

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Аринова С.К.

## **Лекция**

«Эксперимент нәтижелерін жоспарлау және өңдеу»

Қарағанды 2023ж

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

ҚАРАҒАНДЫ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Нанотехнологии және металлургия кафедрасы

Аринова С.К.

## **Лекция**

PiORE 5107 «Эксперимент нәтижелерін жоспарлау және өңдеу» пәні

ТЕТ 02 «Технология және эксперимент» модулі

7M07102—«Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»  
мамандығы

Қарағанды 2023

## № 10 Дәріс. Экстремальды есептерін шешу үлгісі (2 сағат)

Экстремальды есептерін шешу үшін жоғары келтірілген тәжірибе жоспарлауын келесі есепті үлгісі ретінде тағыда қарастырып кетейік.

Мысалы, таза алюминийді молибденбен модифицирлеуін зерттейік. Оптимальдау параметрі ретінде ( $y$ ) алюминийдегі  $1 \text{ см}^2$  ауданында дәншіктер санын қабылдайық, саны металлографиялық әдіспен анықталынатын. Тәжірибедегі өзгертілетін факторлар: алюминийге енгізілетін молибден саны, % ( $X_1$ ); аса қыздыру температурасы,  $^{\circ}\text{C}$  ( $X_2$ ); аса қыздыру уақыты, мин. ( $X_3$ ); суыту жылдамдығы ( $X_4$ ). Соңғы  $X_4$  фактор сапала болған сон, тек екі мәнін қабылдай алады: графитті тигельде тез суытылады және шамот тигельде баяу суытылады. Факторлардың өзгерту интервалымен және олардың негізгі жоғарғы, төменгі деңгейіндегі мәндері 12-кестеде келтірілген.

12-кесте. Алюминийді молибденбенмодифицирлеу тәжірибені өткізу жоспары

факторлар	Мо, % саны	Аса қызу температурасы, $^{\circ}\text{C}$	Аса қызу уақыты, мин.	Суыту жылдамдығы
Код	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
Төменгі деңгей ( $X_0$ )	0,40	840	60	-
Өзгерту интервалы, ( $\Delta X_i$ )	0,15	100	60	-
Жоғарғы деңгей (+1)	0,55	940	120	графит
Төменгі деңгей (-1)	0,25	740	0	шамот

Сонда  $x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}$  формуласы бойынша :

$$x_1 = \frac{[Mo, \%] - 0,40}{0,15}, \quad x_2 = \frac{[t, ^{\circ}C] - 840}{100}, \quad x_3 = \frac{[\tau, \text{мин}] - 60}{60}.$$

Тәжірибе жоспарын құрайық. Төрт фактор өзгертілетін болған сон, ТФТ жоспарына  $2^4=16$  тәжірибе кіреді. Тәжірибені бастапқы кезінде барлық тәжірибелерді өткізген тиімді, өйткені таңдап алынған негізгі деңгейдің орны белгісіз деуге болады-оптимум аймағынан жақын немесе алыс. Сонда тек сызықты модельді тұрғызуға болады:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4.$$

Сондықтан  $2^{4-1}=8$  жартылай үзіндісін таңдап алынды. Жартылай үзіндісі келесі генерирлеу қатынасымен берілді:

$X_4 = X_1 X_2 X_3$ , анықтауыш контарстысы:

$I = X_1 X_2 X_3 X_4$ .

Нәтижесінде келесі араластыру әсерін аламыз:

$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{234}$ ,

$b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{134}$ ,

$b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{124}$ ;

$b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{123}$ ,

$b_{12} \rightarrow \beta_{12} + \beta_{34}$ ,

$b_{13} \rightarrow \beta_{13} + \beta_{24}$ ;

Таңдап алынған жартылай үзінді жоспалау матрицасы түрінде 13-кестеде келтірілген.

13-кесте.  $2^{4-1} = 8$  алюминийді молибденбенмодифицирлеудің жартылай үзіндісі

№ тәжірибе	Іс ке асыру тізбегі	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	Y
1	4	+	+	+	+	+	100
2	3	+	-	+	+	-	81
3	8	+	+	-	+	-	95
4	5	+	-	-	+	+	36
5	7	+	+	+	-	-	130
6	2	+	-	+	-	+	69
7	1	+	+	-	-	+	90
8	6	+	-	-	-	-	64

Жоспарлау матрицасын құрған соң тексеру өткізу керек: әрбір бағанада он және теріс сандар тең болу керек ( $X_0$  бағанасында барлық мәндері он таңбалы); кез келген бағаналарды өз өздеріне көбейтсек 8 мәнің беру керек (матрицадағы тәжірибе саның); кез келген екі бағананы жұптап бір біріне көбейтсек нөл беру керек.

