

Код МРНТИ 53.31.15

Ye. Mukhametkhan<sup>1</sup>, M. Mukhametkhan<sup>1</sup>, G.G. Zhabalova<sup>1</sup>, V.M. Shevko<sup>2</sup><sup>1</sup>Non-Profit Joint-Stock Company «Karaganda industrial university» (Temirtau, Kazakhstan),<sup>2</sup>Non-Profit Joint-Stock Company «M. Auezov South Kazakhstan university» (Shymkent, Kazakhstan)

## THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE CHANGE OF THE GIBBS FREE ENERGY IN THE THERMODYNAMIC INTERACTION OF IRON PHOSPHATE WITH HYDROGEN AND CARBON MONOXIDE

**Abstract.** Today, the Lisakovskoye deposit of oolitic iron ores is one of the raw material bases of the ArcelorMittal Temirtau Joint Stock Company. However, their use in metallurgical production is currently limited due to the high content of phosphorus. It has been established that phosphorus in the Lisakovsky concentrate is in the form of various minerals (oolites, vivianite, hydrogoethite) and compounds (iron phosphates, hydrated phosphorus-containing components). By interacting with gaseous compounds of these various iron phosphates, conditions can be created to reduce excess phosphorus. This article discusses the thermodynamic interaction of iron phosphate with hydrogen and carbon monoxide.

**Key words:** phosphorus, carbon monoxide, hydrogen, calculation, enthalpy, metallurgical production, phosphorus-containing components, thermodynamics, iron phosphates, hydrated phosphorus-containing components.

**Темір фосфатының сутегі мен көміртегі тотығымен термодинамикалық әрекеттесуі кезінде температураның Гиббс бос энергиясының өзгеруіне әсері**

**Аңдатпа.** Бүгінгі таңда Лисаковское оолиттік темір рудалары кен орны «АрселорМиттал Теміртау» акционерлік қоғамының шикізат базаларының бірі болып табылады. Бірақ олардың металлургиялық өндірісте қолданылуы қазіргі уақытта фосфордың жоғары болуына байланысты шектеулі. Лисаковский концентратындағы фосфор әртүрлі минералдар (оолиттер, вивианит, гидрогөзтит) және қосылыстар (темір фосфаттары, гидратталған фосфоры бар компоненттер) түрінде болатыны анықталды. Осы әртүрлі темір фосфаттарының газ тәрізді қосылыстарымен әрекеттесе отырып, артық фосфорды азайту үшін жағдай жасауға болады. Бұл мақалада темір фосфатының сутегімен және көміртегі оксидімен термодинамикалық әрекеттесуі қарастырылады.

**Түйінді сөздер:** фосфор, көміртегі тотығы, сутегі, есептеу, энтальпия, металлургиялық өндіріс, құрамында фосфоры бар компоненттер.

**Влияние температуры на изменение свободной энергии Гиббса при термодинамическом взаимодействии фосфата железа с водородом и монооксидом углерода**

**Аннотация.** На сегодняшнее время Лисаковское месторождение оолитовых железных руд является одним из сырьевых баз Акционерного общества «АрселорМиттал Теміртау». Однако в настоящее время использование их в металлургическом производстве ограничено из-за высокого содержания фосфора. Установлено, что фосфор в лисаковском концентрате находится в виде различных минералов (оолиты, вивианит, гидрогөзтит) и соединений (фосфаты железа, гидратированные фосфоросодержащие компоненты). Взаимодействуя с газообразными соединениями этих различных фосфатов железа, можно создать условия для снижения избытка фосфора. В этой статье рассматривается термодинамическое взаимодействие фосфата железа с водородом и оксидом углерода.

**Ключевые слова:** фосфор, оксид углерода, водород, расчет, энтальпия, металлургическое производство, фосфоросодержащие компоненты.

