

**ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАРЫ**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**TECHNICAL SCIENCES**

**МРНТИ 53.03.03**

**Ti-Si-Al ЖӘНЕ Fe-Si-Al ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ**  
**ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ**

**Б.С. КЕЛАМАНОВ, О.Р. САРИЕВ, А.Г. БУРУМБАЕВ, И.Ғ. ЖОЛДАСБЕКОВ**

*Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан*

**Аңдатпа.** Мақалада Ti-Si-Al және Fe-Si-Al үштік жүйелеріне арналған «Triangle» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептеулерді жүргізу және зерттеу сұрақтары қарастырылған. Алынған нәтижелер бойынша темір-титан қорытпаларында пайда болатын негізгі фазалар және олардың температураға байланысты өзгерістері зерттелді. Сонымен қатар, балқытудың нақты материалдық тепе-теңдігін жасау және қорытпаның құрамын термодинамикалық реттеу мүмкіндігі қарастырылды.

**Кілт сөздер:** термодинамика, фаза, жүйе, температура, диаграмма, қосылыстар.

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы исследования и проведения термодинамических расчетов с использованием комплексной программы «Triangle» для тройной системы Ti-Si-Al и Fe-Si-Al. По полученным результатам были изучены основные фазы, образовавшегося в железо-титановых сплавах, и их изменения в зависимости от температуры. Кроме того, была рассмотрена возможность создания реального материального баланса плавки и термодинамического регулирования состава сплава.

**Ключевые слова:** термодинамика, фаза, система, температура, диаграмма, соединения.

**Annotation.** The article deals with the research and implementation of thermodynamic calculations using the complex program «Triangle» for the triple system Ti-Si-Al and Fe-Si-Al. By the results the main phases a investigated that occur. In addition, the possibility of creating a real material equilibrium of melting and thermodynamic regulation of the alloy composition was considered.

**Key words:** thermodynamics, phase, system, temperature, diagram, compounds.

### **Кіріспе**

Көп компонентті жүйелерді кешенді теориялық зерттеу практикасында көп компонентті жүйелердегі фазалық айналымдардың ерекшеліктерін негізгі жүйе өлшемі бойынша термодинамикалық төзімді қарапайым ішкі жүйелерге бөлу арқылы зерттеуді әлдеқайда жеңілдететін термодинамикалық-диаграммалық сараптау әдісі белгілі. Термодинамикалық-диаграммалық талдау зерттелетін жүйедегі компоненттердің химиялық өзара әрекеттесуінің термодинамикалық бағалауын геометриялық диаграммамен ұштастырады. Сондай-ақ, отқа төзімді материалдар және ферроқорытпалар өндірісінің физика-химиялық негіздерін зерттейді [1]. Көп компонентті жүйелерді зерттеу әдісі нақты

технология үшін ақырғы фазалық облыстарды анықтауға мүмкіндік береді. Әрбір анықталған кваздыжүйе қатты ерітінділердің түзілу заңдылықтарына және қасиеттерінің өзгеруіне байланысты бұл ретте термодинамикалық басқа фазалардың пайда болуына жол бермейді.