Қажет жоспарлау матрицасындағы 8 тәжірибені келесі бойынша 13-кестедегі екінші бағана бойынша іске асырылды-кездейсоқсандар кестесі арқылы (III-қосымша). Тәжірибенің алынған нәтижелері 13-кестенің соңғы бағанасында келтірілген. Мысалы, 3-ші тәжірибеде алюминиге 0,55 пайыз молибден қосылып,  $740^{\circ}\text{C}$  температурасында аса қыздырып және 120 минут ұстап, шамотты тигельде суытылғанда микро талдауда  $1\text{ см}^2$  ауданында жуық 95 дәншіктер саналды.

Жоспарлау матрицадағы тәжірибелер қайталанбаған соң, тәжірибенің дисперсиясын анықтау үшін негізгі деңгейдегі тәжірибелер үш рет қайталанды, балқыманы әрбір тәжірибеден кейін графитті тигельде

суытып. 14-кестеде осы үш тәжірибенің нәтижелері келтірілген және осы нәтижелері бойынша тәжірибенің дисперсиясы саналды.

14-кесте. Алюминийді молибденбенмодифицирлеудегі тәжірибенің дисперсиясын есептеу

№	$Y_u$	$\Delta Y = [Y_u - \bar{Y}]$	$\Delta Y^2$
1	80	0	0
2	82	2	4
3	78	2	4
	$\bar{Y} = 80$		$\sum \Delta Y^2 = 8$
$S^2\{Y\} = \sum \Delta Y^2 / n - 1 = 4$			

Жоспарлау матрицаның нәтижелері бойынша сызықты модельдің регрессия коэффициенттерін есептейік:

$$b_0 = \frac{100 + 81 + 95 + 96 + 130 + 69 + 90 + 64}{8} = 83,1;$$

$$b_1 = \frac{100 - 81 + 95 - 96 + 130 - 69 + 90 - 64}{8} = 20,0;$$

$$b_2 = \frac{100 + 81 - 95 - 96 + 130 + 69 - 90 - 64}{8} = 11,9;$$

$$b_3 = \frac{100 + 81 + 95 + 96 - 130 - 69 - 90 - 64}{8} = -5,1;$$

$$b_4 = \frac{100 - 81 - 95 + 96 + 130 - 69 - 90 + 64}{8} = -9,4.$$

Осы коэффициенттерін анықтауындағы дисперсия:

$$S^2\{b_i\} = S^2\{Y\} / N = 4 / 8 = 0,5,$$

Сонда орташа арифметикалық қателік:

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}} = 0,71.$$

Мәнділік деңгейін  $\alpha = 0,05$  қабылдап және IV –қосымшадан кестелік t-критериясын алып  $t_{0,05;8} = 2,30$ , регрессия коэффициенттерінің сенімді интервалын есептейміз:

$$\Delta b_i = \pm 2,30 * 0,71 = \pm 1,633.$$

Есептелген регрессия коэффициенттерінің абсолюттік мәндері 1,633 көп болғансон, барлық коэффициенттер статистикалық мәнді деп қабылдаймыз.

Сонымен,  $2^{4-1}$  жартылай үзіндісін іске асырылған сон, келесі сызықты теңдеу алынды:

$$y = 83,1 + 20,1x_1 + 11,9x_2 - 5,1x_3 - 9,4x_4.$$

Бұл теңдеуге факторлар мәндерін кодталған масштабында қояды ( $x_i$ ) және сәйкес мәндері натуральді масштабындағы мәндерінен ( $X_i$ ) есептелінеді:

$$x_1 = \frac{X_1 - 0,40}{0,15}, \quad x_2 = \frac{X_2 - 840}{100}, \quad x_3 = \frac{X_3 - 60}{60}.$$

Төртінші  $x_4$  факторы тек екі мән қабылдай алады: +1 (графитті тигельде суытқанда) және -1 (шамотты тигельде суытқанда).

Мысалы, егер алюминийді 0,50 % Мо ( $x_1$ ) модифирлеуден, 800<sup>0</sup>С ( $x_2$ ) аса қыздырылғансон, 100 минут ( $x_3$ ) аралығында ұстағанда және шамотты тигельде суытқанда дәншіктер саның анықтауы талап етілсе, онда жоғары теңдеулерге келесі мәндер қою керек:

$$x_1 = \frac{0,50 - 0,40}{0,15} = 0,67; \quad x_2 = \frac{800 - 840}{100} = -0,40; \quad x_3 = \frac{100 - 60}{60} = 0,67 \quad \text{және} \quad x_4 = -1.$$