### Introduction

The Lisakovskoye deposit is located within the central part of the western side of the Turgai trough and is confined to the Middle Oligocene river valley. The sedimentary deposit of oolitic iron ores extends over a latitudinal strip more than 100 km long and from several hundred meters to 6 km wide. The ore reserves are 1.7 billion tons with an average Fe content of 35.2%. Oolitic ores are confined to the Middle Oligocene river valley with a length of more than 100 km and a width of 2-8 km. The thickness of the ore-bearing strata is 25–35 m. The quality of the ores worsens the presence of phosphorus in them (0.45–0.55%), which limits their use in metallurgical production<sup>1</sup>.

In the Lisakovsky concentrate, phosphorus is found in the form of various minerals (oolites, vivianite, hydrogoethite) and compounds (iron phosphates, hydrated

phosphorus-containing components). To create conditions for reducing the excess of phosphorus in the concentrate, the thermodynamic interaction of iron phosphate with hydrogen and carbon monoxide is considered [1].

### Materials and methods

Thermodynamic interaction of iron phosphate with hydrogen and carbon monoxide will be calculated using a software package<sup>2-5</sup> HSC-5.1. The HSC-5.1 software package is designed for calculating thermodynamic functions (molar heat capacity of enthalpy, entropy, Gibbs energy) of an individual substance or changes in these thermodynamic functions during a chemical reaction. To calculate the thermodynamic functions that characterize an individual substance, the standard values of enthalpy H298, entropy S298, and coefficients of the polynomial A, B, C, D are used, which are stored in the database,

<sup>1</sup><http://www.mining-enc.ru/lisakovskij-gorno-obogatitelnyj-kombinat/>

<sup>2</sup>Shevko V., Serzhanov G., Karataeva G., Amanov D. Calculation of the equilibrium distribution of elements in relation to the software package HSC-5.1 computer program. / Certificate for the object protected by copyright of the Republic of Kazakhstan №1501 dated January 29, 2019.

<sup>3</sup>Roine A. Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database. – Pori: Outokumpu Research Oy, 2002.

<sup>4</sup>Antti R., Jarkko M., Tuukka K., Peter B., Pertti L. HSC Chemistry 6.0 User's Guide. – Pori: Outotec Research Oy, 2006.

<sup>5</sup>Ageev N.G., Nabochenko S.S. Metallurgical calculations using the HSC Chemistry application package: textbook. allowance. – Yekaterinburg: Ural University Press, 2016. – 124 p.

Table 1

*Influence of temperature on the thermodynamic characteristics of the interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with hydrogen  $H_2$*

Кесте 1

*Температураның  $FePO_4$  темір фосфатының  $H_2$  сутегімен әрекеттесуінің термодинамикалық сипаттамаларына әсері*

Таблица 1

*Влияние температуры на термодинамические характеристики взаимодействия фосфата железа  $FePO_4$  с водородом  $H_2$*

T, K	$\Delta H$ , kJ	$\Delta S$ , J/K	$\Delta G$ , kJ
100	258,707	277,982	244,808
150	261,916	329,921	237,172
200	265,219	367,923	228,427
250	268,516	397,353	218,847
300	271,765	421,054	208,607
350	275,076	441,456	197,821
400	278,560	460,053	186,549
450	282,193	477,166	174,831
500	285,964	493,054	162,701
550	289,864	507,919	150,187
600	293,889	521,922	137,312
650	298,033	535,190	124,097
700	302,297	547,825	110,558
750	306,677	559,912	96,710
800	311,174	571,518	82,566
850	315,786	582,702	68,138
900	320,513	593,509	53,434
950	325,356	603,982	38,465
1000	330,315	614,154	23,238
1050	335,389	624,056	7,760
1100	340,579	633,713	-7,963
1150	345,888	643,152	-23,924
1200	351,314	652,389	-40,119

Table 2

*Influence of temperature on the thermodynamic characteristics of the interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with carbon monoxide  $CO$*

Кесте 2

*Температураның темір фосфатының  $FePO_4$  көміртегі тотығымен  $CO$  әрекеттесуінің термодинамикалық сипаттамаларына әсері*

Таблица 2

*Влияние температуры на термодинамические характеристики взаимодействия фосфата железа  $FePO_4$  с монооксидом углерода  $CO$*