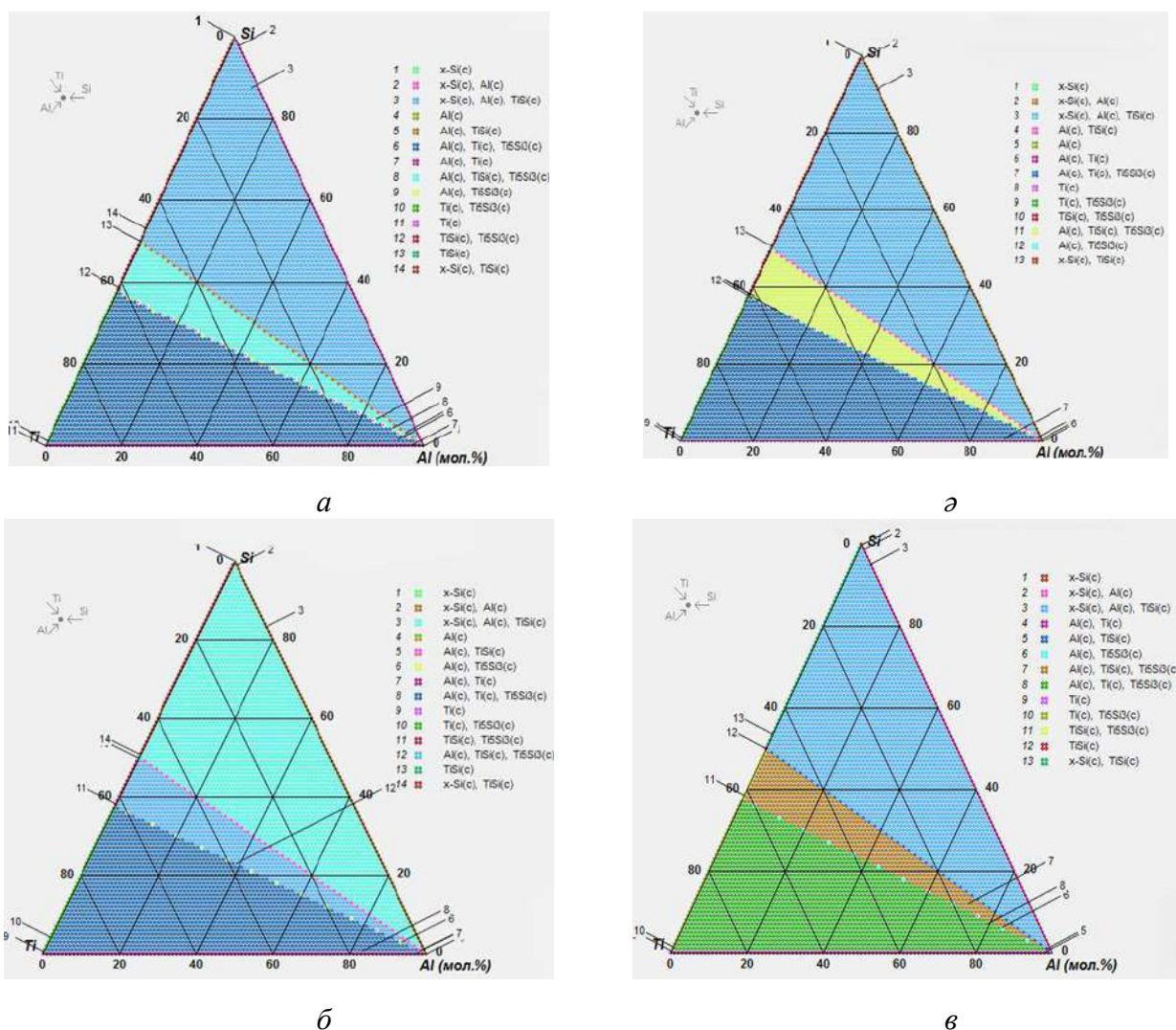
Қарапайым және нақты әдіс арқылы тотықтық жүйелердің фазалық құрамын есептеу теңдігін профессор Акбердин А.А. ұсынды. Яғни, ол пайда болған фазалардың бастапқы тотықтарын бөлу теңгеріміне негізделеді [2,3]. Темір, оттегі және көміртегі негізіндегі жүйелердің толық термодинамикалық талдауын орындаған В.П. Малышев пен Р.Ж. Симбинов болып табылады [4]. Бұл үшбұрыштардағы жекелеген бөлімшелердің тепе-теңдік құрамы мен тиісті реакциялардың стехиометриялық стандартты жазбасының арасында туындайтын қайшылықтарды шешуге мүмкіндік береді. Мұндай есептеулердің көмегімен пайда болған фазалардың ақырғы фазалық облыстардан тұратын элементтердің бөлінуін анықтауға болады. Мұндай мәліметтерді екі жолмен: яғни тәжірибелік әдістер арқылы немесе термодинамикалық модельдеудің көмегімен қарастыруға болады. Соның біріншісі тәжірибелік әдіс өте көп еңбекті қажет етеді және оларды жүргізу мен интерпретациялау үшін үлкен уақыт шығындарын талап етеді (әсіресе көп компонентті жүйелер үшін). Ал термодинамикалық модельдеу әдістері тәжірибенің есептеу нәтижелерін анықтау кезінде тиімді болып табылады.

Сондықтан аталған жұмыс аясында «Тетра» кешенді бағдарламасының көмегімен Fe-Ti-Al-Si төрткомпонентті жүйені құрайтын, әрбір жеке жүйелерге термодинамикалық талдау жүргізілді. «Тетра» кешенді бағдарламасында «Triangle» интерфейсі қарастырылған, оның көмегімен бір циклде конденсацияланған барлық фазардың кешенін құруға болады.

