

Министерство образования и науки Российской Федерации
Курганский государственный университет
Кафедра "Инноватика и менеджмент качества"

**МНОГОФАКТОРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Контрольные задания

по дисциплине

«Планирование и организация эксперимента»

для студентов специальности 200503 – Стандартизация и сертификация

Курган

Кафедра: " Инноватика и менеджмент качества "

Дисциплина: «Планирование и организация эксперимента»

Составитель: канд. техн. наук, доцент В.Ф. Губанов

Утверждены на заседании кафедры «____» _____ 20__ г.

Рекомендованы методическим советом университета «____» _____ 20__ г.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, теоретические зависимости, связывающие входные параметры того или иного процесса, которые на него влияют (факторы) и выходные параметры процесса (функции отклика), достаточно «сложно» получать, если одновременно учитывается большое число факторов. Поэтому на практике широко применяются методы планирования эксперимента и обработки экспериментальных данных, которые, вероятно, еще долго будут использоваться при исследовании различных процессов, что обуславливается сложностью, многообразием и в определенном смысле «неоднозначностью» физических явлений и их последствий для многих реальных процессов, например, при выглаживании деталей машин.

Следовательно, для реальных производственных условий, во многих случаях, быстрее и дешевле воспользоваться традиционными способами получения эмпирических формул, чем разрабатывать теоретические модели или хотя бы теоретико-экспериментальные.

Исходя из вышесказанного, целью контрольных заданий является обучение студентов применению математического аппарата обработки экспериментальных данных при достаточно распространенном многофакторном планировании экспериментов первого порядка.

На примере процесса выглаживания приводятся данные, отражающие количественные связи между режимами и условиями выглаживания и параметрами качества поверхностного слоя выглаженных деталей. При этом в зависимости от номера задания, рассматривается обработка данных полного факторного эксперимента или дробного факторного эксперимента.

В ходе выполнения контрольных заданий студенты должны определить коэффициенты уравнения регрессии и проверить адекватность уравнения регрессии.

Математический аппарат, необходимый для решения поставленной задачи, приведен в работе [1].

Задание 1

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной стали (сглаживающий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - Ra , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ) [2].

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	25	0,1	650
Нижний (-1)	10	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg Ra)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,854
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1,301
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,611
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,870
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,796
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1,187
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,569
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,824

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg Ra)$
1	-0,870
2	-0,886
3	-0,854
4	-0,854
5	-0,886
6	-0,870

Задание 2

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной стали (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - Ra , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ) [2].

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	40	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg Ra)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1,222
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1,046
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1,097
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,870
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1,125
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,959
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1,022
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,810

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg Ra)$
1	-0,979
2	-0,979
3	-1,000
4	-0,979
5	-1,000
6	-0,979

Задание 3

Для реализации многофакторной регрессионной модели $H_{\mu} = f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной стали (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и микротвердостью поверхности - H_{μ} , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ) [2].

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений H_{μ} (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	40	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg H_{\mu})$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	3,480
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	3,602
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	3,447
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	3,509
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	3,474
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	3,598
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,441
8	1	1	1	1	1	1	1	1	3,504

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg H_{\mu})$
1	3,511
2	3,511
3	3,512
4	3,511
5	3,511
6	3,511

Задание 4

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - Ra , был спланирован и поставлен эксперимент (220-250 НВ) [2].

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	60	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg Ra)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,839
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,668
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,648
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,495
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,770
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,620
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,602
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,462

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg Ra)$
1	-0,602
2	-0,593
3	-0,602
4	-0,602
5	-0,611
6	-0,611

Задание 5

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - Ra , был спланирован и поставлен эксперимент (220-250 НВ) [2].

