

Mathematical Model for Planning Experiments to Obtain a Metalized Product

¹***MUKHAMETKHAN Marzhan**, Doctoral Student, marzhan_mukhametkhan@mail.ru,

²**RAKHMETOVA Anar**, PhD, Assistant Professor, anara_rahmetova@mail.ru,

³**KELAMANOV Bauyrzhan**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, kelamanov-b@mail.ru,

⁴**ONURALP Yucel**, PhD, Professor, metmuh@itu.edu.tr,

⁵**MAKASHEVA Gulmira**, Master's Degree, Senior Lecturer, guma_0675@mail.ru,

¹NPJSC «Karaganda Industrial University», Republic Avenue, 30, Temirtau, Kazakhstan,

²NPLC «Karaganda Buketov University», University Street, 28, Karaganda, Kazakhstan,

³NPJSC «K. Zhubanov Aktobe Regional University», A. Moldagulova Avenue, 34, Aktobe, Kazakhstan,

⁴Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, Turkey,

⁵NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Satpayev Street, 2, Astana, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. Environmental pollution in Kazakhstan has reached a critical level. Waste from metallurgical complex enterprises is in most cases stored and not only disposed of, but also not used in places suitable for industrial use. Every year, more and more land is occupied for waste storage, and small waste is carried by wind over long distances. An analysis of waste disposal data from «Qarmet» JSC shows that for every ton of finished tread, about 2 tons of waste are generated. More than 130 million tons of sludge, coal processing waste, ash, slag and other products of metallurgical processing of mineral raw materials and fuel have been accumulated in dumps and dumps. At the current rate of processing, about 5 million tons are added to them annually (more than 1 ton per ton of finished steel). Many wastes from metallurgical production are of high quality in terms of their chemical composition, but cannot be used as raw materials in traditional metallurgical processes due to unsuitable physical and mechanical properties. These negative properties, compared to the traditional production method, are favorable for the effective organization of the solid-phase process of the reaction of metal oxides with solid carbon, since the surface energy of dispersed residues is high [1]. Goal: to create a mathematical model for planning experiments on waste management.

Keywords: man-made waste, planning, dependence, mathematical model, coefficient, main parameters.

Methodology

Experimental design involves calculating a matrix for planning and processing the output of a multivariate designed experiment. The creation of functional models of the experimental dependence of the properties of the research object on variable parameters (for example, composition, technological modes, etc.) includes the following steps:

- setting optimized parameters depending on the specific task;
- selection of factors that determine the variability of optimized parameters;
- variable factors for intervals choose
- calculated and experimental conditions choose
- selected factors study object characteristics dependencies mathematical models ramp

up experiment results processing [2-4].

Mathematical model ramp-up for experience orthogonal design method was used.

Factorial planned calculation during every factor a basic level (plan middle) «0» and below and vertex levels as «-» marked and entered factors levels values encoded as «-1» and «+1» respectively accepted. Factors the natural values again calculation values linearity interpolation through implemented completed:

$$x_i = \frac{X_i - x_{0i}}{\Delta X_i},$$

here x_i – encoded in a similar way i -th factor a value, X_i – natural in a similar way i -th factor a value, ΔX_i – i -th coefficient change interval.

Definite factors are listed in Table 1.

To three factorial experimental design was

created (Table 2), planning matrix was calculated.

This experience planning during connected doesn't trample from the ash size controlled because his size experience all in progress in percentages effect does too side by side experience temperature and duration was determined. Exit parameter (Y(u1); Y (u2); Y (u3)) already taken metalized in products iron with size was determined. Exit parameter dimensions reliability determine for in parallel measurements driving need this of 3 parallel tests every 20 impressions calculates.

Next according mathematical models, odds was calculated.

