	
№ 2	Рафинирование алюминиевых сплавов солями натрия.	4	
№ 3	Рафинирование алюминиевых сплавов солями калия.	4	
№4	Рафинирование алюминиевых сплавов смесью солей	5	

## **ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ**

**Цель:** Изучение рафинирования алюминия с применением математического моделирования при планировании экспериментов на трех уровнях факторов.

На первом занятии студенты должны ознакомиться с правилами техники безопасности и внутреннего распорядка лаборатории. После ознакомления студенты должны расписаться в контрольном листе по технике безопасности.

Без росписи в контрольном листе студенты к занятиям не допускаются.

Результаты проведенных работ оформляются в виде отчета.

Отчет по работам должен содержать:

- титульный лист;
- общие сведения по очистке алюминиевых сплавов;
- общие сведения о солях натрия, калия, бария;
- описание методики и проведения работ;
- рассчитанные и определенные значения;
- анализ полученных значений и результатов.

Работы должны оформляться на стандартных листах согласно требованиям действующих ГОСТ на оформление текстовых документов. Обозначение рисунков и таблиц должно быть сквозное по тексту.

## ПРИМЕНЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Огнеупорные тигли; электрическая печь сопротивления; формы для заливки металла, алюминий; соли натриевые.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

1. Произвести расчет объема заполнения тиглей с учетом удельного веса материалов.
2. Произвести плавку хлорида натрия в тигельной печи. ( $T_{\text{пл}} = 800^{\circ}\text{C}$ ).
3. Произвести плавку в другой тигельной печи алюминиевого сплава.  
( $T_{\text{пл}} = 700^{\circ}\text{C}$ ).
4. Залить пробу металла.
5. Перегреть оставшийся расплав металла до температуры  $T = 800^{\circ}\text{C}$ .
6. Влить расплав алюминия в расплавленную соль, при этом тигель с расплавом соли подвергать вибрации.
7. После прохождения соли через металл и скопления расплава соли на поверхности металла, вылить расплав соли вместе с расплавом металла в тигель, в котором плавил алюминий.
8. Расплавленную соль слить с жидкого металла.
9. Залить полученный образец металла.
10. Провести сравнительный анализ пробного образца с полученным образцом.
11. Заполнить табл. 2.



Таблица 2

## Взаимодействие алюминия с солями

№ эксп.	Соль	Наблюдения	Выводы

12. По данным экспериментов, вычислить дисперсию опытов по программе, построить математическую модель.

**АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Применительно к использованию ЭВМ разработан следующий алгоритм математического моделирования:

1. Начало выполнения программы, ввод количества опытов по плану, величин факторов на принятых уровнях и показателей степени в уравнении регрессии.
2. Расчет коэффициентов ортогонализации.
3. Ввод величин показателей процесса.
4. Расчет коэффициентов регрессии до их анализа.
5. Ввод количества опытов на среднем уровне факторов.
6. Расчет показателей до анализа коэффициентов регрессии.
7. Выявление дисперсии опытов, расчетных величин t-критерия для каждого коэффициента регрессии.

8. Ввод табличного t-критерия.
9. Выявление статистически значимых коэффициентов регрессии.
10. Ввод табличного F-критерия.
11. Расчет показателей после анализа коэффициентов регрессии.
12. Выявление расчетной величины F-критерия и адекватности модели.
13. Выполнение расчетов по модели и проверка точности модели.
14. Вычисления показателей по математической модели с использованием циклов и построение графиков.
15. Конец выполнения программы.

**ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ  
МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ**

План  $3^1$  ( $X = 3$ )

Таблица 3

Номер опыта	Факторы		Показатель Y(J)
	F(J)	H(J)	
1	A1	B1	Y(1)
2	B1	E1	Y(2)
3	A1	E1	Y(3)

## ТАБЛИЦА СИСТЕМНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Системное представление для анализов результатов расчетов по математическим моделям при планировании 3<sup>1</sup>

Таблица 4

Номера зависимостей и результатов	Факторы		Показатели		
			действительные величины	относительные величины	
1	2	3	4	5	
1	1.1	A1	A2	Z(1)	Z1(1)
	1.2	B1	A2	Z(4)	Z1(4)
	1.3	A1	B2	Z(7)	Z1(7)
2	2.1	B1	B2	Z(2)	Z1(2)
	2.2	A1	E2	Z(5)	Z1(5)
	2.3	B1	E2	Z(8)	Z1(8)
3	3.1	E1	A1	Z(3)	Z1(3)
	3.2	E1	B2	Z(6)	Z1(6)
	3.3	E1	E2	Z(9)	Z1(9)

### ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для запуска программы WN3 на решение в Microsoft QuickBASIC v4.5 необходимы следующие действия:

В меню «File» выбираем пункт «Open Program...» путем нажатия клавиши «Enter» («Ввод») на клавиатуре или щелчком левой кнопки мыши.