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	40	0,1	650
Нижний (-1)	10	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg Ra)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,502
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,921
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,276
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,538
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,481
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,870
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,268
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,523

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg Ra)$
1	-0,553
2	-0,545
3	-0,545
4	-0,561
5	-0,561
6	-0,545

Задание 6

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталию (сглаживающий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_{\max} , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	25	0,1	650
Нижний (-1)	10	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_{\max})$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,269
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,717
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,026
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,285
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,211
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,602
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,016
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,239

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_{\max})$
1	-0,285
2	-0,301
3	-0,269
4	-0,269
5	-0,301
6	-0,285

Задание 7

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p=f(h_z, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью (сглаживающий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_z), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_p , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_z , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	25	0,1	650
Нижний (-1)	10	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_p)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,446
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,893
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,203
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,461
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,387
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,777
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,161
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,416

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_p)$
1	-0,461
2	-0,478
3	-0,446
4	-0,446
5	-0,478
6	-0,461

Задание 8

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталию (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_{\max} , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	40	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_{\max})$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,636
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,461
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,511
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,285
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,541
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,374
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,438
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,225

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_{\max})$
1	-0,394
2	-0,394
3	-0,415
4	-0,394
5	-0,415
6	-0,394

Задание 9

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной стали (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_p , был спланирован и поставлен эксперимент (180-220 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	40	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_p)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,812
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,638
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,688
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,461
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,717
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,550
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,614
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,401

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_p)$
1	-0,570
2	-0,570
3	-0,592
4	-0,570
5	-0,592
6	-0,570

Задание 10

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_{\max} , был спланирован и поставлен эксперимент (220-250 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	60	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_{\max})$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,253
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,082
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,063
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,090
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,184
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,035
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,017
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,123

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_{\max})$
1	-0,017
2	-0,008
3	-0,017
4	-0,017
5	-0,026
6	-0,026

Задание 11

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p = f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающе-упрочняющий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_p , был спланирован и поставлен эксперимент (220-250 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	100	0,1	650
Нижний (-1)	60	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_p)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,429
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,253
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-0,240
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,086
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,361
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,211
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-0,192
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,054

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_p)$
1	-0,193
2	-0,185
3	-0,193
4	-0,193
5	-0,203
6	-0,201

Задание 12

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_{\max} , был спланирован и поставлен эксперимент (220-250 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	40	0,1	650
Нижний (-1)	10	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_{\max})$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,087
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,335
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,309
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,047
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,103
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,293
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,317
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0,062

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_{\max})$
1	0,032
2	0,040
3	0,040
4	0,021
5	0,024
6	0,040

Задание 13

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p = f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающий режим), отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n) и параметром шероховатости - R_p , был спланирован и поставлен эксперимент (220-250 НВ).

Была реализована реплика 2^3 . Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы		
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3
Верхний (1)	40	0,1	650
Нижний (-1)	10	0,05	150

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$y(\lg R_p)$
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-0,090
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-0,511
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,133
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,123
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-0,073
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-0,481
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,134
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,114

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(\lg R_p)$
1	-0,158
2	-0,135
3	-0,137
4	-0,156
5	-0,148
6	-0,137

Задание 14

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Sm=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости - Sm , был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Sm (мкм) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,14	630	3	27
Нижний (-)	25	0,07	200	1	18

Таблица 2

План эксперимента																	
№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	Sm
	1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	73
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	44
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	47
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	89
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	23
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	40
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	15
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	57
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	47
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	42
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	19
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	16
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	13
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	20
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	22

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y (Sm)
1	37
2	37
3	35
4	36
5	36
6	37

Задание 15

Для реализации многофакторной регрессионной модели $H\mu=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и микротвердостью поверхности - $H\mu$, был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений $H\mu$ (МПа) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,14	630	3	27
Нижний (-)	25	0,07	200	1	18

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y (Hμ)
1	3260
2	3300
3	3280
4	3270
5	3280
6	3300

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	$H\mu$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	2800
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	4240
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	2730
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	3330
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	2850
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	4080
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	2770
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	3260
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	2870
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	4190
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	2910
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	3400
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	2890
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	4100
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	2830
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3440

Задание 16

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости - Ra , был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (мкм) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,097	160	2	42
Нижний (-)	25	0,07	50	1,6	29