### **Негізгі бөлім**

Fe-Ti-Al-Si негізіндегі металдық жүйенің фазалық құрамын анықтау үшін графикалық әдіс қолданылды. Есептеу барысында көп компонентті жүйенің тетраэдрациясы тұрғызылды және осы тетраэдрде координат торларын қолдану арқылы құраушы фазалар анықталды.

«Triangle» кешенді бағдарламасы үш фазалы диаграммаларды құру үрдісін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тепе-теңдік фазалық құрамын есептеу үшін екі режимде жүргізуге болады. Яғни, біріншіден изотермиялық жағдай үшін, жүйенің тепе-теңдігі температурасы (Т, К) және қысым (р, МПа) мәндерімен орнатылған кезде. Ал екіншіден есептеудің әр нүктесінде қысым (р, МПа) және энтальпия (бастапқы материалдардың қалыптасу энтальпиясы) (I, кДж/кг) мәндерімен көрсетілген адиабатикалық тепе-теңдік өзгерісі (жану) жағдайлары үшін.



Сурет 1 - Өртүрлі температурадағы Ti-Si-Al үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 1473К (*а*), 1673К (*б*), 1873К (*в*), 2073К (*д*)

«Triangle» бағдарламасын қолдана отырып, Fe-Ti-Al-Si негізіндегі металдық жүйенің негізгі құраушылары болатын Ti-Si-Al және Fe-Si-Al үштік жүйелерін зерттеу жұмысы жүргізілді. Аталған үштік жүйелер 1473, 1673, 1873 және 2073К температуралар интервалында 11% мөлшерді құрады. термодинамикалық өзгерістерге ұшырау мүмкіндіктері толық зерттеліп, жүйелердің диаграммалары тұрғызылды. Диаграмманы құру осы режимдегі температуралардың шамасына байланысты болып табылады. Нәтижелер 1-ші суретте көрсетілген.

«Triangle» кешенді бағдарламасын қолдана отырып 1473К температурада пайда болатын қосылыстардан тұратын үштік жүйенің фазалық диаграммасы тұрғызылды. Fe-Ti-Al үштік жүйесі: 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>; 6)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 7)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>; 8)Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 9)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 10)Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 11)Ti<sub>(c)</sub>; 12) TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 13)TiSi<sub>(c)</sub>; 14)Si<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub> 14 фазадан тұрады (сурет 1(*а*)). Зерттелген температура кезінде жүйенің 50% Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, 9% Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, 30% Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>,

### Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, аз мөлшердегі қалған қосылыстар жиынтығы Ti-Si-Al

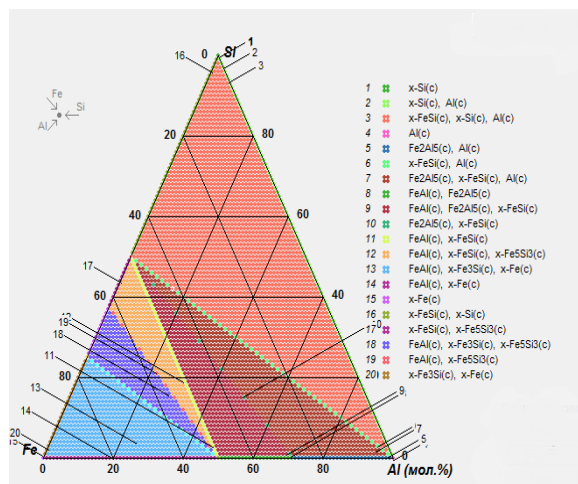
1673K температурада пайда болатын қосылыстардан тұратын үштік жүйенің фазалық диаграммасының нәтижесінде Ti-Si-Al үштік жүйесі: 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>; 5)Al<sub>(c)</sub>; 6)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>; 7)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 8)Ti<sub>(c)</sub>; 9)Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 10)TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 11)Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 12)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 13)Si<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub> 13 құраушы фазалардан тұратындығы анықталды. 1673K температурада Ti-Si-Al үштік жүйесі 50% Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, 10% Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, 30% Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, аз мөлшердегі қалған қосылыстар жиынтығы Ti-Si-Al жүйесінің 10% мөлшерін құрады (сурет 1(ә)). Зерттелетін температура жоғарылаған сайын (1873K) үштік жүйенің фазалық диаграммасыда өзгерістерге ұшырайды (сурет 1(б)). Зерттеу нәтижесінде Fe-Si-Al үштік жүйесін құраушы фазалар саны 20 екендігі анықталды: 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 6)FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 7)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 8)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 9)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 10)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>; 11)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 12)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 13)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 14)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 15)Fe<sub>(c)</sub>; 16)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 17)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 18)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 19)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>; 20)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>. Зерттелген жүйе 50% FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, 10% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 6% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> фазаларынан және аз мөлшердегі басқа да фазалардың 15% мөлшерінен құралады. Термодинамикалық жүйені талдау нәтижесінде температураны әрі қарай 2073K-ге жоғарлату келесі зерттеу нәтижелерін анықтады: Ti-Si-Al жүйесі 2073K температурада: : 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>; 6)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 7)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>; 8)Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 9)Ti<sub>(c)</sub>; 10)Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 11)TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 12)Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 13)TiSi<sub>(c)</sub>; 14)Si<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>. 14 фазадан құралады. Жүйенің 50% Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, 9% Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, 30% Al<sub>(c)</sub>, Ti<sub>(c)</sub>, Ti<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, аз мөлшердегі қалған қосылыстар жиынтығы Ti-Si-Al жүйесінің 11% мөлшерін құрады (сурет 1(в)).