Released parameter variable factors addition mathematical model:

$$\bar{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3.$$

Natural in values these we will take:

$$\bar{y} = 98,224 + 0,986x_1 + (-0,776)x_2 + (-1,168)x_3 + (-7,322)x_1^2 + (-5,037)x_2^2 + (-1,183)x_3^2 + 4,059x_1x_2 + (-0,327)x_1x_3.$$

The mathematical model received then the model coefficients importance (from scratch

Table 1 – Optimized parameters variability determines factors

Levels	Lower level (-1)	Base level (0)	Vertex level (+1)	Range of change	Factor name
X1	1000	1100	1200	100	T, °C
X2	30	60	90	30	Time, min
X3	10	25	40	15	Amount of carbon dioxide, %

Table 2 – Three factorial experimental design

Experiment № (u)	Planning matrix			Variables natural values			Exit parameter		
	X1	X2	X3	T, °C	Time, min	Tap from the ash size, %	Y (u1)	Y (u2)	Y (u3)
1	-1	-1	-1	1000	30	10	86,9	86,8	92,5
2	+1	-1	-1	1200	30	10	78,9	82,6	88,2
3	-1	+1	-1	1000	90	10	78,4	80,0	83,1
4	+1	-0,27	+1	1200	45	20	89,5	80,7	83,2
5	+1	+1	-0,27	1200	60	10	88,9	89,0	83,5
6	-1	-1	+1	1000	30	40	86,9	86,3	92,3
7	-1	0,19	0,19	1000	65,7	27,85	89,3	87,0	89,5
8	0,19	-1	0,19	1119	60	18,75	93,6	93,4	92,0
9	-1	-1	-1	1000	30	10	86,9	86,8	91,2
10	+1	-1	-1	1100	30	10	75,4	83,0	87,7
11	-1	+1	-1	1100	90	10	76,3	80,0	78,9
12	-1	-1	+1	1200	30	32	87,5	82,7	93,2
13	0,19	0,19	-1	1119	65,7	18,75	98,2	98,0	98,4
14	-0,29	+1	+1	1071	90	40	86,8	89,0	88,0
15	+1	-0,29	+1	1200	51,3	40	83,5	90,1	92,3
16	+1	+1	-0,29	1200	90	20,65	89,3	92,0	92,6
17	-1	0,19	0,19	1100	75	24,13	88,6	85,0	88,7
18	0,19	-1	0,19	1000	60	19,8	91,0	93,2	93,3
19	0,19	0,19	-1	1200	68	15,6	81,5	98,0	96,0
20	-0,29	+1	+1	1100	90	24	88,6	89,0	89,2