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	Ra
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	0,045
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0,125
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	0,425
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	0,165
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	0,215
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	0,095
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	0,345
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	0,315
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	0,185
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	0,120
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	0,075
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	0,355
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	0,490
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	0,375
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	0,640
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,750

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y (Ra)
1	0,315
2	0,290
3	0,285
4	0,305
5	0,310
6	0,310

Задание 17

Для реализации многофакторной регрессионной модели $S_m=f(h_3, s_0, n, Ra_u, S_{mi})$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Ra_u (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), S_{mi} (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости - S_m , был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений S_m (мкм) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	R_{au} , мкм	S_{mu} , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,097	160	2	42
Нижний (-)	25	0,07	50	1,6	29

Таблица 2

План эксперимента																	
№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	S_m
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	11,9
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	3,6
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	5,7
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	6,4
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	4,4
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	5,6
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	11,4
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	11,4
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	8,1
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	4,6
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	2,7
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	13,2
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	5,4
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	6,9
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	27,8
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	9,3

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y (Sm)
1	8,2
2	7,6
3	8,9
4	8,4
5	9,1
6	9,3

Задание 18

Для реализации многофакторной регрессионной модели $H_{\mu}=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и микротвердостью поверхности - H_{μ} , был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений H_{μ} (МПа) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,097	160	2	42
Нижний (-)	25	0,07	50	1,6	29

Таблица 2

План эксперимента																	
№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	H_{μ}
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	2990
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	4560
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	3040
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	3640
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	2950
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	4300
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	2960
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	3500
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	3030
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	4490
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	3170
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	3740
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	3000
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	4300
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	3050
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	3640

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y (Н μ)
1	3530
2	3510
3	3510
4	3520
5	3540
6	3520

Задание 19

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R(0)=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и мощностью вибросигнала - $R(0)$, был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений $R(0)$ ($smpl^2$) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	s_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,097	160	2	42
Нижний (-)	25	0,07	50	1,6	29

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y ($R(0)$)
1	66523
2	64786
3	65592
4	63876
5	66421
6	65107

Таблица 2

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	$R(0)$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	1425
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	29271
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	6116
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	7134
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	67866
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	157502
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	44026
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	160878
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	3410
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	1650
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	4762
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	4103
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	19127
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	59295
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	73405
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	407529

Задание 20

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R(0)=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и мощностью вибросигнала - $R(0)$, был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений $R(0)$ (смпл^2) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,14	630	3	27
Нижний (-)	25	0,07	200	1	18

План эксперимента

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	$R(0)$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	53467
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	28995
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	222743
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	158161
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	311513
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	2697392
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	2244840
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	2556029
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	712272
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	514009
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	163160
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	415214
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	1156584
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	3231030
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	2610450
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1199692

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	$y(R(0))$
1	1144231
2	1143870
3	1147123
4	1140732
5	1142453
6	1145063

Задание 21

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости - R_{\max} , был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1 = x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (мкм) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , МКМ	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	R_{au} , МКМ	S_{mi} , МКМ
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,097	160	2	42
Нижний (-)	25	0,07	50	1,6	29

Таблица 2

План эксперимента																	
№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	R_{max}
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	0,175
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0,483
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	1,682
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	0,659
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	0,848
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	0,369
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	1,392
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	1,214
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	0,743
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	0,464
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	0,29
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	1,366
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	1,912
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	1,479
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	2,572
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2,897

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	y (R_{max})
1	0,975
2	1,182
3	1,165
4	1,234
5	1,172
6	1,023

Задание 22

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p=f(h_3, s_0, n, R_{au}, S_{mi})$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), по-

дачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smi (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости - Rp , был спланирован и поставлен эксперимент.

Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Rp (мкм) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smi , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,097	160	2	42
Нижний (-)	25	0,07	50	1,6	29

Таблица 2

План эксперимента																	
№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	Rp
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	0,114
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	0,310
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	1,101
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	0,417
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	0,538
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	0,245
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	0,891
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	0,782
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	0,489
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	0,306
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	0,188
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	0,875
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	1,226
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	0,952
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	1,628
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,919

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$
(опыты на нулевом уровне)

Номер опыта	1	2	3	4	5	6
y (Rp)	0,712	0,819	0,756	0,742	0,798	0,721

ПРИМЕР

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n, Rau, Smu)$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя Rau (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), Smu (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости - Ra , был спланирован и поставлен эксперимент, учитывающий результаты предварительных поисковых экспериментов.

На первом этапе исследования была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $I=x_1x_2x_3x_4x_5$. Интервалы варьирования принимались, исходя из реальных пределов колебания значений факторов, определенных в результате предварительных поисковых экспериментов.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (мкм) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , мкм	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , мкм	Smu , мкм
Кодированное обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний (+)	75	0,14	630	3	27
Нижний (-)	25	0,07	200	1	18

Таблица 2

План эксперимента																	
№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	$y (Ra)$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	0,290
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0,295
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	0,320
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	0,300
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	0,260
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	0,345
7	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	0,375
8	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	0,570
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	0,290
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	0,310
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	0,665
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	0,635
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	0,570
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	0,485
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	0,415
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,375

Все формулы, используемые в этом примере, взяты из работы [1].

Коэффициенты уравнения регрессии определяем по формулам

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}, \quad (1)$$

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot y_j}{N}, \quad (2)$$

$$b_{iu} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot x_{uj} \cdot y_j}{N}, \quad (3)$$

где $i = 1..k$ – номер фактора, j – номер опыта (строки в матрице планирования), N – количество опытов.

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
0,4063	0,0081	0,0506	0,0181	0,0619	-0,0025
b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	b_{23}	
0,0050	0,0113	-0,0250	-0,0794	-0,0413	
b_{24}	b_{25}	b_{34}	b_{35}	b_{45}	
0,0038	-0,0256	-0,0250	-0,0056	0,0144	

Дисперсию $s^2\{y\}$ определяем по шести параллельным опытам в центре плана, т.е. по результатам опытов, выполненных при нахождении факторов на основных уровнях (таблица 3, формула 4): $s^2\{y\}=0,00011$.

Таблица 3
Вспомогательная таблица для расчета дисперсии $s^2\{y\}$

Номер опыта	$y (Ra)$	$\langle y \rangle$	$y - \langle y \rangle$	$(y - \langle y \rangle)^2$
1	0,395	0,403	-0,008	0,000064
2	0,390		-0,013	0,000169
3	0,410		0,007	0,000049
4	0,395		-0,008	0,000064
5	0,415		0,012	0,000144
6	0,410		0,007	0,000049

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \langle y \rangle)^2}{n_0 - 1}, \quad (4)$$

где n_0 - число параллельных опытов в центре плана; y_u - значение функции отклика в u -м опыте; $\langle y \rangle$ - среднее арифметическое значение функции отклика в n_0 опытах.

Средняя квадратичная ошибка в определении коэффициентов уравнения регрессии для y оказалась следующей (формула 5):

$$S\{b_i\} = \sqrt{\frac{s^2\{y\}}{N}}. \quad (5)$$

$$S\{b_i\} = \sqrt{\frac{0,00011}{16}} = 0,0026.$$

Доверительный интервал для коэффициентов уравнения регрессии определяем по формуле 6 (табличное значение критерия Стьюдента при 5 % - м уровне значимости и числе опытов $n_0=6$: $t=2,57$):

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S\{b_i\}, \quad (6)$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента при числе опытов в центре плана - n_0 (приложение 1).

$$\Delta b_i = \pm 2,57 \cdot 0,0026 = \pm 0,0067.$$

В связи с тем, что коэффициенты $b_5, b_{12}, b_{24}, b_{35}$, по абсолютной величине меньше доверительного интервала, их можно признать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии.