T, K	$\Delta H$ , kJ	$\Delta S$ , J/K	$\Delta G$ , kJ
100	97,237	-42,774	97,771
150	98,293	22,068	97,879
200	100,562	125,550	97,424
250	103,601	233,586	96,301
300	107,239	339,471	94,509
350	111,431	442,696	92,063
400	116,094	542,235	88,983
450	121,139	637,230	85,294
500	126,503	727,609	81,027
550	132,142	813,572	76,209
600	138,021	895,399	70,866
650	144,111	973,381	65,024
700	150,388	1047,788	58,706
750	156,827	1118,861	51,934
800	163,408	1186,814	44,727
850	170,112	1251,838	37,105
900	176,927	1314,156	29,085
950	183,849	1374,035	20,683
1000	190,875	1431,688	11,914
1050	197,992	1487,243	2,791
1100	205,191	1540,829	-6,673
1150	212,466	1592,568	-16,466
1200	219,810	1642,575	-26,576

and the value of the molar heat capacity is calculated at an arbitrary temperature T in accordance with the expression.

Thermodynamic modeling of the joint interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with hydrogen  $H_2$  and carbon monoxide  $CO$  performed using a software package HSC-5.1. The reaction Equations subfunction allows you to calculate  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$  and  $K_p$  of these reactions<sup>6, 7</sup>, the Equilibrium Compositions subfunction allows you to

simulate the interaction in the system under study with the equilibrium quantitative distribution of substances in the system under study. Calculation of the equilibrium by the HSC-5.1 Outokumpu complex is based on the principle of minimum Gibbs energy [2-4], taking into account the activities of substances based on the following expression:

$$G(x) = \sum_{a=1}^f \times \sum_{j=1}^{in} X_j [C_j + \ln(X_j/X_a) + \ln \gamma_j] \rightarrow G(x)min;$$

<sup>6</sup><https://metal-archive.ru/vzaimodeystvie-metallov/435-zavisimost-energii-gibbsa-ot-temperatury.html>

<sup>7</sup><https://helpiks.org/3-93906.html>

Table 3

Thermodynamic parameters per 1 g/mol of  $FePO_4$  phosphate in the interaction of iron phosphate with hydrogen

Кесте 3

Темір фосфатының сутегімен өзара әрекеттесуі кезінде 1 г/моль  $FePO_4$  фосфатына термодинамикалық параметрлер

Таблица 3

Термодинамические параметры на 1 г/моль фосфата  $FePO_4$  при взаимодействии фосфата железа с водородом

T, K	$\Delta H$ , kJ	$\Delta S$ , J/K	$\Delta G$ , kJ
100	258,707	277,982	244,808
150	261,916	329,921	237,172
200	265,219	367,923	228,427
250	268,516	397,353	218,847
300	271,765	421,054	208,607
350	275,076	441,456	197,821
400	278,560	460,053	186,549
450	282,193	477,166	174,831
500	285,964	493,054	162,701
550	289,864	507,919	150,187
600	293,889	521,922	137,312
650	298,033	535,190	124,097
700	302,297	547,825	110,558
750	306,677	559,912	96,710
800	311,174	571,518	82,566
850	315,786	582,702	68,138
900	320,513	593,509	53,434
950	325,356	603,982	38,465
1000	330,315	614,154	23,238
1050	335,389	624,056	7,760
1100	340,579	633,713	-7,963
1150	345,888	643,152	-23,924
1200	351,314	652,389	-40,119

under restrictions in the form of a system of linear equations of the mass balance of a substance:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j = B_i;$$

and the normalization condition:

$$\sum_{j=1}^{L_a} X_j = X_a.$$

where:

$f$  – total number of the phases;

$B_i$  – total number of independent component  $i$  in the system;

$j_a$  – the weight of numbers representing the  $i$ -th independent components

Table 4

Thermodynamic parameters per 1 g/mol of  $FePO_4$  phosphate in the interaction of iron phosphate with carbon monoxide

Кесте 4

1 г/моль  $FePO_4$  фосфатына арналған термодинамикалық параметрлер темір фосфатының көміртегі тотығымен әрекеттесуі кезінде