В открывшемся окне выбираем файл «NW3.BAS» путем нажатия клавиши «Enter» («Ввод») на клавиатуре или щелчком левой кнопки мыши.

В области ввода программного кода открывается текст программы NW3

В меню «Run» выбираем пункт «Start...» путем нажатия клавиши «Enter» («Ввод») на клавиатуре или щелчком левой кнопки мыши.

Открывается окно ввода данных.

Алгоритм действий пользователя, направленный на реализацию примера математического моделирования по приведенной программе NW3, приведен в табл. 5.

Таблица 5

Сообщение на экране монитора	Вводимые величины <sup>1</sup>	Комментарий
Ввод имени файла	NW31	Возможно введение произвольного имени файла
Ввод X-количество опытов по плану	3	$X=16=4^2$ , т. к. производится планирование экспериментов на четырех уровнях
Ввод A1,E1,B1	0.6,1,1.4	Ввод величин факторов и показателей степени производится через запятую без пробелов
Ввод,J1,O1	1,2	Ввод производится через запятую без пробелов
IF I0=6 GOTO 40-НАЧАЛО	7	Если предыдущие значения величин введены не верно, то

IF I0=7 GOTO 1160- ПРОДОЛЖЕНИЕ		вводится 6; если верно, то 7
Y(1)	2	Ввод производится через точку
Y(2)	12..5	
Y(3)	6	Ввод производится через точку
IF I0=1 GOTO 1160- ПОВТОРИТЬ ВВОД ПОКАЗАТЕЛЕЙ  IF I0=2 GOTO 1270- ПРОДОЛЖЕНИЕ	2	Если предыдущие значения величин введены не верно, то вводится 1; если верно, то 2
Ввод N0-количество опытов на среднем уровне факторов	4	N0 = 4
Ввод F8=N0-1	3	F8 = 4 - 1 = 3
Ввод I0	4	Ввод дисперсии опытов
Ввод U9 – ввод дисперсии опытов	0.1667	Ввод производится через точку
Ввод T0 – табличный T- критерий	3.182	Ввод производится через точку
Ввод F7 – табличный F- критерий	8.69	Ввод производится через точку
АДЕКВАТНО  IF I0=7 GOTO 3240 – проверка точности и расчеты по модели  IF I0=8 GOTO 40 – начало  IF I0=17 GOTO 4880 – математическая модель  IF I0=22 GOTO 7000 –	17	

<p>вычисления показателей <math>Z(K5)</math> с использованием циклов и построение графиков</p> <p>IF I0=9 GOTO 6830 – конец</p>		
<p>IF I0=18 GOTO 2660 – переходы</p> <p>IF I0=19 GOTO 3190 – переходы</p> <p>IF I0=35 GOTO 1160 – ввод новых <math>Y(J)</math></p> <p>IF I0=44 GOTO 6830 – конец</p> <p>IF I0=50 GOTO 40 – начало</p> <p>IF I0=51 GOTO 3240 – проверка точности и расчеты по модели</p> <p>IF I0=52 GOTO 7000 – вычисления показателей <math>Z(K5)</math> с использованием циклов и построение графиков</p>	51	
Ввод F(1),H(1)	0,583	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(2),H(2)	100,583	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(3),H(3)	50,293	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(4),H(4)	50,873	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(5),H(5)	50,583	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(6),H(6)	50,438	Ввод производится через

		запятую без пробелов
Ввод F(7),H(7)	50,728	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(8),H(8)	25,583	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(9),H(9)	75,583	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(10),H(10)	0,486	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(11),H(11)	100,486	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод F(12),H(12)	0,680	Ввод производится через запятую без пробелов
Ввод I0	14	Вычисление показателей Z(K5) с использованием циклов и построение графиков
ВВОД I0=61 GOTO 7360	61	
ВВОД ПРИНЯТЫХ ВЕЛИЧИН X,F3,F4,H3,H4	10,10,0,200,80	Для использования циклов и построения графиков. Ввод производится через запятую без пробелов
ВВОД I0=90-ПРОДОЛЖЕНИЕ	90	
IF I0=80 GOTO 9000- ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА	80	
ВВОД X0,Y0,K0,K3	20,180,50,100	Ввод производится через запятую без пробелов

<sup>1</sup> Для перехода к следующей команде после каждой последовательности данных обязательно нажимается клавиша «Enter».