Разность $b_0 - \langle y \rangle = 0,0033$ по абсолютной величине меньше ошибки опыта $s\{y\} = 0,01$, следовательно, коэффициенты при квадратичных членах значительно не отличаются от нуля, поэтому исследуемая зависимость с достаточной точностью может быть аппроксимирована неполной квадратичной моделью и не требуется переходить к квадратичной модели (хотя наблюдается высокая значимость коэффициентов при парных взаимодействиях).

Для проверки адекватности уравнения регрессии вычисляем дисперсию $S^2_{ад}$ адекватности (при числе значимых коэффициентов уравнения регрессии $z=12$), по формуле 7:

$$S^2_{ад} = \frac{\sum_{j=1}^N y_j^2 - N \cdot \sum_{i=1}^z b_i^2}{N - (k + 1)}. \quad (7)$$

$$S^2_{ад} = 0,00012.$$

Адекватность уравнения регрессии проверяем по F -критерию. Находим расчетное значение F -критерия (формула 8):

$$F_p = \frac{S^2_{ад}}{s_y^2}. \quad (8)$$

$$F_p = \frac{0,00012}{0,00011} = 1,14.$$

Табличное значение F -критерия при 5 %-м уровне значимости (при большей дисперсии - $S^2_{ад}$ с числом степеней свободы $f=N-(k+1)=16-(5+1)=10$; меньшей дисперсии - $s^2\{y\}$ с числом степеней свободы $f=n_0-1=6-1=5$) равно, примерно, 4,74 (приложение 2), и т.к. $F_p < F$, то модель адекватна.

Приложение 1

Значения критерия Стьюдента (t -критерия) при уровне значимости $\alpha=0,05$ для различного числа опытов (n_0)

n_0	t	n_0	t
2	12,71	19	2,10
3	4,30	20	2,09
4	3,18	21	2,09
5	2,78	22	2,08
6	2,57	23	2,07
7	2,45	24	2,07
8	2,36	25	2,06
9	2,31	26	2,06
10	2,26	27	2,06
11	2,23	28	2,05
12	2,20	29	2,05
13	2,18	30	2,04
14	2,16	31	2,04
15	2,14	41	2,02
16	2,13	61	2,00
17	2,12	121	1,98
18	2,11	∞	1,96

Приложение 2

Значения критерия Фишера (F -критерия) при уровне значимости $\alpha=0,05$

Число степеней свободы для меньшей дисперсии	Число степеней свободы дисперсии											
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	24	50	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	238,9	243,9	246,5	249,0	251,8	254,3
2	19,51	19,0	19,6	19,24	19,30	19,33	19,37	19,41	19,43	19,45	19,47	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,69	8,64	8,58	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,84	5,77	5,70	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,60	4,53	4,44	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,92	3,84	3,75	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,49	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,20	3,12	3,03	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,98	2,90	2,80	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,82	2,74	2,64	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,70	2,61	2,50	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,60	2,50	2,40	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,51	2,42	2,32	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,44	2,35	2,24	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,39	2,29	2,18	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,33	2,24	2,13	2,01
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,18	2,08	1,96	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,99	1,89	1,76	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,90	1,79	1,66	1,51
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,13	1,95	1,85	1,74	1,60	1,44
100	3,94	3,09	2,60	2,46	2,30	2,19	2,03	1,85	1,75	1,63	1,48	1,28
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,64	1,52	1,35	1,00

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
2. Марфицын В.В. Обеспечение параметров качества наружных поверхностей цилиндрических деталей при выглаживании инструментами из минералокерамики и термостойких сталей. – Дис... канд. техн. наук. – Курган, 2000. – 146 с.

Губанов Виктор Федорович

МНОГОФАКТОРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Контрольные задания

по дисциплине

«Планирование и организация эксперимента»

для студентов специальности 200503 – Стандартизация и сертификация

Редактор Н.М. Кокина

Подписано в печать
Печать трафаретная
Заказ

Формат 60x84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. 2,0
Тираж 70 экз.

Бумага тип. №1
Уч-изд. л. 2,0
Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.