Таблица 4

Термодинамические параметры на 1 г/моль фосфата  $FePO_4$  при взаимодействии фосфата железа с монооксидом углерода

T, K	$\Delta H$ , kJ	$\Delta S$ , J/K	$\Delta G$ , kJ
100	97,237	-42,774	97,771
150	98,293	22,068	97,879
200	100,562	125,550	97,424
250	103,601	233,586	96,301
300	107,239	339,471	94,509
350	111,431	442,696	92,063
400	116,094	542,235	88,983
450	121,139	637,230	85,294
500	126,503	727,609	81,027
550	132,142	813,572	76,209
600	138,021	895,399	70,866
650	144,111	973,381	65,024
700	150,388	1047,788	58,706
750	156,827	1118,861	51,934
800	163,408	1186,814	44,727
850	170,112	1251,838	37,105
900	176,927	1314,156	29,085
950	183,849	1374,035	20,683
1000	190,875	1431,688	11,914
1050	197,992	1487,243	2,791
1100	205,191	1540,829	-6,673
1150	212,466	1592,568	-16,466
1200	219,810	1642,575	-26,576

in the phase and system;

$n$  – number of independent components of the system;

$C_j$  – empirical thermodynamic function;

$X_a$  – the total number of moles of phase  $a$  in the system;

$X_j/X_a$  – dependent mole fraction of component  $j$  in phase  $a$ ;

$Y_j$  – the activity coefficient of the  $j$  component.

### Results and its discussion

The equilibrium parameters of a thermodynamic system are determined by solving the mathematical problem of finding the extremum, taking into account all restrictions, using Lagrange functions and the method of successive approximations of Newton.

When working with the HSC-5.1 complex, the initial information is presented in the form of the quantitative (kg) distribution of substances in the system under study. Then, in accordance with the algorithm developed by us, the equilibrium degree of element distribution ( $\alpha_{EL}$ , %) over the interaction products was calculated.

Thermodynamic interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with hydrogen  $H_2$  and carbon monoxide  $CO$ . Results of the study:

These reactions were considered:

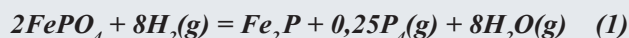


Table 1 shows that the interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with hydrogen  $H_2$  is characterized by energy absorption. This is evidenced by the positive values of the enthalpy  $\Delta H$  in the second column of the table, which means that the process is accompanied by energy absorption. When the temperature increases from 100 K to 1200 K, the  $\Delta G$  in the process changes from a positive to a negative value. In table 2, the interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with carbon monoxide  $CO$  is also characterized with energy absorption. This can be seen from the positive value of the enthalpy  $\Delta H$ .

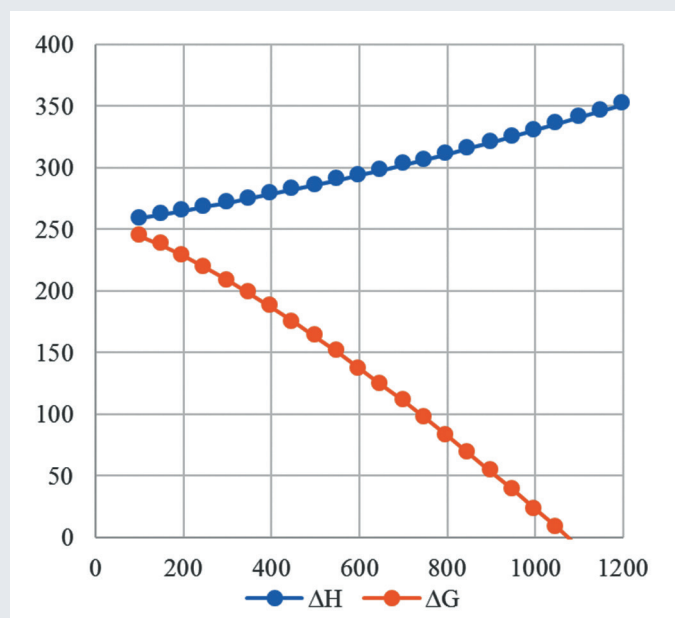
The temperature of the beginning of the reduction of  $Fe_2P$  by hydrogen starts (according to  $\Delta G = 0$ ) from 1074,7 K and by carbon monoxide starts (according to  $\Delta G = 0$ )

from 1070 K. Therefore, as the temperature increases,  $FePO_4$  is reduced to  $Fe_2P$ .