Кесте 1 - 1473K, 1673K, 1873K, 2073K температуралар интервалында Ti-Si-Al үштік жүйесінің фазалық құрамы

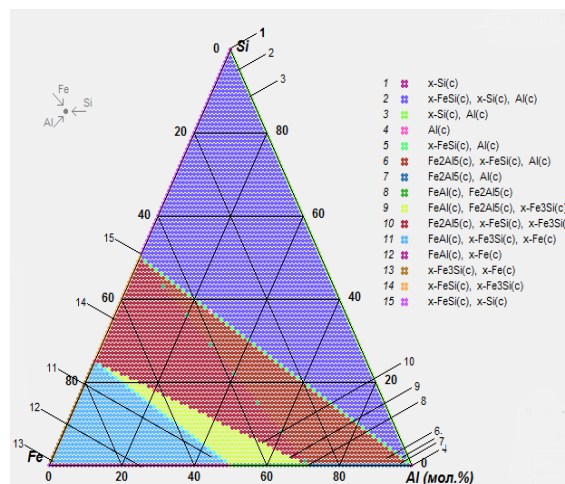
№	Фазалар	1473K	1673K	1873K	2073K
		Құрамы, %			
		N, моль/кг			
1	2	3	4	5	6
1	Si <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045
2	Si <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Si(c)=34,9199 Al(c)=0,7127	Si(c)=35,2623 Al(c)=0,3562	Si(c)=35,2623 Al(c)=0,3562	Si(c)=35,2623 Al(c)=0,3562
3	Si <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub> , TiSi <sub>(c)</sub>	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50
		Si(c)=30,3114 Al(c)=3,5246 TiSi(c)=0,7049	Si(c)=31,9194 Al(c)=2,8373 TiSi(c)=0,3547	Si(c)=31,9194 Al(c)=1,6578 TiSi(c)=0,3543	Si(c)=33,2858 Al(c)=1,4164 TiSi(c)=0,3541

4	Al <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	-
		Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619	-
5	Al <sub>(c)</sub> , TiSi <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Al(c)=34,0056 TiSi(c)=1,0853	Al(c)=36,0267 TiSi(c)=0,3547	Al(c)=36,0267 TiSi(c)=0,3676	Al(c)=36,0267 TiSi(c)=0,3676
6	Al <sub>(c)</sub> , Ti <sub>(c)</sub> , Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		Al(c)=32,5560 Ti(c)=0,9437 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,2359	Al(c)=30,6003 Ti(c)=2,8652 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,1146	Al(c)=27,3568 Ti(c)=4,7243 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,1099	Al(c)=26,5193 Ti(c)=0,1678 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,84
7	Al <sub>(c)</sub> , Ti <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Al(c)=35,1330 Ti(c)=1,0865	Al(c)=36,4091 Ti(c)=0,3677	Al(c)=35,7662 Ti(c)=0,7299	Al(c)=35,7661 Ti(c)=0,7299
8	Al <sub>(c)</sub> , TiSi <sub>(c)</sub> , Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 9	≤ 10	≤ 9	≤ 10
		Al(c)=31,4575 TiSi(c)=1,2371 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,1767	Al(c)=0,2490 TiSi(c)=0,8715 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =2,8634	Al(c)=14,7603 TiSi(c)=0,5904 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =1,7712	Al(c)=14,7603 TiSi(c)=0,5904 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =1,77
9	Al <sub>(c)</sub> , Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Al(c)=28,8264 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,6863	Al(c)=30,0887 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =2,8313	Al(c)=32,7859 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,3564	Al(c)=28,8264 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,69
10	Ti <sub>(c)</sub> , Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Ti(c)=20,4043 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,0699	Ti(c)=20,4043 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,0699	Ti(c)=18,9635 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,2830	Ti(c)=20,4043 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,07
11	Ti <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Ti(c)=20,8765	Ti(c)=20,8765	Ti(c)=20,8765	Ti(c)=20,8765
12	TiSi <sub>(c)</sub> , Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		TiSi(c)=0,4954 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =2,9724	TiSi(c)=0,4954 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =2,9724	TiSi(c)=0,4954 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =2,9724	TiSi(c)=0,4954 Ti <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =2,97
13	TiSi <sub>(c)</sub>	≤ 1	-	≤ 1	≤ 1
		TiSi(c)=13,1602	-	TiSi(c)=13,1602	TiSi(c)=13,160
14	Si <sub>(c)</sub> , TiSi <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Si(c)=1,6043 TiSi(c)=12,5672	Si(c)=0,5292 TiSi(c)=12,9646	Si(c)=0,5292 TiSi(c)=12,9646	Si(c)=2,1505 TiSi(c)=12,365