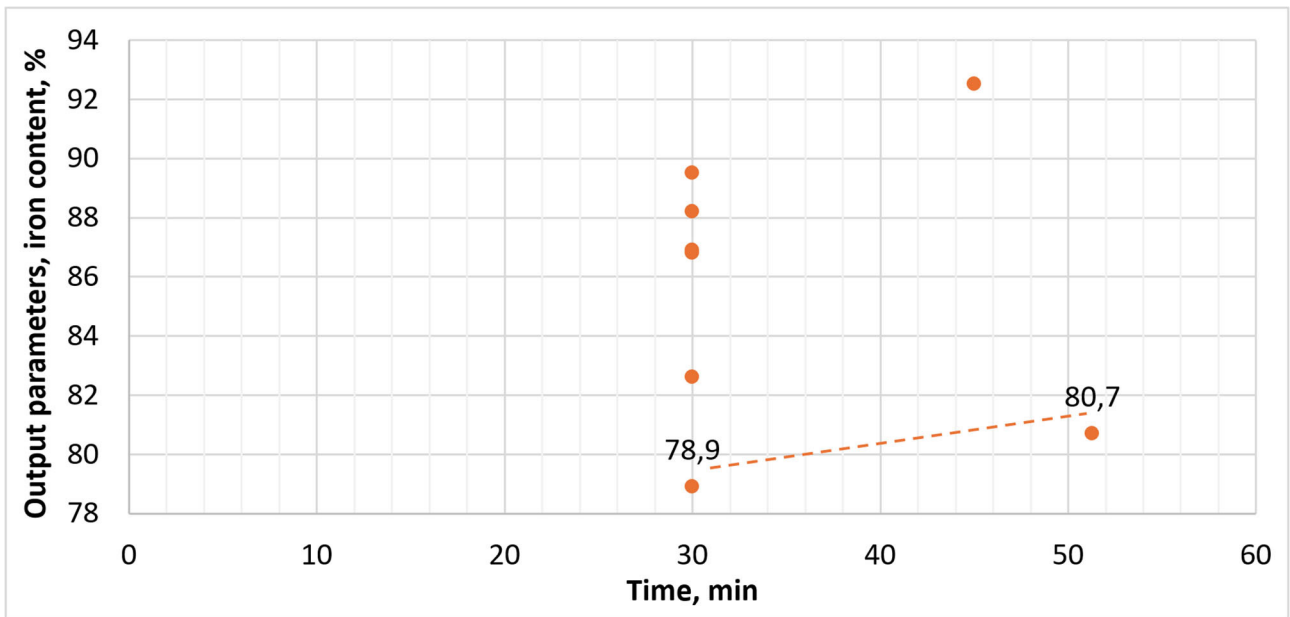


Figure 1 – According to the mathematical model intervals 30-60 minutes iron size decline

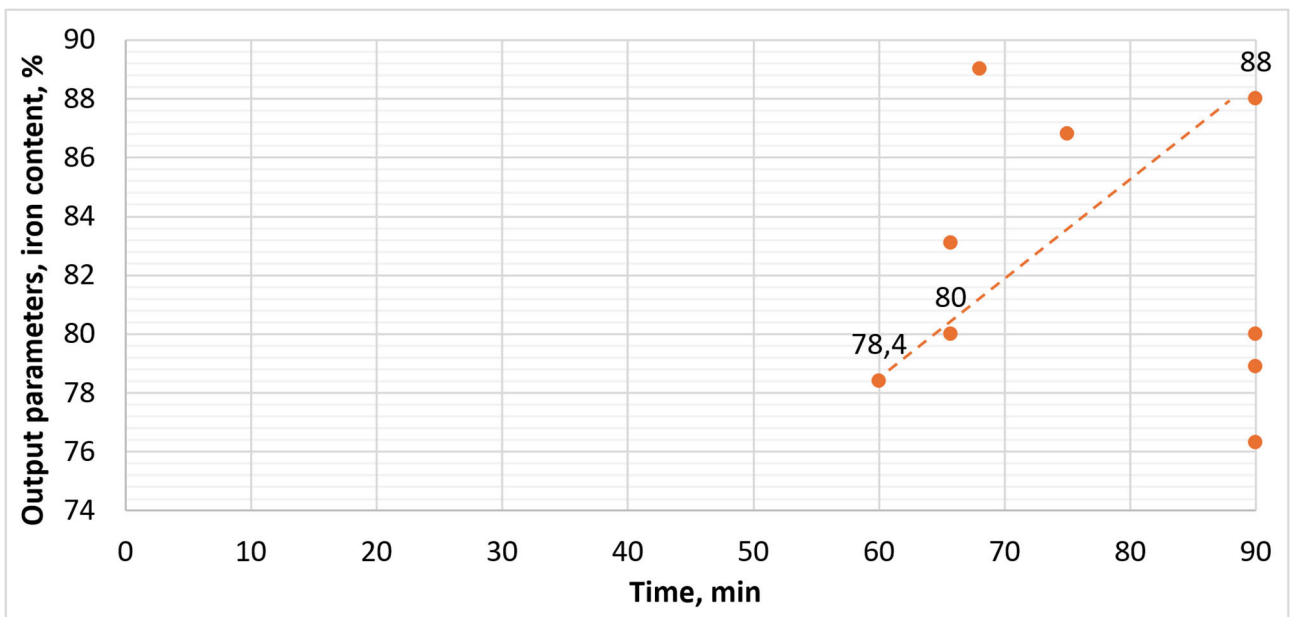


Figure 2 – According to the mathematical model At intervals of 60-90 minutes iron size decline

difference) and his agreement It will be checked. Odds meaning by Student's settlement (tsettlement) for this is checked according to this formula calculated:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}},$$

here b_i – mathematical models i -th coefficient
 i , $S\{b_i\}$ – odds in definition middle square deviation.