1 mol of the initial phosphate,  $FePO_4$ , was selected to bring the thermodynamic parameters to 1 mol of the substance. For this purpose, the enthalpy content at different temperatures was divided by the number of moles of phosphate contained in the initial formulas (1, 2). Table 3 shows the thermodynamic parameters per 1 g/mol of  $FePO_4$  phosphate in the interaction of iron phosphate with hydrogen. Table 4 shows the thermodynamic parameters per 1 g/mol of  $FePO_4$  phosphate when iron phosphate reacts with carbon monoxide. Figures 1 and 2 show the effect of temperature on changes in the enthalpy  $\Delta H$  and the Gibbs energy  $\Delta G$  during the interaction of iron phosphate with hydrogen and carbon monoxide.

### Conclusion

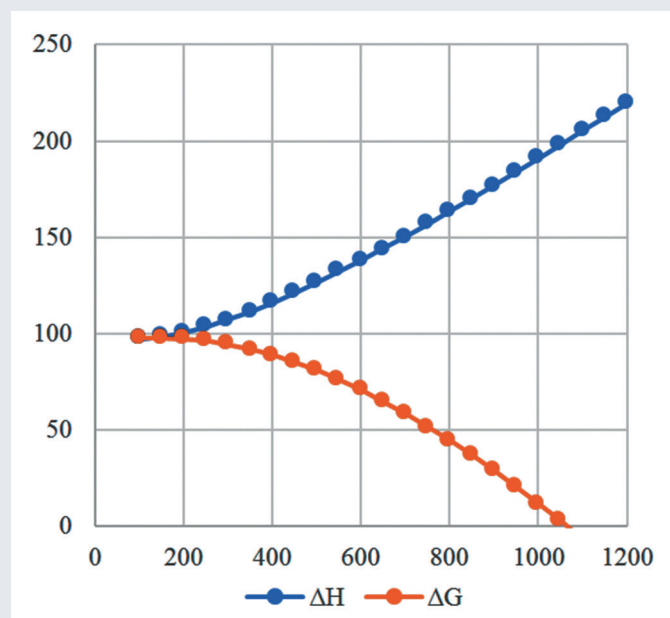
Using the HSC-5.1 software package, we performed thermodynamic modeling of the joint interaction of iron phosphates  $FePO_4$  with hydrogen  $H_2$  and carbon monoxide  $CO$ . During the calculation at  $\Delta G = 0$ , the temperature of the beginning of the reduction of  $Fe_2P$  from iron phosphate  $FePO_4$  with hydrogen (1074,7 K) and carbon monoxide (1070 K) was determined. At a real process temperature of 1100-1200°C, based on the above figures, when the Gibbs energy changes, the decomposition of  $FePO_4$  proceeds with the highest thermodynamic possibility.



**Figure 1. Influence of temperature on the change in the enthalpy  $\Delta H$  and Gibbs energy  $\Delta G$  by 1 g/mol  $FePO_4$  in the interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with hydrogen  $H_2$ .**

**Сурет 1. Темір фосфатының  $FePO_4$  сутегімен  $H_2$  әрекеттесуі кезінде температураның энтальпия  $\Delta H$  мен Гиббс энергиясының  $\Delta G$  1 г/моль  $FePO_4$ -ке өзгеруіне әсері.**

**Рис. 1. Влияние температуры на изменение энтальпии  $\Delta H$  и энергии Гиббса  $\Delta G$  на 1 г/моль  $FePO_4$  при взаимодействии фосфата железа  $FePO_4$  с водородом  $H_2$ .**



**Figure 2. Influence of temperature on the change in the enthalpy  $\Delta H$  and Gibbs energy  $\Delta G$  by 1 g/mol  $FePO_4$  in the interaction of iron phosphate  $FePO_4$  with carbon monoxide  $CO$ .**