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ NW3,

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ ПО ПЛАНУ

$X = 3$

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНИ

$A1 = .6 \quad E1 = 1 \quad B1 = 1.4$

$J1 = 1 \quad O1 = 2$

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ

$V1 = -1 \quad U1 = -1.999999 \quad Q1 = .8933322$

ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНОМ  $Y(J)$

$Y(1) = 2$

$Y(2) = 12.5$

$Y(3) = 6$

В(J) ДО АНАЛИЗА

$V(1) = 6.833333$

$V(2) = 13.125$

$V(3) = 7.812728$

КОЛИЧЕСТВО ОПЫТОВ НА СРЕДНЕМ УРОВНЕ ФАКТОРОВ

$N0 = 4$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  $Z(J)$  ДО АНАЛИЗА В(J)

$Z(1) = 2.000009$

$Z(2) = 12.50002$

$Z(3) = 5.999976$



$$F8=N0-1= 3$$

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ  $Y(J)-Z(J)$

В ПРОЦЕНТАХ  $(Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))$

$$Y( 1 )-Z( 1 )=-8.583069E-06$$

$$(Y( 1 )-Z( 1 )) * (100 / Y( 1 )) = -4.291534E-04$$

$$Y( 2 )-Z( 2 )=-1.525879E-05$$

$$(Y( 2 )-Z( 2 )) * (100 / Y( 2 )) = -1.220703E-04$$

$$Y( 3 )-Z( 3 )= 2.43187E-05$$

$$(Y( 3 )-Z( 3 )) * (100 / Y( 3 )) = 4.053116E-04$$

ДИСПЕРСИЯ ОПЫТОВ  $U9= .09$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ  $T(J)$

$$T( 1 )= 39.45227$$

$$T( 2 )= 24.74874$$

$$T( 3 )= 3.402168$$

ТАБЛИЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ  $T0= 3.182$

$V(J)$  ПОСЛЕ АНАЛИЗА

$$V( 1 )= 6.833333$$

$$V( 2 )= 13.125$$

$$V( 3 )= 7.812728$$

КОЛИЧЕСТВО СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ

КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГРЕССИИ  $K9= 3$

$$F9=X-1$$

$$F9= 2$$

ТАБЛИЧНЫЙ F-КРИТЕРИЙ  $F7= 9.55$

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ  $Z(J)$  ПОСЛЕ АНАЛИЗА  $V(J)$

$$Z( 1 )= 2.000009$$

$$Z(2) = 12.50002$$

$$Z(3) = 5.999976$$

ПРОВЕРКА ПО РАЗНОСТИ  $Y(J)-Z(J)$

В ПРОЦЕНТАХ  $(Y(J)-Z(J)) * (100/Y(J))$

$$Y(1)-Z(1) = -8.583069E-06$$

$$(Y(1)-Z(1)) * (100 / Y(1)) = -4.291534E-04$$

$$Y(2)-Z(2) = -1.525879E-05$$

$$(Y(2)-Z(2)) * (100 / Y(2)) = -1.220703E-04$$

$$Y(3)-Z(3) = 2.43187E-05$$

$$(Y(3)-Z(3)) * (100 / Y(3)) = 4.053116E-04$$

РАСЧЕТНАЯ ВЕЛИЧИНА F-КРИТЕРИЯ  $F_6 = 4.988326E-09$

АДЕКВАТНО, ТАК КАК  $F_6 \leq F_7$

СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

ДЛЯ АНАЛИЗОВ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ

$Z_1(J) = Z(J)/(S/X)$ , ГДЕ S-СУММА

АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОКАЗАТЕЛЕЙ,  $S = 20.5$

S/X-СРЕДНЯЯ АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА,  $S/X = 6.833333$

$$1.1. A_1 = .6 \quad Z(1) = 2.000009 \quad Z_1(1) = .2926842$$

$$1.2. E_1 = 1 \quad Z(3) = 5.999976 \quad Z_1(3) = .8780452$$

$$1.3. B_1 = 1.4 \quad Z(2) = 12.50002 \quad Z_1(2) = 1.82927$$

РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

$$\text{ФАКТОР } F(1) = .5$$

$$Z(1) = 1.390653$$

$$\text{ФАКТОР } F(2) = .7$$

$$Z(2) = 2.765618$$

$$\text{ФАКТОР } F(3) = .8$$

$$Z(3) = 3.687483$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$Z(J) = 6.833333 + 13.125 * I(J) + 7.812728 * K(J),$$