Сонда 1 см<sup>2</sup> ауданындағы дәншіктер саны:

$$y = 83,1 + 20,1 * 0,67 + 11,9 * (-0,40) - 5,1 * 0,67 + 9,4 * 1 \approx 103.$$

Бірақ бұл теңдеумен пайдалану үшін алдымен оны адекваттік болжамына тексеру керек. Осы қарастырылған есептің үлгісі үшін адекваттігі туралы дисперсиясының есептеуі 15-кестеде келтірілген. Есептелген  $y_p$  мәндерін регрессия теңдеуі арқылы анықталды. Мысалы, 5-ші тәжірибенің жағдайынан:  $x_1 = +1; x_2 = +1; x_3 = -1, x_4 = -1,$   $y_p$  есептелген мәні:

$$y = 83,1 + 20,1 * (+1) + 11,9 * (+1) + 5,1 + 9,4 \approx 130.$$

15-кесте. Адекваттілігі туралы дисперсиясының есептеуі

№Тәжіриб е	Тәжірибел ік, $Y_{\text{тәжір.}}$	Есептелгн, $Y_p$	Ауытқуы. $\Delta y$	$\Delta y^2$
1	100	101	1	1
2	81	79	2	4
3	95	96	1	1
4	36	37	1	1
5	130	130	0	0
6	69	71	2	4
7	90	87	3	9
8	64	66	2	4
				$\sum \Delta Y^2 = 24$

Сонда адекваттік дисперсиясы құрайды:

$$S_{\text{ад.}}^2 = 24 / (8 - 5) = 8,$$

еркін дәрежесінің саны  $f_2 = 8 - 5 = 3$  тең болғанда, мұнда 8- жалпы тәжірибе саны; 5- теңдеудегі статистикалық мәнді коэффициенттер саны.

Сонымен, Фишер F-критериясының есептелген мәні:

$$F_{3;2}^P = \frac{8}{4} = 2.0.$$

Қабылданған 5 % мәнділік деңгейінде ( $\alpha \approx 0,05$ ) F- критерияның кестелік мәні (V- қосымшадан алынған):

$$F_{3;2}^T = 19,16.$$

Сонда  $F^P < F^T$  болған сон, онда регрессия теңдеуінің адекваттілігі туралы болжам жоққа шығарылмайды және оны келесі жоспарлау сатысында пайдалануға болады, немесе оптимум бағытына қозғалу үшін.

Таңдап алынған факторлардың өзгерту интервалында дәншіктердің мәнді ұсақталынуына үлкен әсер алюминий құрамындағы молибден болып табылады ( $b_1=20,0$ ), аз дәрежесінде аса қыздыру температурасы береді ( $b_2=11,9$ ), одан кейін суыту жылдамдығы береді ( $b_4=-9,4$ ) және аса қыздырудағы ұстау уақыты береді ( $b_3=-5,1$ ). Алюминий құрамына молибденді қосуы және аса қыздыру температурасын артуы ( $b_1$  және  $b_2$  он таңбалы) дәншіктердің ұсақталынуына әкеледі. Ұстау уақытын ұзартуы (аса қыздыру уақытын) және суытуды үдеулетуі – дәншіктердің ірілетуіне әкеледі, өйткені  $b_3$  және  $b_4$  теріс таңбалы. Сонымен, бірінші сегіз тәжірибедегі зерттелетін объект туралы мәнді ақпарат алынды деуге болады.

Жоспарлаудың келесі 16-кестеде осы қарастырылған есептің негізі бойынша тік өрлеу кезенері жазылған,  $b_i * \Delta X_i$  шамасын пайдаланып откликбеті бойында бір қатар «ойлы тәжірибелер» көзделген. Мұнда «бірлік адымы» ретінде аса қыздыру температурасын  $10^0\text{C}$  өзгеруін қабылдаймыз. Басқа факторлар адымын келесі қатынастар арқылы анықтаймыз:

$$\frac{b_2 * \Delta X_2}{b_1 * \Delta X_1} = \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \text{ осыдан } \Delta_1 = \frac{3 * 10}{1190} \approx 0,03;$$

$$\frac{b_2 * \Delta X_2}{b_3 * \Delta X_3} = \frac{\Delta_2}{\Delta_3} \text{ осыдан } \Delta_3 = \frac{306 * 10}{1190} \approx 3.$$

Төртінші фактор  $X_4$  сапалы болған сон, ол тек екі мәнің алады: +1 және -1. Коэффициент  $b_4$  теріс таңбалы болған сон барлық тік өрлеу сатысында  $X_4=-1$  ұстап тұру керек, немесе, алюминийдің модифицирлеуі шамотты тигельде суытылады. Берілген сатысындағы жақсы тәжірибенің жағдайын вилкаға алады.

16-кесте. Алюминийді молибденбенмодифицирлеудегі тік өрлеуі

Факторлар	Мо, % ( $X_1$ )	Аса қыздыру температурасы, $^0\text{C}$ ( $X_2$ )	Аса қыздыру Уақыты, мин. ( $X_3$ )	Суыту жылдамдығы ( $X_4$ )	Дәншіктер саны (Y)

$b_i$	20,0	11,9	-5,1	-9,4	-
$b_i * \Delta X_i$	3	1190	-306	-	-
$\Delta_i$	0,03	10	-3	-	-
Ойлы тәжірибе	0,43	850	57	шамот	
Ойлы тәжірибе	0,46	860	54	-/-/-	
Іске асырылған тәжірибе	0,49	870	51	-/-/-	108
Ойлы тәжірибе	0,52	880	48	-/-/-	
Ойлы тәжірибе	0,55	890	45	-/-/-	
Іске асырылған тәжірибе-13	0,58	900	42	-/-/-	196
Іске асырылған тәжірибе-12	0,61	910	39	-/-/-	366
Іске асырылған тәжірибе-10	0,64	920	36	-/-/-	313
Ойлы тәжірибе	0,67	930	33	-/-/-	
Іске асырылған тәжірибе-11	0,70	940	30	-/-/-	142

16-кестедегі жақсы нәтиже 12-ші тәжірибеде алынды (1 см<sup>2</sup> ауданыңды 366 дәншіктер тіркелді). Оптимальдау параметрі зерттеушіні толық қанағаттандырған сон жұмыс аяқталды деуге болады.

