УДК 669.436-971

Б.Т. НУРМАТОВ, А.Т. ШОИНБАЕВ, М.М. ЯКУБОВ

ТЕРМОДИНАМИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ВТОРИЧНОГО СВИНЦОВОГО СЫРЬЯ РАСТВОРАМИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

В настоящее время большое внимание уделяется использованию вторичного свинцового сырья, что обусловлено, во-первых, значительно увеличивающимися затратами на производство свинцовых концентратов и промпродуктов и, во-вторых, наличием больших запасов металлического лома, отходов, отработанных свинцовых аккумуляторов и т.д.

Кислотный метод разложения вторичного свинцового сырья выгодно отличается от существующих способов разложения короткой и экономичной технологической схемой, обеспечивающей выделение свинца в раствор и осадок уже на первой операции, меньшими энергозатратами, возможностью утилизации кислых стоков с получением минеральных удобрений.

Несмотря на известные работы в этом направлении, процесс азотнокислотного разложения изучен далеко не достаточно. Результаты исследований в области гидрометаллургии свинца не могут считаться окончательными ни в технологическом, ни в теоретическом отношении. Успешное решение этой задачи во многом связано с возможностью использования метода термодинамического моделирования.

В настоящей работе изложены результаты определения энтальпии, энтропии, энергии Гиббса, констант равновесия реакций взаимодействия минеральных фаз вторичного свинцового сырья с растворами азотной кислоты. Расчеты энергии Гиббса, энтальпии, энтропии, констант равновесия проводились с помощью компьютерной программы HSC Chemistry 5 (Chemistry Reaction and Equilibrium Software with Extensive Thermochemical Datebase).

Основными составляющими вторичного свинцового сырья являются свинец, железо, медь, кадмий, молибден, мышьяк, сера, фосфор, кальций, которые представлены в продуктах в виде минералов металлического свинца, оксида и сульфида свинца, сульфидов цинка и кадмия, халькопирита, пирита, молибденита, арсенопирита, апатита, кальцита.

При рассмотрении системы вторичное свинцовое сырье – азотная кислота для оценки термодинамической возможности протекания реакций взаимодействия вторичного свинцового сырья, сопутствующих примесей: PS, PbS, PbO, ZnS, CdS, $CuFeS_2$, FeS2, FeAsS, $Ca(PO_4)_2$, CaF_2, $CaCO_3$– с растворами азотной кислоты рассчитаны энергия Гиббса, энтальпия, энтропия, константы равновесия этих реакций, определялось влияние температуры в интервале 273,15–473,15 К.

Растворение металлического свинца идет по реакциям

$$Pb + 2HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + H_2, \quad (1)$$

$$2Pb + 4HNO_3 + O_2 = 2Pb(NO_3)_2 + 2H_2O. \quad (2)$$

Термодинамические расчеты по уравнениям (1), (2) подтверждают возможность полного разложения металлического свинца по этим реакциям (табл. 1, 2).

Полученные термодинамические данные указывают на возможность протекания реакций окисления и растворения по уравнению (2).

Таблица 1

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	-106,81	-14,556	-102,834	4,64E+19	19,667
373,15	-112,686	-33,133	-100,323	1,11E+14	14,045
473,15	-115,894	-40,863	-96,56	4,58E+10	10,661
573,15	-116,763	-42,599	-92,348	2,61E+08	8,417
673,15	-120,268	-48,556	-87,583	6,26E+06	6,797
773,15	-116,721	-43,678	-82,951	4,02E+05	5,605
873,15	-110,939	-36,672	-78,918	5,27E+04	4,722
973,15	-102,945	-28,027	-75,671	1,15E+04	4,062
1073,15	-92,757	-18,078	-73,356	3,72E+03	3,571
1173,15	-80,387	-7,072	-72,091	1,62E+03	3,21
1273,15	-65,845	4,811	-71,971	8,98E+02	2,953

Таблица 2

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	-798,877	-405,249	-688,183	4,10E+131	131,613
373,15	-792,251	-378,571	-650,987	1,36E+91	91,135
473,15	-791,836	-377,861	-613,051	4,84E+67	67,685
573,15	-784,733	-364,487	-575,827	3,04E+52	52,483
673,15	-777,836	-354,087	-539,482	7,34E+41	41,866
773,15	-756,469	-324,562	-505,534	1,44E+34	34,157
873,15	-730,776	-293,365	-474,625	2,49E+28	28,396
973,15	-700,795	-260,897	-446,903	9,77E+23	23,99
1073,15	-666,549	-227,433	-422,479	3,68E+20	20,566
1173,15	-628,057	-193,167	-401,443	7,51E+17	17,876
1273,15	-585,333	-158,242	-383,867	5,63E+15	15,751