Functions odds in definition middle square deviation Here with formula defined:

$$S\{b_i\} = \sqrt{(C_i \cdot S_b^2)},$$

here C_i – plan for the values (Table 3), S_b^2 – reproducibility (variance) in parallel experiments.

Parallel in experiments relapses dispersion here with formula calculated:

$$S_B^2 = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y}_u)^2,$$

where N – is the number of experiments plan, m – each on practice in a parallel, the number of measurements, y_{uj} – the value of the output parameter in the u -th experiment during the j -th parallel measurement, \bar{y}_u – average response value of the output in the u -th experiment.

$t_{\text{settlement}}$ calculated value selected importance level (usually 5%) and $N(m-1)$ degrees of freedom degree compared to the number for tabular t_{table} . $t_i > t_{\text{table}}$ during b_i coefficient it is important to be it is considered.

Parallel in experiments relapse variance: 7,72

Freedom number of degrees: 20

Student criterion tabular value (t_{table}): 2,09 (Table 4)

Mathematical model compatibility using

Fisher's test (F – criterion). It will be checked. For this adequacy dispersion according to this formula calculated:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N - n_3} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \widehat{y}_u)^2,$$

where is n_3 – the number of significant coefficients, \widehat{y}_u – is the response value predicted by the mathematical model equation.

In turn, the Fisher criterion is calculated as the ratio:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_B^2},$$

F – criterion for the selected significance level (usually 5%) and the number of degrees of freedom $N(m-1)$ and $(N-n)$. When $F < F_{\text{table}}$ the mathematical model equation is considered adequate.

Results of statistical processing of the model:

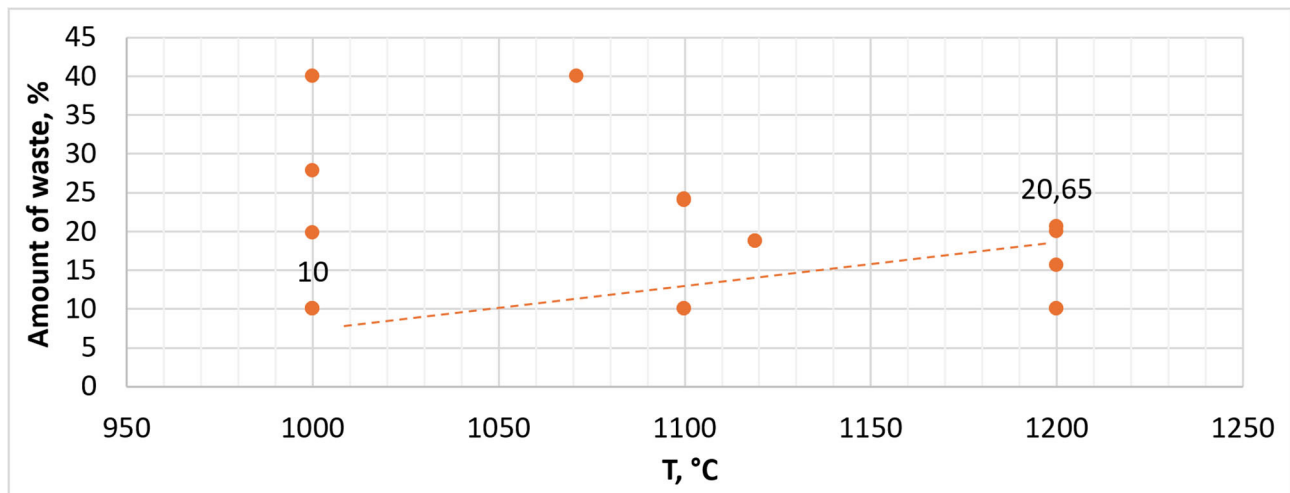


Figure 3 – According to the mathematical model in the given temperature ranges it depends don't trample from the ash effective size

Table 3 – C_i meanings

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
0,768	0,169	0,169	0,169	0,462	0,231	0,258	0,612	0,246	0,564

Table 4 – Student's tsettlement values

Coefficient	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
Student's coefficient (t)	37,944	0,89	0,7	1,054	3,419	3,073	0,248	2,352	0,55	0,552
Meaning	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0

Dispersion of adequacy of the mathematical model: 12,06.