Бірақ жалпы жағдайда градиент бойымен қозғалу сатысынан кейін әртүрлі жағдай болуы мүмкін. Мысалы, егер тік өрлеу тиімді болса, тәжірибе немесе аяқталады (нәтиже зерттеушіні толық қанағаттандырса) немесе жалғасады. Бұл жағдайда ен жақсы тәжірибенің жағдайы жаңа негізгі деңгейі ретінде қабылданады және оның маңында жаңа сызықты жоспар іске асырылады, әрі қарай оптимум аймағына жеткенше тік өрлеу өткізіледі.

Енді тік өрлеудің тағыда бір есебін қарастырып кетейік. Мысалы, минимальді газдық кеуектері бар жолақтары алу мақсатымен никельді аргонды доғалы пісіру үшін электродтардың жабу жағдайын және оптимальді құрамын орнатуы талап етілді дейік.

Оптимальдау параметрі ретінде ( $y$ ) 100 мм ұзындығындағы осы газдық кеуектерінің саның қабылдаймыз рентгендік тәсілмен анықталынатың. Негізгі деңгейде өткізілген параллельді тәжірибелер арқылы тәжірибенің дисперсиясы анықталды дейік, немесе,  $S^2\{Y\}=340$ , еркін дәрежесі 4 тең болғанда.

Факторлар ретінде қабылданды: криолит ( $x_1$ ), титан ( $x_2$ ), алюминий ( $x_3$ ) фторлық натрий ( $x_4$ ) құрамы және осы жабулардың прокаттау уақытын



( $x_5$ ) және пісіру жағдайын ( $x_6$ ) өзгерттік.

Таңдап алынған факторлар мен оптимальдау параметрлері 17-кестенің бірінші қатарында көрсетілген. Осы кестенің 2-5 қатарында негізгі деңгейдің, өзгерту интервалдың, жоғарғы (+1), төменгі деңгейдің (-1) және таңдап алынған факторлардың өзгертілетін мәндері келтірілген. Мұнда айтып кету керек пісіру жағдайын пісіру доғасының әртүрлі ұзындығы арқылы өзгертілді. Мұндағы «доға ұзындығы» сапалы болып табылады және екі мәнің қабылдайды «ұзын» (+1) және «қысқа» (-1).

Кестенің 9-шы қатарында факторлардың және оптимальдау параметрінің белгілеулері, ал 7-14 қатарында жоспарлау матрицасы келтірілген.

Жоспарлауда  $2^{6-3} \cdot 1/8$  үзіндісін пайдаландық анықтауыш контарстысы:

$$I = -X_1X_3X_6 = -X_1X_4X_5 = -X_2X_3X_5 = -X_2X_4X_6 = X_1X_2X_3X_4 = X_1X_2X_5X_6.$$

Сонымен сызықты әсерлер мұнда жұптық өзара әсерленулермен араласқан.

Жоспарлау матрицаның 8 тәжірибесі 17-кестенің ең соңғы бағанасында келтірілген. Таңдап алынған жабулар жолақтардың қажетті ұзындығын қамтамасыз еткен жоқ. Жолақтағы кеуектер саны 100 мм ұзындығында 65 ден 30% құрады.

Бірінші сегіз тәжірибе нәтижелері бойынша сызықты теңдеудің регрессия коэффициенттері есептелді (15-қатар, 17-кесте).

Осы регрессия коэффициенттерінің сенімді интервалы  $\Delta b_i = \pm 2,3 * 6,5 = 14,35$  тең, сондықтан барлық регрессия коэффициенттері статистикалық мәнді болып табылады.

Сызықты теңдеудің адекваттігін тексеру үшін адекваттік дисперсиясын  $S^2_{ад.}$  пайдаландық және ол  $S^2_{ад.} = 5832$  тең болды, еркін дәрежесі 1 тең болғанда. Сонымен  $F_{1;4}^P = \frac{5832}{340} = 17,11$ . Алынған есептелген мән 1% мәнділік деңгейінде кестелі мәнінен  $F_{1;4}^T = 21,20$  кіші болды және адекваттілігі туралы болжам жоққа шығарылмайды.

Сонымен сызықты модель алдық:

$$y = 209,5 - 36,5x_1 - 15,2x_2 - 17,0x_3 - 36,2x_4 + 38,2x_5 + 33,0x_6.$$

Зерттелген отклик бетінің кескінің адекватты жазбалайтың.