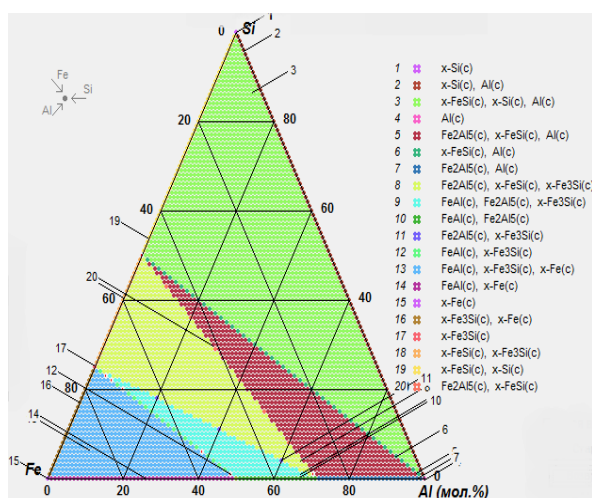
Келесі термодинамкалық зеттеулер жұмысы Fe-Si-Al үштік металдық жүйесіне жүргізілді. 1473K температурада зерттелетін үштік жүйенің фазалық диаграммасы келесідей нәтижелер көрсетті: жүйені 20 фаза құрайды оларға 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 6)FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 7)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>. 8)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>; 9)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 10)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 11)FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 12)FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 13)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 14)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 15)Fe<sub>(c)</sub>; 16)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>; 17)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 18)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 19)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 20) Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub> фазалары кіреді. Аталған жүйе құрамын 1473K температурада 50% FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 9% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 9% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, 8% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 5% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, 5% FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub> және қалған қосылыстар жүйенің 14%-ын құрайды (сурет 2(a)).



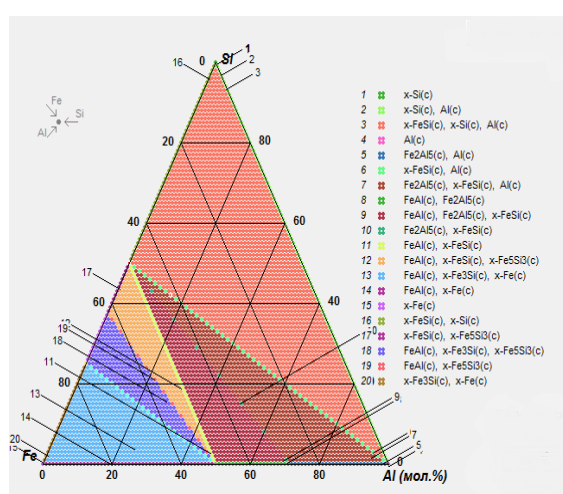
*a*



*ә*



*б*



*в*

Сурет 2 - Өртүрлі температурадағы Fe-Si-Al үштік жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы: 1473К (*a*), 1673К (*ә*), 1873К (*б*), 2073К (*в*)

Зерттелетін температура 1673К-ге тең болған жағдайда үштік жүйенің фазалық диаграммасының (сурет 2(ә)) нәтижесі 15 қосылысты көрсетті: 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 6)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 7)FeAl<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 8)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>; 9)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 10) Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 11)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 12)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 13)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 14)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 15)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>. 1673К температурада Fe-Si-Al үштік жүйесін 50% x-FeSi<sub>(c)</sub>, x-Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 13% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, x-FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 13% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, x-FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, 8% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, x-Fe<sub>(c)</sub>, 6% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, x-Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> және қалған қосылыстар жүйенің 10%-ын құрайтындығы анықталды. Зерттелетін температура жоғарылаған сайын (1873К) үштік жүйенің фазалық диаграммасыда өзгерістерге ұшырайды(сурет 2(б)).