Number of degrees of freedom with significant coefficients: 6

Tabular value of Fisher's test (F_{table}): 2,6.

Calculated value of Fisher's test ($F_{settlement}$): 1,56.

Conclusion

Based on the calculations performed, it follows that the equation of the mathematical model according to the Fisher criterion is adequate. And this model is considered suitable for solving production problems. The optimal parameters for conducting experimental work

are: temperature range 1000-1100°C; duration within 60-90 minutes; at the same time, the amount of rolled scale in the charge is 15-20% by weight, since an increase in its composition does not lead to a significant increase in the iron content in the resulting product, and a small amount does not represent a technical of interest, since a small amount of processing does not bring.

The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP 19175779).

REFERENCES

1. D. Yessengaliev, M. Mukhametkhan, Ye. Mukhametkhan, G. Zhabalova, B. Kelamanov, O. Kolesnikova, B. Shyngysbayev, L. Aikozova, K. Kaskataeva Ye. Kuvatbay. Studies of the Possibility of Improving the Quality of Iron Ores and Processing of Technogenic Composite Iron-Containing Waste of Metallurgical Production / J. Compos. Sci. 2023, 7, 501. <https://doi.org/10.3390/jcs7120501>
2. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Methods for optimizing experiments in chemical technology. – Moscow: Higher School, 1985. – 327 p.
3. Kazakov, V.Yu. Planning and organization of the experiment / V.Yu. Kazakov. – Tomsk: TPU Publishing House, 2009. – 127 p.
4. Gmurman, V.E. Probability theory and mathematical statistics: textbook. manual for universities / V.E. Gmurman. – Moscow: Dzhurait, 2012. – 479 p.

Металданған өнімді алу үшін тәжірибелерді жоспарлаудың математикалық моделі

¹*МУХАМЕТХАН Маржан, докторант, marzhan_mukhametkhan@mail.ru,

²РАХМЕТОВА Анар Аскарбаевна, PhD, ассистент-профессор, anara_rahmetova@mail.ru,

³КЕЛАМАНОВ Бауыржан Сатыбалдыұлы, Т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, kelamanov-b@mail.ru,

⁴ОНУРАЛП Юджел, PhD, профессор, metmuh@itu.edu.tr,

⁵МАКАШЕВА Гульмира Советгалиевна, магистр, аға оқытушы, guma_0675@mail.ru,

¹«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Республика даңғылы, 30, Теміртау, Қазақстан,

²«Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті» КеАҚ, Университет көшесі, 28, Қарағанды, Қазақстан,

³«Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34, Ақтөбе, Қазақстан,

⁴Ыстанбұл техникалық университеті, Маслак, Ыстанбұл, Түркия,

⁵«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қазақстандағы қоршаған ортаның ластануы сыни деңгейге жетті. Metallургиялық кешендері кәсіпорындарының қалдықтары көп жағдайда сақталады және кәдеге жарату ғана емес, сонымен қатар өнеркәсіптік қолдануға жарамды жерлерде де пайдаланылмайды. Жыл сайын қалдықтарды сақтау үшін көбірек жер бөлімшелері алып жатыр, ал ұсақ қалдықтар желмен ұзақ қашықтыққа тасымалданады. «Qarmet» АҚ қалдықтарды пайдалану деректерін талдау дайын таптаманың әрбір тоннасына 2 тоннаға жуық қалдық түзілетінін көрсетеді. Үйінділер мен қалдық қоймаларында 130 миллион тоннадан астам шлам, көмірді дайындаудың қалдықтары, күл, шлак және басқа да минералды шикізат пен отынды metallургиялық өңдеу өнімдері жинақталған. Қайта өңдеудің қазіргі жағдайында оларға жыл сайын шамамен 5 миллион тонна (дайын болаттың тоннасына 1 тоннадан астам) қосылады. Metallургиялық өндірістің көптеген қалдықтары химиялық құрамы бойынша сапаға сәйкес келеді, бірақ физикалық-механикалық қасиеттері бойынша жарамсыз болғандықтан дәстүрлі metallургиялық үрдісте шикізат ретінде пайдаланыла алмайды. Дәстүрлі өндіріс әдісіне қатысты бұл жағымсыз қасиеттер металл оксидтерінің қатты көміртегімен әрекеттесуінің қатты фазалық үрдісін тиімді ұйымдастыру кезінде қолайлы болады, өйткені дисперсті қалдықтардың беттік энергиясы жоғары болады [1]. Мақсаты: қалдықтарды өңдеу үшін эксперименттерді жоспарлаудың математикалық моделін жасау.