**Сурет 2. Темір фосфаты  $FePO_4$  көміртегі тотығымен  $CO$  әрекеттескен кезде температураның энтальпия  $\Delta H$  мен Гиббс энергиясының  $\Delta G$  1 г/моль  $FePO_4$ -ке өзгеруіне әсері.**

**Рис. 2. Влияние температуры на изменение энтальпии  $\Delta H$  и энергии Гиббса  $\Delta G$  на 1 г/моль  $FePO_4$  при взаимодействии фосфата железа  $FePO_4$  с монооксидом углерода  $CO$ .**

## REFERENCES

1. Kaskataeva K.B., Kryazheva T.V. et al. *Xarakteristika rud Lisakovskogo mestorozhdeniya s cel'yu ix kompleksnoj pererabotki [Characteristics of Lisakovsky ores deposits for the purpose of their complex processing]. // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of Tomsk polytechnic university. Engineering of georesources. – Tomsk, 2021. – T. 332. – №5. – P. 7-16 (in Russian)*
2. Demidov A.I., Markelov I.A. *Termodinamika vzaimodejstviya oksidov zheleza s vodorodom s uchetom izmeneniya sostava vyustita pri izmenenii temperatury [Thermodynamics of the interaction of iron oxides with hydrogen, taking into account the change in the composition of wuestite with a change in temperature]. // Nauchno-texnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politexnicheskogo universiteta = Scientific and technical statements of the Saint-Petersburg State Polytechnic University. – St. Petersburg, 2013. – №3(178). – P. 193-198 (in Russian)*
3. Demidov A.I., Markelov I.A. *Termodinamika vosstanovleniya zheleza iz oksidov monooksidom ugleroda v prisutstvii ugleroda [Thermodynamics of reduction of iron from oxides by carbon monoxide in the presence of carbon]. // Materialovedenie. E'nergetika = Materials Science. Energy. – 2021. – T. 27. №4. – S. 124-131 (in Russian)*
4. Demidov A.I., Markelov I.A. *Termodinamika vosstanovleniya zheleza iz oksidov monooksidom ugleroda v smesi s dioksidom ugleroda pri postoyannom sodержanii kisloroda v sisteme [Thermodynamics of the reduction of iron from oxides by carbon monoxide mixed with carbon dioxide at a constant oxygen content in the system]. // Nauchno-texnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politexnicheskogo universiteta. Estestvennye i inzhenernye nauki = Scientific and technical statements of the Saint-Petersburg State Polytechnic University. Natural and engineering sciences. – S-Pb, 2019. – T. 25. – №1. – P. 174-180 (in Russian)*

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қасқатаева Қ.Б., Кряжева Т.В. және т.б. *Лисаковск кендерінің сипаттамасы оларды кешенді өңдеу мақсатында кен орындары. // Томск хабаршысы политехникалық университеті. Георесурстар инженериясы. – Томск, 2021. – Т. 332. – №5. – Б. 7-16 (орыс тілінде)*
2. Демидов А.И., Маркелов И.А. *Температураның өзгеруімен вуэстит құрамының өзгеруін ескере отырып, темір оксидтерінің сутегімен әрекеттесуінің термодинамикасы. // Санкт-Петербург мемлекеттік политехникалық университетінің ғылыми-техникалық тұжырымдары. – СПб., 2013. – №3(178). – Б. 193-198 (орыс тілінде)*
3. Демидов А.И., Маркелов И.А. *Көміртек қатысында оксидтерден темірді көміртегі тотығымен тотықсыздандырудың термодинамикасы. // Материалтану. Энергия. – 2021. – Т. 27. – №4. – Б. 124-131 (орыс тілінде)*
4. Демидов А.И., Маркелов И.А. *Жүйедегі тұрақты оттегі мөлшері кезінде көмірқышқыл газымен араласқан көміртегі тотығының оксидтерінен темірді тотықсыздандырудың термодинамикасы. // Санкт-Петербург мемлекеттік политехникалық университетінің ғылыми-техникалық тұжырымдары. Жаратылыстану және инженерлік ғылымдар. – СПб., 2019. – Т. 25. – №1. – Б. 174-180 (орыс тілінде)*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каскатаева К.Б., Кряжева Т.В. и др. *Характеристика руд Лисаковского месторождения с целью их комплексной переработки. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск, 2021. – Т. 332. – №5. – С. 7-16 (на русском языке)*
2. Демидов А.И., Маркелов И.А. *Термодинамика взаимодействия оксидов железа с водородом с учетом изменения состава вюстита при изменении температуры. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – СПб., 2013. – №3(178). – С. 193-198 (на русском языке)*