Зерттеу нәтижесінде Fe-Si-Al үштік жүйесін құраушы фазалар саны 20 екендігі анықталды: 1)Si<sub>(c)</sub> 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 6)FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>;

7)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 8)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 9)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 10)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>; 11)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 12)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 13)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 14)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 15)х-Fe<sub>(c)</sub>; 16)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 17)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 18)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 19)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>; 20)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>. Зерттелген жүйе 50% FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 10% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, 10% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 6% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, х-Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> фазаларынан және аз мөлшердегі басқа да фазалардың 15% мөлшерінен құралады. Fe-Si-Al жүйесін 2073К температура кезінде жүргізілген зерттеу жұмыстары бойынша 20 қосылыстан тұратыны анықталды: 1)Si<sub>(c)</sub>; 2)Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 3)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 4)Al<sub>(c)</sub>; 5)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 6)FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 7)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>; 8)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>; 9)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 10)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 11)FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 12)FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 13)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 14)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>; 15)Fe<sub>(c)</sub>; 16)FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>; 17)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 18)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 19)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 20)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>. Жүйе 50% FeSi<sub>(c)</sub>, Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 9% Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, 9% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, 8% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>(c)</sub>, 5% FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>, 5% FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub> аз мөлшердегі басқа да фазалардың 14% мөлшерінен құралады(сурет 2(в)) .

Кесте 2 - 1473К, 1673К, 1873К, 2073К температуралар кезінде Fe-Si-Al үштік жүйесінің фазалық құрамы

№	Фазалар	1473К	1673К	1873К	2073К
		Құрамы, %			
		N, моль/кг			
1	2	3	4	5	6
1	Si <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045	Si(c)=35,6045
2	Si <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Si(c)=34,5772 Al(c)=1,0694	Si(c)=31,8257 Al(c)=3,9335	Si(c)=34,2342 Al(c)=1,4264	Si(c)=34,5572 Al(c)=1,0694
1	2	3	4	5	6
3	FeSi <sub>(c)</sub> , Si <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	FeSi(c)=0,3534 Si(c)=32,5116 Al(c)=2,1203	FeSi(c)=0,3531 Si(c)=33,1924 Al(c)=1,4124	FeSi(c)=1,0418 Si(c)=28,8218 Al(c)=3,8198	FeSi(c)=0,3534 Si(c)=32,5116 Al(c)=2,1203
		≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
4	Al <sub>(c)</sub>	Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619	Al(c)=37,0619
		≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
5	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,3628 Al(c)=22,7457	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,539 Al(c)=32,1391	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,363 Al(c)=33,7457	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,363 Al(c)=33,7457
		≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
6	FeSi <sub>(c)</sub> , Al <sub>(c)</sub>	FeSi(c)=1,0760 Al(c)=33,7148	FeSi(c)=0,7251 Al(c)=34,8063	FeSi(c)=1,7556 Al(c)=31,6008	FeSi(c)=1,0760 Al(c)=33,7148
		≤ 9	≤ 13	≤ 10	≤ 9
7	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub>	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,3551	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,696	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,181	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,355



