

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Инноватика и менеджмент качества»

**ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Контрольные задания
по дисциплине «Математическое моделирование
в инженерной и инновационной деятельности»
для студентов направления 221700.62

Курган 2014

Кафедра: «Инноватика и менеджмент качества»

Дисциплина: «Математическое моделирование в инженерной и инновационной деятельности»
(направление 221700.62).

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

Утверждены на заседании кафедры «05» марта 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета «12» марта 2014 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 [2].

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 (научные исследования выполнялись на кафедре инноватики и менеджмента качества доцентами В.В. Марфицыным и В.Ф. Губановым). При этом в зависимости от номера варианта, 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].

Вариант № 1

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью (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). 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 1.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 1.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.1 – Уровни и интервалы

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 1.2 – 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

Таблица 1.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 2

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью (сглаживающее – 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). 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 2.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 2.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.1 – Уровни и интервалы

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 2.2 – 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

Таблица 2.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 3

Для реализации многофакторной регрессионной модели $H_{\mu} = f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью (сглаживающее – 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). 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 3.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений H_{μ} (в виде логарифма) представлены в таблице 3.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.1 – Уровни и интервалы

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 3.2 – 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

Таблица 3.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 4

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающее – 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). 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 4.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 4.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.1 – Уровни и интервалы

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 4.2 – 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

Таблица 4.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 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). 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 5.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (в виде логарифма) представлены в таблице 5.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.1 – Уровни и интервалы

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 5.2 – 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

Таблица 5.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 6

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max}=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью, 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 6.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 6.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.1 – Уровни и интервалы

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 6.2 – 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

Таблица 6.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 7

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p = f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью (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 (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 7.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 7.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.1 – Уровни и интервалы

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 7.2 – 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

Таблица 7.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 8

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью, 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 8.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 8.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.1 – Уровни и интервалы

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 8.2 – 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

Таблица 8.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 9

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p=f(h_3, s_0, n)$ процесса выглаживания термоупрочненной сталью (сглаживающее – 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 9.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 9.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 9.3.

Таблица 9.1 – Уровни и интервалы

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 9.2 – 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

Таблица 9.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 10

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max}=f(h_z, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_z), 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 10.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 10.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 10.3.

Таблица 10.1 – Уровни и интервалы

Уровень фактора	Факторы		
	h_z , 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 10.2 – 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

Таблица 10.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 11

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_p = f(h_3, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания (сглаживающее – 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 11.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 11.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 11.3.

Таблица 11.1 – Уровни и интервалы

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 11.2 – 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

Таблица 11.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 12

Для реализации многофакторной регрессионной модели $R_{\max} = f(h_z, s_0, n)$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_z), 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 12.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_{\max} (в виде логарифма) представлены в таблице 12.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 12.3.

Таблица 12.1 – Уровни и интервалы

Уровень фактора	Факторы		
	h_z , 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 12.2 – 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

Таблица 12.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 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 13.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений R_p (в виде логарифма) представлены в таблице 13.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 13.3.

Таблица 13.1 – Уровни и интервалы

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 13.2 – 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

Таблица 13.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 14

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Sm=f(h_3, s_0, n, R_{au}, S_{mi})$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя R_{au} (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), S_{mi} (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости – Sm , был спланирован и поставлен эксперимент. Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 14.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Sm (мкм) представлены в таблице 14.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 14.3.

Таблица 14.1 – Уровни и интервалы

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	0,14	630	3	27
Нижний (-)	25	0,07	200	1	18

Таблица 14.2 – 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	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	27
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

Таблица 14.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 15

Для реализации многофакторной регрессионной модели $H\mu=f(h_3, s_0, n, R_{au}, S_{mi})$ процесса минералокерамического выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя R_{au} (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), S_{mi} (средний шаг неровностей профиля, исходный) и микротвердостью поверхности – $H\mu$, был спланирован и поставлен эксперимент. Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 15.1. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 15.2. Матрица плана эксперимента и результаты измерений $H\mu$ (МПа) представлены в таблице 15.3.

Таблица 15.1 – Уровни и интервалы

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	0,14	630	3	27
Нижний (-)	25	0,07	200	1	18

Таблица 15.2 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Таблица 15.3 – 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

Вариант № 16

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Ra=f(h_3, s_0, n, R_{au}, S_{mi})$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя R_{au} (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), S_{mi} (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости – Ra , был спланирован и поставлен эксперимент. Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 16.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (мкм) представлены в таблице 16.2.

Таблица 16.1 – Уровни и интервалы

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 16.2 – 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	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

Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 16.3.

Таблица 16.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

Вариант № 17

Для реализации многофакторной регрессионной модели $Sm=f(h_3, s_0, n, R_{au}, S_{mu})$ процесса алмазного выглаживания, отражающей количественные связи между натягом (h_3), подачей (s_0), частотой вращения шпинделя (n), исходными параметрами качества поверхностного слоя R_{au} (среднее арифметическое отклонение профиля, исходное), S_{mu} (средний шаг неровностей профиля, исходный) и параметром шероховатости – Sm, был спланирован и поставлен эксперимент. Была реализована полуреплика 2^{5-1} с определяющим контрастом $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 17.1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Sm (мкм) представлены в таблице 17.2. Данные для расчета $s^2\{y\}$ представлены в таблице 17.3.

Таблица 17.1 – Уровни и интервалы

Уровень фактора	Факторы				
	h_3 , МКМ	S_0 , мм/об	n , мин ⁻¹	Rau , МКМ	Sm_i , 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 17.2 – 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	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	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

Таблица 17.3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
- 2 Губанов, В. Ф. Выглаживание: качество, технологии и инструменты : Монография [Текст] / В. Ф. Губанов. – М. : Издательский дом Академии Естествознания, 2013. – 70 с.

Приложение А

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 $1=x_1x_2x_3x_4x_5$. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице А1. Матрица плана эксперимента и результаты измерений Ra (мкм) представлены в таблице А2.

Таблица А1 – Уровни и интервалы

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 А 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

Коэффициенты уравнения регрессии определяем по формулам [1]

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

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

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

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 А3, формула 4): $s^2\{y\}=0,00011$.

Таблица А3 – Для расчета $s^2\{y\}$

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% 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 Б).

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

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.

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

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

$$S_{ад}^2 = 0,00012.$$

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

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

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

Табличное значение F -критерия при 5% уровне значимости (при большей дисперсии – S_{ad}^2 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 Б), и т.к. $F_p < F$, то модель адекватна.

Приложение Б

Таблица Б1 – 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 В

Таблица В1 – Значения критерия Фишера (F -критерия) при уровне значимости $\alpha=0,05$

Число степеней свободы дисперсии Число степеней свободы для меньшей 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

Губанов Виктор Федорович

**ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Контрольные задания
по дисциплине «Математическое моделирование
в инженерной и инновационной деятельности»
для студентов направления 221700.62

Редактор Е.А. Могутова

Подписано в печать 19.06.14
Печать цифровая
Заказ 188

Формат 60x84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. 1,75
Тираж 25

Бумага 65 г/м²
Уч-изд. л. 1,75
Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.