17-кесте. Никельді пісіру тәсілін оптимизациялау тәжірибе жоспарлауының бірінші сатысы

1	Зерттелінетін факторлар	Криолит , %	Ti, %	Al,%	NaF,%	Доға ұзындығы	Прокаттау уақыты,мин.	Кеуектер саны, дана
2	Негізгі деңгей (X <sub>i</sub> )	14	5	6	6	-	120	
3	Өзгерту интервалы, ΔX <sub>i</sub>	2	1	1,5	2	-	15	
4	Жоғарғы деңгей (+1)	16	6	7,5	8	ұзын	136	
5	Төменгі деңгей (-1)	12	4	4,5	4	қысқа	105	
6	Код	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	y
7	Тәжірибе-1	-	-	-	-	-	-	275
8	-/-/-2	+	-	+	-	+	-	181
9	-/-/-3	-	+	-	+	+	-	185
10	-/-/-4	+	+	+	+	-	-	65
11	-/-/-5	+	-	-	+	-	+	142
12	-/-/-6	-	-	+	+	+	+	301
13	-/-/-7	+	+	-	-	+	+	304
14	-/-/-8	-	+	+	-	-	+	223
15	b <sub>i</sub>	36,5	-15,2	-17,0	-36,2	33,2	33,0	
16	b <sub>i</sub> *ΔX <sub>i</sub>	-73	-15,2	-25,5	-72,4	-	495	
17	Δ <sub>i</sub>	0,6	0,1	0,2	0,6	-	5,0	
18	Ойлы тәжірибе	14,6	5,1	6,2	6,6	Қысқа	115	
19	-/-/-	15,2	5,2	6,4	7,2	-/-/-	110	
20	-/-/-	15,8	5,3	6,6	7,8	-/-/-	105	
21	Іске асырылған тәжірибе-9	16,4	5,4	6,8	8,4	-/-/-	100	58
22	Ойлы тәжірибе	17,0	5,5	7,0	9,0	-/-/-	95	
23	Іске асырылған тәжірибе-10	17,6	5,6	7,2	9,6	-/-/-	90	35
24	Ойлы тәжірибе	18,2	5,7	7,4	10,2	-/-/-	86	
25	Іске асырылған тәжірибе-11	18,8	5,8	7,6	10,8	-/-/-	80	54
26	Ойлы тәжірибе	19,4	5,9	7,8	11,4	-/-/-	75	
27	-/-/-	20,0	6,0	8,0	12,0	-/-/-	70	

Келтірілген теңдеуде кодталған  $(X_i)$  ден  $(X_i)$  шынайы ауысқанда ауыспалылардың мағынасы солай жүзеге асады, ол жоғарыда сипатталған. Мысалы,

$$X_1 = \frac{X_1 - 14}{2}, X_2 = \frac{X_2 - 5}{1};$$

Әрі қарай өзгерту интервалдарын ескере келе (16 жол) тігістердің кеуектілігін кішірейту бағытында факторлардың әр қайсысына қадам мағынасы анықталды. «+» белгісі  $b_5$  регрессия коэффициентінде, «доға ұзындығы» факторына жатады, яғни келесі де пісіруді қысқа доғамен жүргізу қажет екенін талап етеді.

18-27 жолдары белгіленген тәжірибе сериялары шартын көрсетеді.

Тәжірибе 9 (21 –ші жол), 10 (23-ші ол) және II (25- ші жол) жүзеге асырылды. Шын мәнінде, тік өрлеу градиент бойынша сызықтық теңдеу тігістердің кеуектілігінің азаюына әкеліп соқты. 10-шы (23 –ші жол) тәжірибенің шарты жақсырақ болды. Алайда бұл жағдайда да 100 мм ұзындықты тігісте 35 кеуек табылды, әрине ол қанағаттандырған жоқ.

Осыған орай шұғыл өрлеудің ең жақсы тәжірибе шарты жанында яғни 10-шы кезеңінде, жаңа тәжірибелер сериясын қоюға шешім қабылданды.

Сонымен қоса бірінші кезеңнің нәтижелері назарға алынды, нақтырақ: жабында титанның саны өзгертілмеді ( бірінші кезеңде көрінгендей тігістің сапасына басқа факторларға қарағанда айтарлықтай аз әсер етеді), сонымен қоса пісіру шарты. 6% жабында Ті тұрақты құрамы белгіленді, ал пісіруді барлық жағдайда қысқа доғамен жүргізді. Одан басқа, тігістердің кеуектілігінің айтарлықтай төмендегенін ескере отырып (ол оптимум облысына жақындағанын айғақтауы мүмкін), қалған басқа факторларға олардың өзгеру интервалын қысқартты.

Жоспарлаудың келесі кезеңнің нәтижелері 19 кестеде келтірілген. Жүзеге асқан соң қалған 4 факторға  $\frac{1}{2}$  типті  $2^{4-1}$  анықтаушы карама-қарыслықпен  $I=x_1x_3x_4x_6$  (6-13 жолдар) отклик бетіне жаңа сызықтық жақындау бойынша регрессия коэффициенттері есептелді (14-ші жол).