При взаимодействии сульфида свинца с азотной кислотой окисление и растворение могут протекать по следующему уравнению:

$$PbS + 2HNO_3 + 2O_2 = Pb(NO_3)_2 + H_2SO_4. \quad (3)$$

Термодинамические расчеты по уравнению (3) для сульфида свинца указывают на возможность протекания реакции окисления и растворения (табл. 3).

Таблица 3

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	-832,306	-463,688	-705,649	8,97E+134	134,953
373,15	-824,679	-436,072	-661,959	4,69E+92	92,671
473,15	-823,652	-433,782	-618,408	1,89E+68	68,276
573,15	-819,712	-426,312	-575,372	2,76E+52	52,441
673,15	-813,218	-415,919	-533,242	2,41E+41	41,382
773,15	-804,397	-403,738	-492,247	1,82E+33	33,259
873,15	-793,358	-390,338	-452,535	1,19E+27	27,074
973,15	-780,189	-376,079	-414,208	1,72E+22	22,235
1073,15	-764,973	-361,211	-377,339	2,33E+18	18,368
1173,15	-747,782	-345,908	-341,98	1,69E+15	15,228
1273,15	-728,647	-330,266	-308,169	4,41E+12	12,645

Окисление и растворение оксида свинца с азотной кислотой могут протекать по формуле

$$PbO + 2HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + H_2O. \quad (4)$$

Термодинамические расчеты по уравнению (4) указывают на возможность протекания окисления и растворения (табл. 4).

Таблица 4

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	-181,273	-103,585	-152,979	1,81E+29	29,257
373,15	-178,441	-91,733	-144,211	1,54E+20	20,189
473,15	-178,814	-92,753	-134,928	7,89E+14	14,897
573,15	-175,88	-87,25	-125,873	2,97E+11	11,473
673,15	-168,224	-75,009	-117,731	1,37E+09	9,136
773,15	-158,252	-61,231	-110,912	3,12E+07	7,494
873,15	-146,256	-46,664	-105,511	2,05E+06	6,313
973,15	-132,254	-31,501	-101,599	2,84E+05	5,454
1073,15	-116,258	-15,871	-99,227	6,76E+04	4,83
1173,15	-123,869	-21,944	-98,126	2,34E+04	4,369
1273,15	-104,333	-5,975	-96,726	9,31E+03	3,969

Процессы окисления и растворения сульфида цинка растворами азотной кислоты могут протекать по следующим уравнениям:

$$ZnS + 2HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + H_2S, \quad (5)$$

$$ZnS + 2HNO_3 + 2O_2 = Zn(NO_3)_2 + H_2SO_4. \quad (6)$$

Термодинамические расчеты по уравнениям (5), (6) для сульфида цинка указывают на возможность протекания реакций окисления и растворения (табл. 5, 6).

Таблица 5

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	52,872	50,112	39,184	3,21E-08	-7,494
373,15	29,832	-21,798	37,966	4,84E-06	-5,315
473,15	7,308	-75,305	42,938	1,82E-05	-4,741
573,15	-14,584	-117,299	52,646	1,59E-05	-4,798
673,15	-35,799	-151,433	66,138	7,37E-06	-5,133
773,15	-56,322	-179,869	82,744	2,57E-06	-5,591
873,15	-76,147	-203,991	101,968	7,93E-07	-6,101
973,15	-95,273	-224,737	123,43	2,37E-07	-6,626
1073,15	-113,708	-242,774	146,825	7,13E-08	-7,147
1173,15	-131,47	-258,604	171,911	2,21E-08	-7,655
1273,15	-148,574	-272,599	198,485	7,18E-09	-8,144

Процессы окисления и растворения сульфида кадмия растворами азотной кислоты могут протекать по следующим уравнениям:

$$CdS + 2HNO_3 = Cd(NO_3)_2 + H_2S, \quad (7)$$

$$CdS + 2HNO_3 + 2O_2 = Cd(NO_3)_2 + H_2SO_4. \quad (8)$$

Термодинамические расчеты по уравнениям (7), (8) для сульфида кадмия указывают на возможность протекания реакций окисления и растворения (табл. 7, 8).