	Al <sub>(c)</sub>	FeSi(c)=0,7103 Al(c)=31,6068	FeSi(c)=0,6960 Al(c)=28,5358	FeSi(c)=0,3627 Al(c)=34,2762	FeSi(c)=0,7103 Al(c)=3,6068
8	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeAl(c)=0,2828 Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,9601	FeAl(c)=0,2827 Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,960	FeAl(c)=2,8303 Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,104	FeAl(c)=0,2828 Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,960
9	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub>	≤ 9	-	-	≤ 9
		FeAl(c)=0,6545 Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,7398 FeSi(c)=0,2805	-	-	FeAl(c)=0,6545 Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,739 FeSi(c)=0,2805
10	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub>	≤ 1	-	≤ 1	≤ 1
		Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =2,6845 FeSi(c)=4,0268	-	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =2,684 FeSi(c)=4,0268	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =2,684 FeSi(c)=4,0268
11	FeAl <sub>(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub>	≤ 1	-	-	≤ 1
		FeAl <sub>(c)</sub> =11,3396 FeSi <sub>(c)</sub> =0,7238	-	-	FeAl(c)=11,339 FeSi(c)=0,7238
12	FeAl <sub>(c)</sub> , FeSi <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 5	-	-	≤ 5
		FeAl(c)=7,1577 FeSi(c)=3,8174 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,2386	-	-	FeAl(c)=7,1577 FeSi(c)=3,8174 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,2386
13	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 8
		FeAl(c)=5,0199 Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,8367 Fe(c)=7,5299	FeAl(c)=5,0199 Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,8367 Fe(c)=7,5299	FeAl(c)=1,5422 Fe <sub>3</sub> Si(c)=1,1567 Fe(c)=11,5668	FeAl(c)=5,0199 Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,8367 Fe(c)=7,5299
14	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeAl(c)=3,9941 Fe(c)=11,9820	FeAl(c)=5,1407 Fe(c)=10,2814	FeAl(c)=5,3783 Fe(c)=9,9290	FeAl(c)=3,9941 Fe(c)=11,9820
15	Fe <sub>(c)</sub>	≤ 1	-	≤ 1	≤ 1
		Fe(c)=17,9057	-	Fe(c)=17,9057	Fe(c)=17,9057
16	FeSi <sub>(c)</sub> , Si <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		FeSi(c)=1,3700 Si(c)=31,5103	FeSi(c)=11,7536 Si(c)=0,4797	FeSi(c)=11,2589 Si(c)=1,9581	FeSi(c)=1,3700 Si(c)=31,5103
17	FeSi <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 1	-	-	≤ 1
		FeSi(c)=5,9589 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =1,3751	-	-	FeSi(c)=5,9589 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =1,375
18	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 5	-	-	≤ 5
		FeAl(c)=6,4219 Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,6881 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,9174	-	-	FeAl(c)=6,4219 Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,6881 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =0,917
19	FeAl <sub>(c)</sub> , Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub>	≤ 1	-	-	≤ 1
		FeAl(c)=5,0381 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =1,6030	-	-	FeAl(c)=5,0381 Fe <sub>5</sub> Si <sub>3(c)</sub> =1,603
20	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub> , Fe <sub>(c)</sub>	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
		Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,3617 Fe(c)=16,6388	Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,1800 Fe(c)=17,2755	Fe <sub>3</sub> Si(c)=3,3250 Fe(c)=6,2587	Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,3617 Fe(c)=16,6388



21	FeAl <sub>(c)</sub> ,	-	≤ 6	≤ 6	-
	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> ,	-	FeAl(c)=0,4562	FeAl(c)=1,6430	-
	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,467	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,286	-
			Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,5475	Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,2738	
22	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> ,	-	≤ 13	≤ 10	-
	FeSi <sub>(c)</sub> ,	-	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =2,946	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =0,973	-
	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	FeSi(c)=0,3157	FeSi(c)=3,6137	-
			Fe <sub>3</sub> Si(c)=1,2626	Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,1390	
23	FeSi <sub>(c)</sub> ,	-	≤ 1	≤ 1	-
	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	FeSi(c)=4,3355	FeSi(c)=6,7050	-
			Fe <sub>3</sub> Si(c)=3,2516	Fe <sub>3</sub> Si(c)=2,2350	
24	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub>	-	-	≤ 1	-
	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	-	Fe <sub>2</sub> Al <sub>5(c)</sub> =3,207	-
				Fe <sub>3</sub> Si(c)=1,0690	
25	FeAl <sub>(c)</sub>	-	-	≤ 1	-
	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	-	FeAl(c)=11,507	-
				Fe <sub>3</sub> Si(c)=0,2397	
26	Fe <sub>3</sub> Si <sub>(c)</sub>	-	-	≤ 1	-
		-	-	Fe <sub>3</sub> Si(c)=5,1117	-