Жаңа тәжірибе серияларына қайтадан тәжірибе дисперсиясы  $S^2\{y\}=49$  4 бостандық дәрежесінде есептелді. Коэффициент  $b_4$  статистикалық маңызды емес. Қалған үш мүшемен сызықтық теңдеу ( $\alpha = 0,05$ ) берілген отклик беті учаскісін сипаттайды ( $F_{4:4}^{есептеу} = 1,05 < 6,39$ ) =  $F_{4:4}^{кесте}$

Регрессия коэффициенті шамалары бойынша маңызды факторлардың статистикалық оптимизация параметріне салымды бағалауға болады.

19- Кесте. Никельді пісіру амалын оңтайландыруда тәжірибені жоспарлаудың екінші кезеңі

I	Факторлар	$x_1$	$x_3$	$x_4$	$x_6$	y
2	Негізгі деңгей ( $X_{0i}$ )	18	7,5	10	90	
3	Өзгерту интервалы ( $\Delta X_i$ )	0,5	1,0	0,5	5	
4	Жоғарғы деңгей (+I)	18,5	8,5	10,5	95	
5	Төменгі деңгей (-I)	17,5	6,5	9,5	85	
6	Тәжірибе 1	-	-	-	-	66
7	-2	+	+	-	-	40
8	--3	+	-	+	-	44
9	--4	-	+	+	-	52
10	--5	+	-	-	+	39
11	--6	-	+	-	+	69
12	--7	-	-	+	+	72
13	--8	+	+	+	+	41
14	$b_i$	-11,9	-2,4	-0,6	+2,4	
15	$b_i \cdot \Delta X_i$	-5,95	-2,4	-0,3	12	
16	Қадам	9,0	0,4	0,05	-2	
17	Ойлы тәжірибе	19	7,9	10	88	
18	Жүзеге асқан	20	8,3	-	86	12
19	тәжірибе 9	21	8,7	-	84	4
20	--- -- 10	22	9,1	-	82	
21	Ойлы тәжірибе	23	9,5	--	80	0
22	Жүзеге асқан	24	9,9	-	78	
23	тәжірибе 12	25	10,3	--	76	0
24	Ойлы тәжірибе	26	10,7	-	74	
25	Жүзеге асқан	27	11,1	-	72	
26	тәжірибе 11	28	11,5	-	70	
	Ойлы тәжірибе					
	-----					
	-----					

(19 кесте, 14-шы жол), пісіру тігісінде кеуек саны бәрінен бұрын жабындағы криолит құрамынан, ары қарай алюминия құрамынан және қыздыру уақытына тәуелді. Титан және фтористі натрия мөлшері жабында тігіс кеуектілігіне әсер етпейді.

Келесі кезеңде қадамдардың мағынасы жаңа теңдеудің градиенті бойынша шұғыл өрлеу фактор өзгерісі үшін анықталды (16-шы жол, 19 кесте). Регрессия коэффициенті  $b_4$  «жабындағы NaF құрамы» факторында

статистикалық маңызды болмай шыққандықтан, шұғыл өрлеу тәжірибелерінде NaF құрамы тұрақты 10 % ұстанады.

Кезекпен шұғыл өрлеудің төрт тәжірибесі жүзеге асырылды: 9( 18 жол), 10(19 жол), II (23 жол) және 12 (21 жол). 11-ші және 12- ші тәжірибелерде тігісер өте мықты болды (кеуек саны нөлге тең), сондықтан қойылған міндет 23 тәжірибеде шешілді. Аргон-доғалы пісіруде кеуексіз тігістер алу үшін электрод никль жабыны 23-25% криолит құрау керек; 6% Ti; 9,5-10,3% Al , 10% NaF; бұл жабындар 86-90 мин кезінде қызу керек; пісіруді қысқа доғамен жүргізу міндетті (оптимальді шарттарды бастапқы негізгі деңгеймен салыстыр ,18 –кесте, 2-ші жол).

## Пайдаланган әдебиеттер тізімі

1. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум): Учебн. Пособие / Бородюк В.П., Воцинин А.П., Иванова А.З., и др.: Под ред. Г.К. Круга –М.: высшая школа, 1983.- 216с.
2. Талмазан В.А. Методические указания по программированному изучению курса Организация эксперимента.-Алма-Ата: РУМК, 1989-49с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В., Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий .-М.: Наука, 1975.-279с.
4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии.-М.: Высшая школа, 1978.-320с.
5. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем.-М.: Наука, 1976.-390с.
6. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения , примеры и задачи).-Киев : Высшая школа, 1976.-184 с.
7. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов.-М.: металлургия , 1974.-264 с.
8. Прудковский Б.А. Зачем металлургу математическая модель.-М.: Наука, 1989.-264с.
9. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов –М.: Металлургия , 1986,-240с.
10. Дэдиел К. Применение статистики в промышленном эксперименте.-М.: 1979.- 260с
11. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям .-М.: Статистика , 1978.-192с.
12. Спиридонов А.А., Васильев Н.Г. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов.- Свердловск: УПИ им С.М. Кирова , 1975.-140с.
13. Винарский М.С., Жадан В.Т., Кулак Ю.Е. Математическая статистика в черной металлургии .-Киев : Техника, 1973.-220с.
14. Налимов В.В. Теория эксперимента. М.: Наука , 1971-207с.
15. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах.-

М.:Мир ,1969.-345с.