Таблица 6

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	-752,015	-449,195	-629,317	2,26E+120	120,355
373,15	-759,801	-469,454	-584,624	6,99E+81	81,844
473,15	-776,432	-508,996	-535,601	1,36E+59	59,134
573,15	-792,052	-538,973	-483,14	1,08E+44	44,035
673,15	-806,863	-562,807	-428,01	1,64E+33	33,215
773,15	-821,005	-582,404	-370,719	1,12E+25	25,048
873,15	-834,525	-598,857	-311,633	4,41E+18	18,644
973,15	-847,466	-612,894	-251,028	2,99E+13	13,475
1073,15	-859,871	-625,032	-189,118	1,61E+09	9,206
1173,15	-871,777	-635,643	-126,072	4,11E+05	5,614
1273,15	-883,182	-644,976	-62,032	3,51E+02	2,545

Таблица 7

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	21,561	34,93	12,02	5,03E-03	-2,299
373,15	16,369	18,693	9,394	4,84E-02	-1,315
473,15	16,076	17,582	7,757	1,39E-01	-0,856
573,15	15,44	16,343	6,073	2,80E-01	-0,554
673,15	15,488	16,405	4,445	4,52E-01	-0,345
773,15	16,232	17,424	2,76	6,51E-01	-0,187
873,15	17,674	19,169	0,936	8,79E-01	-0,056
973,15	19,812	21,481	-1,092	1,15E+00	0,059
1073,15	22,64	24,241	-3,375	1,46E+00	0,164
1173,15	26,136	27,352	-5,952	1,84E+00	0,265
1273,15	30,287	30,744	-8,855	2,31E+00	0,363

Таблица 8

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	log(K)
273,15	-783,326	-464,376	-656,481	3,55E+125	125,55
373,15	-773,264	-428,964	-613,197	6,99E+85	85,844
473,15	-767,664	-416,109	-570,782	1,04E+63	63,018
573,15	-762,028	-405,331	-529,713	1,91E+48	48,28
673,15	-755,575	-394,968	-489,702	1,01E+38	38,003
773,15	-748,451	-385,111	-450,702	2,83E+30	30,452
873,15	-740,705	-375,696	-412,665	4,89E+24	24,689
973,15	-732,38	-366,676	-375,55	1,44E+20	20,16
1073,15	-723,523	-358,016	-339,318	3,29E+16	16,517
1173,15	-714,171	-349,687	-303,936	3,42E+13	13,534
1273,15	-704,321	-341,632	-269,372	1,13E+11	11,053

При взаимодействии молибденита с азотной кислотой окисление может протекать по следующему уравнению:

$$MoS_2 + 6HNO_3 = H_2MoO_4 + 2H_2SO_4 + 6NO\uparrow. \quad (9)$$

Термодинамические расчеты по уравнению (9) для молибденита указывают на возможность протекания реакции окисления (табл. 9).

Таблица 9

T, ^{0}K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-805,343	702,817	-1014,888	6,591E+177	177,819
318,150	-810,594	685,768	-1028,771	8,321E+168	168,920
338,150	-815,664	670,309	-1042,329	1,056E+161	161,024
358,150	-820,564	656,229	-1055,592	9,256E+153	153,966
378,150	-825,302	643,355	-1068,586	4,153E+147	147,618
398,150	-829,884	631,546	-1081,334	7,510E+141	141,876
418,150	-834,315	620,684	-1093,854	4,508E+136	136,654
438,150	-838,601	610,670	-1106,167	7,658E+131	131,884
458,150	-842,746	601,420	-1118,286	3,227E+127	127,509
473,150	-845,763	594,939	-1127,259	2,864,E+124	124,457

Процесс окисления пирита можно записать так:

$$2FeS_2 + 8HNO_3 = Fe_2(SO_4)_3 + S + 4H_2O + 8NO\uparrow, \quad (10)$$

$$FeS_2 + 8HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + 2H_2SO_4 + 5NO\uparrow + 2H_2O. \quad (11)$$

Термодинамические расчеты по уравнению (10) для пирита указывают на возможность протекания реакции окисления (табл. 10).