### Қорытынды

Алынған нәтижелерді талдау барысында зерттелген Fe-Ti-Al-Si металдық жүйесінің негізгі құраушылары болатын Ti-Si-Al және Fe-Si-Al үштік жүйелерінің фазалар құрамы мен саны бойынша ауқымды өзгерістерге ұшырамайтындығы анықталды. 1473-2073K температуралар арасында Ti-Si-Al жүйесін зерттеу жұмыстарының нәтижесі бойынша жүйенің құрамын орташа 14 фаза құрайтындығы дәлелденді. Негізінен жүйенің басым бөлігін шамамен 50% Si<sub>(c)</sub>, Al<sub>(c)</sub>, TiSi<sub>(c)</sub>, фазалары құрайды. Fe-Si-Al үштік жүйесінің зерттеу нәтижелерінде ауқымды өзгерістер орын алатындығы дәлелденді. Төмен температуралық интервалда 1473K зерттеу жұмыстары кезінде зерттелген жүйені құраушы фазалар саны 20-ға тең болатындығына көз жеткізілді. Температуралық шкала 1673K-ге температураға артқан жағдайда Fe-Ti-Si жүйесін құраушы фазалар саны 15-ке төмендеуі байқалды және 1)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 2)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 3)FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>; 4)FeAl<sub>(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 5)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 6)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub>; 7)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3(c)</sub> фазалары жойылып жаңадан 1)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 2)Fe<sub>2</sub>Al<sub>5(c)</sub>, FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 3)FeSi<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> фазалары пайда болатыны дәлелденді. Fe-Si-Al үштік жүйесін 1873K температурасында зерттеу нәтижесінде құраушы фазалар саны 20-ны құрайтындығына көз жеткізілді. Fe-Si-Al жүйесі 1873K кезінде 20 фазадан тұрады. Басқа температуралық интервалдарда кездеспейтін 1)FeAl<sub>(c)</sub>, Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub>; 2)Fe<sub>3</sub>Si<sub>(c)</sub> фазалары осы температура кезінде пайда болатыны анықталды. Fe-Si-Al үштік жүйесі 2073K температура кезінде 20 фазадан тұрады және айтарлықтай өзгеріске ұшырамай

1873К температурада фаза құрамымен шамалас құрауыштар мөлшерінде болады.

Зерттеу нәтижелері темір-титан қорытпаларын балқытудың нақты материалдық тепе-тендігін құру негізін және қорытпаның құрамын реттеу мүмкіндігін береді.

### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д., Байсанов С.О., Букетов Е.А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. - алматы: наука, 1984. - 232с.
2. Акбердин А.А. Балансовый метод расчета равновесного фазового состава многокомпонентных систем //КИМС. - 1995. - №3. - с. 92-93.
3. Акбердин А.А., Сарекенов К.З., Сайтов Р.И. Аналитическое описание фазового равновесия в системе CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-ZnO //Вестник Карагандинского университета. - караганда. - 2005. - №1(37). - с. 14-18.
4. Симбинов Р.Д., Малышев В.П. Термодинамическое, стехиометрическое и эксергетическое моделирование фазовых равновесий. - Алматы: Гылым, 1999. - 100с.

## ҒТАМР 44.01.94

### ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІ - ЖАСЫЛ ЭНЕРГЕТИКАҒА КӨШУ ҚАДАМЫ

**А.Е. АНСАПОВ<sup>1</sup>, Ж.У. ЖУБАНДЫКОВА<sup>2</sup>, М.Н. МОЛДАБАЕВА<sup>3</sup>**

*Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қаласы, Қазақстан*

**Андатпа.** Әлемдік экономика мен әлем халқының өсуімен қатар энергияға деген қажеттілік те күрт өсті. Соңғы ширек ғасырда жалпы әлемдік энергия тұтынуы 56% - ға артты деп айтуға болады.

2019 жылдың соңындағы жағдай бойынша Қазақстан электр станцияларының жалпы белгіленген қуаты 22 936 МВт (+4,7%), ал қол жетімді қуат - 19 329 МВт (+2,3%).

Қазақстанда электр энергиясын тұтыну жаңа өндірістік қуаттың енгізілуіне, сонымен бірге тұрмыстық энергияны тұтынудың тұрақты өсуіне байланысты жылдан жылға өсіп келеді. Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігінің мәліметтері бойынша 2020-2025 жылдары электр энергиясын өндірудің орташа жылдық өсу қарқыны 3,0% құрайды. Алайда электр энергиясын тұтынудың өсуі электр энергиясын өндірудің өсуіне әкеп отыр, демек, ресурстардың соның ішінде жаңғыртылмайтын ресурстардың көп мөлшері шығындалады. Бұл жағдайда аса оңтайлы шешім – энергияны үнемдеу саясатына жауапкершілікпен қарау, бұл ел азаматтарының электр және жылу энергиясын құнғап тұтыну тәртібіне келтіреді.

**Кілтті сөздер:** энергетика, энергияны үнемдеу, энергия тиімділігі, электр стансалары, жасыл энергетика.

**Аннотация.** С ростом мировой экономики и населения планеты потребность в энергоресурсах резко выросла. Достаточно сказать, что за последние четверть века общее мировое энергопотребление увеличилось на 56%.