ГДЕ

$$I(J) = F(J)^{1+1};$$

$$K(J) = F(J)^2 + -1.999999 * F(J)^1 + .8933322$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР

РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

$$\text{ФАКТОР } F(1) = .9$$

$$Z(1) = 4.765602$$

$$\text{ФАКТОР } F(2) = 1.1$$

$$Z(2) = 7.390604$$

$$\text{ФАКТОР } F(3) = 1.2$$

$$Z(3) = 8.937488$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$Z(J) = 6.833333 + 13.125 * I(J) + 7.812728 * K(J),$$

ГДЕ

$$I(J) = F(J)^{1+1};$$

$$K(J) = F(J)^2 + -1.999999 * F(J)^1 + .8933322$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР

РАСЧЕТЫ ПО МОДЕЛИ

$$\text{ФАКТОР } F(1) = 1.3$$

$$Z(1) = 10.64062$$

$$\text{ФАКТОР } F(2) = 1.5$$

$$Z(2) = 14.51566$$

$$\text{ФАКТОР } F(3) = 1.7$$

$$Z(3) = 19.01572$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$Z(J) = 6.833333 + 13.125 * I(J) + 7.812728 * K(J),$$

ГДЕ

$$I(J) = F(J)^{1+1};$$

$$K(J) = F(J)^2 + -1.999999 * F(J)^1 + .8933322$$

ОБОЗНАЧЕНИЕ: F(J)- 1-й ФАКТОР

ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ Z(K5)

ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОВ

И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ

$$\text{ФАКТОР } F(1) = F3 + F4$$

F4-ШАГ ПРИРАЩЕНИЯ ФАКТОРА

X-КОЛИЧЕСТВО ЗНАЧЕНИЙ ФАКТОРА

$$X = 10 \quad F3 = .5 \quad F4 = .25$$

$$F(1) = .75$$

$$Z(1) = 3.207019$$

$$F(2) = 1$$

$$Z(2) = 5.999976$$

$$F(3) = 1.25$$

$$Z(3) = 9.769524$$

$$F(4) = 1.5$$

$$Z(4) = 14.51566$$

$$F(5) = 1.75$$

$$Z(5) = 20.23839$$

$$F(6) = 2$$

$$Z(6) = 26.93771$$

$$F(7) = 2.25$$

$$Z(7) = 34.61362$$

$$F(8) = 2.5$$

$$Z(8) = 43.26613$$

$$F(9) = 2.75$$

$$Z(9) = 52.89522$$

$$F(10) = 3$$

$$Z(10) = 63.5009$$

ВЫЯВЛЕНИЕ MAX Z(K5) И MIN Z(K5)