Таблица 10

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-1262,392	954,336	-1546,927	1,091E+271	271,038
318,150	-1265,796	943,279	-1565,900	1,302E+257	257,115
338,150	-1268,956	933,645	-1584,667	6,409E+244	244,807
358,150	-1271,884	925,227	-1603,254	7,034E+233	233,847
378,150	-1274,171	919,009	-1621,695	1,063E+224	224,027
398,150	-1274,820	917,329	-1640,054	1,521E+215	215,182
418,150	-1276,829	912,402	-1658,350	1,499E+207	207,176
438,150	-1278,415	908,690	-1676,558	7,758E+199	199,890
458,150	-1279,627	905,985	-1694,704	1,709E+193	193,233
473,150	-1280,359	904,412	-1708,281	4,036E+188	188,606

Термодинамические расчеты по уравнению (11) для пирита указывают на возможность протекания реакции окисления (табл. 11).

Таблица 11

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-850,627	332,773	-949,843	2,645E+166	166,422
318,150	-857,806	309,464	-956,262	1,034E+157	157,014
338,150	-864,780	288,201	-962,235	4,473E+148	148,651
358,150	-871,559	268,722	-967,802	1,450E+141	141,161
378,150	-878,145	250,826	-972,995	2,588E+134	134,413
398,150	-884,538	234,349	-977,844	1,983E+128	128,297
418,150	-890,734	219,163	-982,377	5,336E+122	122,727
438,150	-896,727	205,161	-986,618	4,274E+117	117,631
458,150	-902,509	192,255	-990,591	8,887E+112	112,949
473,150	-906,702	183,250	-993,406	4,774E+109	109,679

При взаимодействии халькопирита с азотной кислотой окисление может протекать по следующим уравнениям:

$$CuFeS_2 + 4HNO_3 + Fe_2(SO_4)_3 + 2O_2 = CuSO_4 + 3FeSO_4 + SO_2\uparrow + 4NO_2\uparrow + 2H_2O, \quad (12)$$

$$3CuFeS_2 + 32HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 3Fe(NO_3)_3 + 6H_2SO_4 + 17NO\uparrow + 10H_2O \quad (13)$$

Термодинамические расчеты по уравнению (12) для халькопирита указывают на возможность протекания реакции окисления (табл. 12).

Таблица 12

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-818,310	355,539	-924,314	8,903E+161	161,950
318,150	-820,623	348,028	-931,348	8,390E+152	152,924
338,150	-822,762	341,506	-938,242	8,790E+144	144,944
358,150	-824,728	335,853	-945,014	6,883E+137	137,838
378,150	-826,522	330,977	-951,681	2,942E+131	131,469
398,150	-828,140	326,807	-958,258	5,340E+125	125,728
418,150	-829,576	323,285	-964,758	3,358E+120	120,526
438,150	-830,824	320,368	-971,193	6,191E+115	115,792
458,150	-831,876	318,020	-977,576	2,916E+111	111,465
473,150	-832,530	316,614	-982,336	2,861E+108	108,457

Термодинамические расчеты по уравнению (13) для халькопирита указывают на возможность протекания реакции окисления (табл. 13).

Таблица 13

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-2965,326	817,311	-3209,007	1,000E+308	308,000
318,150	-2999,262	707,132	-3224,236	1,000E+308	308,000
338,150	-3032,489	605,834	-3237,352	1,000E+308	308,000
358,150	-3065,037	512,311	-3248,521	1,000E+308	308,000
378,150	-3096,911	425,702	-3257,890	1,000E+308	308,000
398,150	-3128,098	345,329	-3265,591	1,000E+308	308,000
418,150	-3158,571	270,645	-3271,741	1,000E+308	308,000
438,150	-3188,292	201,208	-3276,451	1,000E+308	308,000
458,150	-3217,215	136,651	-3279,822	1,000E+308	308,000
473,150	-3238,353	91,251	-3281,528	1,000E+308	308,000

При взаимодействии арсенопирита с азотной кислотой окисление может протекать по следующим уравнениям:

$$2FeAsS + 6HNO_3 + H_2SO_4 + 2{,}5O_2 = Fe_2(SO_4)_3 + As_2O_5\cdot 4H_2O + 6NO\uparrow, \quad (14)$$

$$2FeAsS + 12HNO_3 + 2{,}5O_2 = 2Fe(NO_3)_3 + As_2O_5\cdot 4H_2O + 2H_2SO_4 + 6NO\uparrow, \quad (15)$$

$$2FeAsS+15,333HNO_3=2Fe(NO_3)_3+As_2O_5\cdot 4H_2O+2H_2SO_4+9,333NO\uparrow+1,667H_2O. \quad (16)$$

Термодинамические расчеты по уравнениям (14)–(16) для арсенопирита указывают на возможность протекания реакций окисления (табл. 14–16).