Кілт сөздер: техногендік қалдықтар, жоспарлау, тәуелділік, математикалық модель, фактор, негізгі параметрлер.

Математическая модель планирования экспериментов по получению металлизированного продукта

^{1*}**МУХАМЕТХАН Маржан**, докторант, marzhan_mukhametkhan@mail.ru,

²**РАХМЕТОВА Анар Аскарбаевна**, PhD, ассистент-профессор, anara_rahmetova@mail.ru,

³**КЕЛАМАНОВ Бауыржан Сатыбалдыұлы**, к.т.н., ассоциированный профессор, kelamanov-b@mail.ru,

⁴**ОНУРАЛП Юджел**, PhD, профессор, metmuh@itu.edu.tr,

⁵**МАКАШЕВА Гульмира Советгалиевна**, магистр, старший преподаватель, guma_0675@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский индустриальный университет», пр. Республики, 30, Темиртау, Казахстан,

²НАО «Карагандинский университет имени Е.А. Букетова», ул. Университетская, 28, Караганда, Казахстан,

³НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», пр. А. Молдагуловой, 34, Актөбе, Казахстан,

⁴Стамбульский технический университет, Маслак, Стамбул, Турция,

⁵НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Загрязнение окружающей среды в Казахстане достигло критического уровня. Отходы предприятий metallургического комплекса в большинстве случаев складироваются и не только утилизируются, но и не используются в местах, пригодных для промышленного использования. С каждым годом все больше земельных участков занято для хранения отходов, а мелкие отходы переносятся ветром на большие расстояния. Анализ данных по утилизации отходов АО «Кармет» показывает, что на каждую тонну готового протектора образуется около 2 тонн отходов. В отвалах накоплено более 130 миллионов тонн шламов, отходов углеродной переработки, золы, шлаков и других продуктов metallургической переработки минерального сырья и топлива. При нынешних темпах переработки к ним ежегодно прибавляется около 5 млн тонн (более 1 тонны на тонну готовой стали). Многие отходы metallургического производства соответствуют качеству по химическому составу, но не могут быть использованы в качестве сырья в традиционных metallургических процессах из-за непригодных физико-механических свойств. Эти отрицательные свойства, по сравнению с традиционным способом, производства благоприятны при эффективной организации твердофазного процесса реакции оксидов металлов с твердым

углеродом, поскольку поверхностная энергия дисперсных остатков высока [1]. Цель: создать математическую модель для планирования экспериментов по обращению с отходами.

Ключевые слова: техногенные отходы, планирование, зависимость, математическая модель, коэффициент, основные параметры.

REFERENCES

1. D. Yessengaliev, M. Mukhametkhan, Ye. Mukhametkhan, G. Zhabalova, B. Kelamanov, O. Kolesnikova, B. Shyngysbayev, L. Aikozova, K. Kaskataeva Ye. Kuatbay. Studies of the Possibility of Improving the Quality of Iron Ores and Processing of Technogenic Composite Iron-Containing Waste of Metallurgical Production / J. Compos. Sci. 2023, 7, 501. <https://doi.org/10.3390/jcs7120501>
2. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Methods for optimizing experiments in chemical technology. – Moscow: Higher School, 1985. – 327 p.
3. Kazakov, V.Yu. Planning and organization of the experiment / V.Yu. Kazakov. – Tomsk: TPU Publishing House, 2009. – 127 p.
4. Gmurman, V.E. Probability theory and mathematical statistics: textbook. manual for universities / V.E. Gmurman. – Moscow: Dzhurait, 2012. – 479 p.