16. Смирнов Н.В., Дунин –Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений.- М.:Наука,1969.-511 с.

17.Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента.- М.:Металлургия,1969.-157с.

18. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений.-М.:Наука,1968.-288с.

19. Налимов В.В.,Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов .-М.:Наука,1965.-340с.

20. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов.-М.: Машиностроение,1981.-184 с.

21. Новик Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении. Разделы II-У. Изд. МИС иС, 1969-71 г.

## I-қосымша

 $\chi^2$  – критериясының мәндері

Еркін дәрежелерінің сандары	Мәнділік деңгейі			
	0,50	0,10	0,05	0,01
1	0,455	2,71	3,84	6,64
2	1,39	4,61	5,99	9,21
3	2,37	6,25	7,81	11,3
4	3,36	7,78	9,49	13,3
5	4,35	9,24	11,1	15,1
6	5,35	10,6	12,6	16,8
7	6,35	12,0	14,1	18,5
8	7,34	13,4	15,5	20,1
9	8,34	14,7	16,9	21,7
10	9,34	16,0	18,3	23,2
11	10,3	17,3	19,7	24,7
12	11,3	18,5	21,0	26,2
13	12,3	19,8	22,4	27,7
14	13,3	21,1	23,7	29,1
15	14,3	22,3	25,0	30,6
16	15,4	23,5	26,3	32,0
17	16,3	24,8	27,6	33,4
18	17,3	26,0	28,9	34,8
19	18,3	27,2	30,1	36,2
20	19,3	28,4	31,4	37,6
21	20,3	29,6	32,7	38,9
22	21,3	30,8	33,9	40,3
23	22,3	32	35,2	41,6
24	23,3	33,2	36,4	43,0
25	24,3	34,4	37,7	44,3



II-қосымша

0,05 мәнділік деңгейіндегі G –критериясының мәндері

Тәжірибе саны	Еркін дәрежесінің саны													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	36	144	$\infty$
2	0,99 9	0,97 5	0,93 9	0,90 6	0,85 8	0,85 3	0,83 3	0,81 6	0,80 1	0,78 8	0,734	0,66 0	0,58 1	0,50 0
3	0,96 7	0,87 1	0,79 8	0,74 6	0,70 7	0,67 7	0,65 3	0,63 3	0,61 7	0,60 3	0,547	0,45 7	0,40 3	0,33 3
4	0,90 7	0,76 8	0,68 4	0,62 9	0,59 0	0,56 0	0,53 7	0,51 8	0,50 2	0,48 8	0,437	0,37 2	0,30 9	0,25 0
5	0,84 1	0,68 4	0,59 8	0,54 4	0,50 6	0,47 8	0,45 6	0,43 9	0,42 4	0,41 2	0,356	0,30 7	0,25 1	0,20 0
6	0,78 1	0,61 6	0,53 2	0,48 0	0,44 5	0,41 8	0,39 8	0,38 2	0,36 5	0,35 7	0,314	0,26 1	0,21 2	0,16 7
7	0,72 7	0,56 1	0,48 0	0,44 1	0,39 1	0,37 3	0,35 6	0,33 8	0,32 5	0,31 5	0,276	0,22 8	0,18 3	0,14 3
8	0,68 0	0,51 6	0,43 8	0,39 1	0,36 0	0,33 6	0,31 9	0,30 4	0,29 3	0,28 3	0,246	0,20 2	0,16 2	0,12 5
9	0,64 0	0,47 8	0,40 3	0,35 8	0,32 9	0,30 7	0,29 0	0,27 7	0,26 6	0,25 7	0,223	0,18 2	0,14 5	0,11 1
10	0,60 2	0,44 5	0,37 3	0,33 1	0,30 3	0,28 2	0,26 7	0,25 4	0,24 4	0,23 5	0,203	0,16 6	0,13 1	0,10 0
12	0,54 1	0,39 2	0,32 6	0,28 8	0,26 2	0,24 4	0,23 0	0,21 9	0,21 0	0,20 2	0,174	0,14 0	0,11 0	0,08 3
15	0,47 1	0,33 5	0,27 6	0,24 2	0,22 0	0,20 3	0,19 1	0,18 2	0,17 4	0,16 7	0,143	0,11 4	0,08 9	0,06 7
20	0,38 9	0,27 1	0,22 1	0,19 2	0,17 4	0,16 0	0,15 0	0,14 2	0,13 6	0,13 0	0,111	0,08 8	0,06 8	0,05 0
24	0,34 3	0,23 5	0,19 1	0,16 6	0,14 9	0,13 7	0,12 9	0,12 1	0,11 6	0,11 1	0,094	0,07 4	0,05 7	0,04 2
30	0,29 3	0,19 8	0,15 9	0,13 8	0,12 4	0,11 4	0,10 6	0,10 0	0,09 6	0,09 2	0,077	0,06 0	0,04 6	0,03 3
40	0,23 7	0,15 8	0,12 5	0,10 8	0,09 7	0,08 9	0,08 3	0,07 8	0,07 5	0,07 1	0,060	0,04 6	0,03 5	0,02 5
60	0,17 4	0,11 3	0,09 0	0,07 7	0,06 8	0,06 2	0,05 8	0,05 5	0,05 2	0,05 0	0,041	0,03 2	0,02 3	0,01 7
120	0,10 0	0,06 3	0,05 0	0,04 2	0,03 7	0,03 4	0,03 1	0,02 9	0,02 8	0,02 7	0,022	0,01 7	0,01 2	0,00 8
$\infty$	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,00 0	0,000	0,00 0	0,00 0	0,00 0