3. Демидов А.И., Маркелов И.А. Термодинамика восстановления железа из оксидов монооксидом углерода в присутствии углерода. // *Материаловедение. Энергетика.* – 2021. – Т. 27. – №4. – С. 124-131 (на русском языке)
4. Демидов А.И., Маркелов И.А. Термодинамика восстановления железа из оксидов монооксидом углерода в смеси с диоксидом углерода при постоянном содержании кислорода в системе. // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Естественные и инженерные науки.* – СПб, 2019. – Т. 25. – №1. – С. 174-180 (на русском языке)

#### Information about the authors:

**Mukhametkhan Ye.**, PhD Student at the Department of Metallurgy and Materials Science of the Karaganda Industrial University (Temirtau, Kazakhstan), [mukhametkhan.yerlan@mail.ru](mailto:mukhametkhan.yerlan@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1226-9165>

**Mukhametkhan M.**, PhD Student at the Department of Metallurgy and Materials Science of the Karaganda Industrial University (Temirtau, Kazakhstan), [marzhan\\_mukhametkhan@mail.ru](mailto:marzhan_mukhametkhan@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1233-5954>

**Zhabalova G.G.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Energy of the Karaganda Industrial University (Temirtau, Kazakhstan), [g-zhabalova@mail.ru](mailto:g-zhabalova@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0736-5120>

**Shevko V.M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head at the Department of Metallurgy of the South Kazakhstan University named M. Auezov (Shymkent, Kazakhstan), [shevkovm@mail.ru](mailto:shevkovm@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9814-6248>

#### Авторлар туралы мәлімет:

**Мухаметхан Е.**, Қарағанды индустриялық университетінің «Металлургия және материалтану» кафедрасының докторанты (Теміртау қ., Қазақстан)

**Мухаметхан М.**, Қарағанды индустриялық университетінің «Металлургия және материалтану» кафедрасының докторанты (Теміртау қ., Қазақстан)

**Жабалова Г.Г.**, техника ғылымының кандидаты, доцент, Қарағанды индустриялық университетінің «Энергетика» кафедрасының аға оқытушысы (Теміртау қ., Қазақстан)

**Шевко В.М.**, техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің «Металлургия» кафедрасының меңгерушісі (Шымкент қ., Қазақстан)

#### Сведения об авторах:

**Мухаметхан Е.**, докторант кафедры «Металлургия и материаловедение» Карагандинского индустриального университета (г. Темиртау, Казахстан)

**Мухаметхан М.**, докторант кафедры «Металлургия и материаловедение» Карагандинского индустриального университета (г. Темиртау, Казахстан)

**Жабалова Г.Г.**, канд. техн. наук, доцент, старший преподаватель кафедры «Энергетика» Карагандинского индустриального университета (г. Темиртау, Казахстан)

**Шевко В.М.**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургия» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова (г. Шымкент, Казахстан)



## ОТКРЫТА ПОДПИСКА

КАЗПОЧТА ЕВРАЗИЯ ПРЕСС ЭВРИКА-ПРЕСС

Подписной индекс 75807

Заявка на главной странице сайта [MINMAG.KZ](http://MINMAG.KZ)

Следите за новостями!

 [minmag.kz](http://minmag.kz)

 [@minmag.kz](https://www.instagram.com/minmag.kz)

 +7 747 343 15 02

 [post-dts@yandex.kz](mailto:post-dts@yandex.kz)

050026, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Карасай батыра, 146, оф. 401