$$\text{MAX } Z(K5) = 63.5009$$

$$\text{MAX } Z(10) = 63.5009$$

$$\text{MIN } Z(K5) = 3.207019$$

$$\text{MIN } Z(1) = 3.207019$$

$$\text{MIN } Z(K5) = K7, \text{ MAX } Z(K5) = K8$$

$$K6(K5) = (Z(K5) + \text{ABS}(K7)) / (\text{ABS}(K7) + \text{ABS}(K8))$$

$$K6(1) = 9.615106E-02$$

$$K6(2) = .1380195$$

$$K6(3) = .1945278$$

$$K6(4) = .2656758$$

$$K6(5) = .3514636$$

$$K6(6) = .4518913$$

$$K6(7) = .5669588$$

$$K6(8) = .6966661$$

$$K6(9) = .8410131$$

$$K6(10) = 1$$

$$J5 = \text{ABS}(K7) / (\text{ABS}(K7) + \text{ABS}(K8))$$

$$J5 = 4.807553\text{E}-02$$

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА

ЗАВИСИМОСТЬ  $K6(K5)$  ОТ ФАКТОРА

$K6(K5)$ -ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ПОКАЗАТЕЛЯ

$K5$ -НОМЕР ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРА И ПОКАЗАТЕЛЯ

ВЕЛИЧИНЫ ФАКТОРОВ ЗАДАНЫ

$X0 = 20$   $Y0 = 180$   $K0 = 50$   $K3 = 100$  , ГДЕ

$X0$ -ОТСТУП ВПРАВО ПО ОСИ  $X$

$Y0$ -ОТСТУП ВНИЗ ПО ОСИ  $Y$

$K0$ -ДЛИНА ГРАФИКА ПО ОСИ  $X$

$K3$ -ВЫСОТА ГРАФИКА ПО ОСИ  $Y$

$$1.1. A1 = .6 \quad Z(1) = 3.207019 \quad Z1(1) = .2926842$$

$$1.2. E1 = 1 \quad Z(3) = 9.769524 \quad Z1(3) = .8780452$$

$$1.3. B1 = 1.4 \quad Z(2) = 5.999976 \quad Z1(2) = 1.82927$$

## **Правила работы и техника безопасности в литейной лаборатории**

1. К выполнению работы допускаются только студенты, которые прошли инструктаж по технике безопасности. Приступая к выполнению любой технологической операции необходимо ясно представлять все ее детали и последовательность выполнения стадий, принять необходимые меры предосторожности. Опыты можно проводить только с разрешения и в присутствии преподавателя или лаборанта.
2. Для работы студенту выделяется рабочее место, которое он должен содержать в чистоте и порядке.
3. Запрещается пробовать на вкус любые вещества, находящиеся в лаборатории, а также принимать пищу.
4. При работе с электрооборудованием и силовыми щитками следует ознакомиться с правилами работы и строго соблюдать требования техники безопасности.
5. При работе в лаборатории возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных производственных факторов:
  - термические ожоги при нагревании и плавке металла;
  - травматизм от движущихся механизмов;
  - порезы рук при небрежном обращении с лабораторной посудой и приборами из стекла;
  - поражение электрическим током при работе с электроустановками;
  - возникновение пожара при неаккуратном обращении с легковоспламеняющимися материалами;

6. При работе в лаборатории должна использоваться следующая спецодежда и средства индивидуальной защиты: халат хлопчатобумажный, костюм термиста, респираторы, защитные очки и маски.
7. В процессе работы соблюдать правила ношения спецодежды, пользования средствами индивидуальной защиты, соблюдать правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

### **Требования безопасности перед началом работы**

1. Надеть спецодежду, подготовить средства индивидуальной защиты.
2. Подготовить к работе необходимое оборудование и приборы, проверить их исправность, убедиться в наличии заземления электроустановок.
3. Проветрить помещение лаборатории.
4. Внимательно изучить содержание и порядок проведения работы, а также безопасные приемы её выполнения.

### **Требования безопасности по окончании работы**

1. Привести в порядок рабочее место: убрать шлак и всплески металла, инструмент и приспособления очистить и убрать на отведенное место.
2. Спец. одежду хранить в соответствии с порядком, установленном в лаборатории
3. После проведения опытов необходимо тщательно вымыть лицо и руки с мылом.

### **Оказание первой помощи**

При тепловых ожогах кожу обрабатывают 3% раствором перманганата калия и затем мазью от ожогов.



При порезах стеклом следует удалить осколки из раны, обработать ее спиртовым раствором йода и перевязать.

При поражении электрическим током, не прикасаясь к пострадавшему, обесточивают систему и вызывают врача.

Хранится у зав. лабораторией (мастерской)

**КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТ**

**инструктажа студентов по технике безопасности**

Факультет \_\_\_\_\_ Курс \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_

Фамилия должность проводившего инструктаж \_\_\_\_\_

Дата проведения инструктажа \_\_\_\_\_ Инструкция по технике безопасности в лаборатории

\_\_\_\_\_ проработана, дополнительный инструктаж от \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ получен и усвоен, в чем расписываемся:

№п/п	Фамилия, имя, отчество	Роспись	Примечание

Инструктаж по технике безопасности провел \_\_\_\_\_

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как влияют состав и структура алюминиевых сплавов на литейные и механические свойства сплавов?
2. Как взаимодействуют алюминий и его сплавы с газами?
3. Какое содержание легирующих элементов влияет на растворимость водорода в расплавленном металле?
4. Как хлориды взаимодействуют с расплавами алюминия?
5. При каких температурах возможна диссоциация продуктов сгорания?
6. Как зависит выбор интенсивности вибрации на поверхность контакта расплавленной соли с расплавленным металлом?
7. Зачем надо моделировать процессы?
8. Как выявляются математические модели?
9. Почему усложняется математическая модель по мере увеличения количества факторов, влияющих на показатель процесса, и количества уровней фактора при планировании экспериментов?
10. Какие выполняются расчеты по математической модели?
11. Зачем надо анализировать результаты расчетов по математическим моделям?
12. Как упростить анализ результатов расчетов по математическим моделям?
13. Надо ли сравнивать результаты расчетов по моделям с практическими данными?
14. Какие преимущества достигаются при математическом моделировании, с чем связана экономическая эффективность моделирования?
15. Почему результаты анализов математического моделирования и расчетов по математическим моделям помещены в файл?
16. В каких случаях результаты математического моделирования положительно влияют на разработку прогнозных рекомендаций?

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Укажите изменения при переходе тел из твердого состояния в жидкое.
2. Назовите термодинамические свойства солевых расплавов.
3. Укажите ионное строение эвтектических смесей расплавленных солей.
4. Назовите термодинамические параметры плавления алюминия и его сплавов.
5. Назовите методы определения чистоты алюминия и алюминиевых сплавов.
6. Рассчитайте поверхностное натяжение смесей расплавленных солей.
- 7.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО РАФИНИРОВАНИЮ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>3</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....</b>	<b>5</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ.....</b>	<b>7</b>
<b>ПРИМЕНЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ .....</b>	<b>8</b>
<b>ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.....</b>	<b>8</b>
<b>АЛГОРИТМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....</b>	<b>9</b>
<b>ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ.....</b>	<b>10</b>
<b>ТАБЛИЦА СИСТЕМНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ.....</b>	<b>11</b>
<b>ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....</b>	<b>11</b>
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....</b>	<b>16</b>
<b>Правила работы и техника безопасности в литейной лаборатории .....</b>	<b>23</b>
<b>Требования безопасности перед началом работы.....</b>	<b>24</b>
<b>Требования безопасности по окончании работы.....</b>	<b>24</b>
<b>Оказание первой помощи.....</b>	<b>25</b>

<b>КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТ инструктажа студентов по технике безопасности .....</b>	<b>26</b>
<b>КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....</b>	<b>27</b>
<b>ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....</b>	<b>28</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>32</b>

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черный А.А. Математическое моделирование применительно к литейному производству: Учебн. пособие/ А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 1998. – 121 с.
2. Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на трех уровнях факторов: Учеб. пособие.- Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2006. – 73 с
3. Черный А.А. Математическое моделирование при планировании экспериментов на трех, четырех, пяти уровнях фактора и при неодинаковом количестве уровней первого и второго фактора: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. - 53 с.
4. Математическое моделирование в литейном производстве: Учеб. пособие/Сост. ЧерныйА.А. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007. – 192 с
5. Математическое моделирование в литейном производстве: рабочая программа и метод. указ. к практическим работам./ Сост. А.А. Черный.–Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005.–20 с.
6. Вычислительная техника в инженерных расчетах: рабочая программа и метод.указ. к лабораторным, практическим и курсовым работам./ Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 39 с.
7. Принципы инженерного творчества: рабочая программа и метод.указ. к практическим работам./ Сост. А.А. Черный. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.ун-та, 2005. – 16 с.
8. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методом планирования экспериментов/ Ф.С. Новик, А.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: техника, 1980. – 304 с.
9. Адамсон А., Физическая химия поверхностей, пер. с англ., М., 1979.
10. Шукин Е.Д., ПерцовА.В., Амелина Е.А., Коллоидная химия, М., 1982.

11. Уббелоде А.Р. Расплавленное состояние вещества. Пер. с англ. М., «Металлургия», 1982. - 376с.с ил.
12. Гуляев А.П. Металловедение, М.: Metallurgy, 1965. - 480с.
13. Черный А.А. Компьютерные дополненные программы математического моделирования и расчетов по математическим моделям: Учебное пособие/ А.А. Черный – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2008. – 356с.
14. Черный А.А. Системный анализ результатов расчетов по математическим моделям: учебное пособие / А.А. Черный. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007. – 143 с.



*Татьяна Анатольевна Дурина*

*Анатолий Алексеевич Черный*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Методическое пособие

---

Издательство Пензенского государственного университета.

440026, Пенза, Красная, 40.