## Кездейсоқ сандар кестесі

-56	66	25	32	38	64	70	26	27	67	77	40	04	34	63
88	40	52	02	29	82	69	34	50	21	74	00	91	27	52
87	63	88	23	62	51	07	69	59	02	89	49	14	98	53
32	25	21	15	08	82	34	57	57	35	22	03	33	48	84
44	61	88	23	13	01	59	47	64	04	99	59	96	20	30
94	44	08	67	79	41	61	41	15	60	11	88	83	24	82
13	24	40	09	00	65	46	38	61	12	90	62	41	11	59
78	27	84	05	99	85	75	67	80	05	57	05	71	70	21
42	39	30	02	34	99	46	68	44	15	19	74	15	50	17
04	52	43	96	38	13	83	80	72	34	20	84	56	19	49
82	85	77	30	16	69	32	46	46	30	84	20	68	72	98
38	48	84	88	24	55	46	48	60	06	90	08	83	83	98
91	19	05	68	22	58	04	63	21	16	23	38	25	43	32
54	81	21	31	40	46	17	62	63	99	71	14	12	87	64
65	43	75	12	91	20	36	25	57	92	33	65	95	48	75
49	98	71	31	80	59	57	32	43	07	75	06	64	75	27
04	98	68	89	39	71	87	32	14	99	42	10	25	37	30
56	04	21	43	92	89	81	52	15	12	84	11	12	66	87
48	09	36	95	36	20	82	53	32	89	92	68	50	88	17
23	97	10	96	57	74	07	95	26	44	93	08	43	30	41
43	97	55	45	98	35	69	45	96	80	46	26	39	96	33
40	05	08	50	79	89	58	19	86	48	27	98	99	24	08
66	97	10	69	02	25	36	43	71	76	00	67	56	12	69
15	62	38	82	92	03	76	09	30	75	77	80	04	24	54
77	81	15	14	67	55	24	22	20	55	36	93	67	69	37
18	87	05	09	96	45	14	72	41	46	12	67	46	72	02
08	58	53	63	66	13	07	04	48	71	39	07	46	96	40
16	07	79	55	61	42	19	68	15	12	60	21	58	12	07

## IV-қосымша

## Стьюдентт-критериясының мәндері

Еркін дәрежесінің саны	Мәнділік деңгейі					Еркін дәрежесінің саны	Мәнділік деңгейі				
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001		0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	6,31	12,7	31,8	63,7	636,6	18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
2	2,92	4,30	6,97	9,43	61,60	19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94	20	1,73	2,09	2,53	2,85	3,85
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61	21	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
5	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86	22	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96	23	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
7	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41	24	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04	25	1,71	2,06	2,48	2,79	3,73
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78	26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59	27	1,70	2,05	2,47	2,77	3,69
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44	28	1,70	2,05	2,47	2,76	3,67
12	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32	29	1,70	2,04	2,46	2,76	3,66
13	1,77	2,15	2,65	3,01	4,22	30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
14	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14	40	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07	60	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02	120	1,66	1,98	2,36	2,62	3,37
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97	$\infty$	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

## V-қосымша

## 0,05 мәнділік деңгейіндегі Фишер F-критериясының мәндері

Знаменатель үшін еркін дәрежесінің саны	Числитель үшін еркін дәрежесінің саны													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,40	19,41	19,42	19,43
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,76	8,71	8,71	8,69
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,93	5,91	5,87	5,84
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,70	4,68	4,64	4,60
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00	3,96	3,92
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,60	3,57	3,52	3,49
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,31	3,28	3,23	3,20
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,10	3,07	3,02	2,98
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,94	2,91	2,86	2,82
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,51	2,48	2,43	2,39
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31	2,28	2,23	2,18

30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09	2,04	1,99
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,98	1,95	1,90	1,85