Таблица 14

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-2185,768	-11,733	-2182,270	1,000E+308	308,000
318,150	-2197,304	-49,184	-2181,656	1,000E+308	308,000
338,150	-2208,671	-83,838	-2180,321	1,000E+308	308,000
358,150	-2219,890	-116,074	-2178,318	1,000E+308	308,000
378,150	-2230,973	-146,186	-2175,692	3,613E+300	300,558
398,150	-2241,924	-174,408	-2172,484	1,094E+285	285,039
418,150	-2252,746	-200,929	-2168,728	8,641E+270	270,937
438,150	-2263,436	-225,903	-2164,457	1,148E+258	258,060
458,150	-2273,989	-249,456	-2159,701	1,789E+246	246,253
473,150	-2281,810	-266,254	-2155,832	1,044E+238	238,019

Таблица 15

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-2341,472	-535,558	-2181,795	1,000E+308	308,000
318,150	-2363,125	-605,857	-2170,372	1,000E+308	308,000
338,150	-2384,532	-671,115	-2157,594	1,000E+308	308,000
358,150	-2405,708	-731,959	-2143,557	1,000E+308	308,000
378,150	-2426,666	-788,904	-2128,342	1,039E+294	294,017
398,150	-2447,417	-842,379	-2112,024	1,278E+277	277,107
418,150	-2467,969	-892,745	-2094,668	4,835E+261	261,684
438,150	-2488,329	-940,310	-2076,333	3,576E+247	247,553
458,150	-2508,504	-985,337	-2057,072	3,553E+234	234,551
473,150	-2523,517	-1017,580	-2042,049	2,858E+225	225,456

Таблица 16

T, K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-1933,322	277,570	-2016,079	1,000E+308	308,000
318,150	-1956,316	202,920	-2020,875	1,000E+308	308,000
338,150	-1979,015	133,721	-2024,232	1,000E+308	308,000
358,150	-2001,431	69,313	-2026,255	3,510E+295	295,545
378,150	-2023,569	9,161	-2027,033	1,051E+280	280,022
398,150	-2045,432	-47,181	-2026,647	8,032E+265	265,905
418,150	-2067,018	-100,082	-2025,169	1,005E+253	253,002
438,150	-2088,325	-149,857	-2022,665	1,428E+241	241,155
458,150	-2109,346	-196,774	-2019,194	1,705E+230	230,232
473,150	-2124,921	-230,225	-2015,990	3,793E+222	222,579

Как следует из табл. 9–12, термодинамические расчеты по уравнениям (9)–(12) свидетельствуют о том, что для всех реакций $\Delta G<0$ в заданном диапазоне температур составляет от 298,15 до 473,15 К, а константа равновесия $K>1$ ($\log(K)>0$), реакция идет направо, т.е. протекание реакций термодинамически возможно (см. табл. 9). На практике сульфиды бурно реагируют с азотной кислотой с выделением оксида азота.

Взаимодействие апатита с азотной кислотой описывается уравнением реакции

$$3Ca_3(PO_4)_2\cdot CaF_2(к) + 20HNO_3 = 10Ca(NO_3)_2 + 6H_3PO_4 + 2HF\uparrow. \quad (17)$$

Термодинамические расчеты (табл. 17) показывают возможность протекания этой реакции для температурного интервала 298,15–318,15 К, в котором $\Delta G<0$, а также констатируют тот факт, что при температурах 338,15–473,15 К энергия Гиббса $\Delta G>0$, следовательно, реакция невозможна, константа равновесия $K<1$ ($\log(K)<0$), реакция идет налево (табл. 17).

Таблица 17

T, ^{0}K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-315,341	-945,893	-33,323	6,896E+005	5,839
318,150	-248,622	-735,547	-14,607	2,503E+002	2,398
338,150	-256,158	-758,551	0,346	8,842E-001	-0,053
358,150	-261,757	-774,665	15,689	5,149E-003	-2,288
378,150	-265,477	-784,792	31,293	4,755E-005	-4,323
398,150	-267,361	-789,667	47,045	6,721E-007	-6,173
418,150	-267,447	-789,896	62,848	1,407E-008	-7,852
438,150	-265,765	-785,983	78,614	4,238E-010	-9,373
458,150	-262,339	-778,353	94,263	1,786E-011	-10,748
473,150	-258,639	-770,411	105,881	2,042E-012	-11,690

Взаимодействие кальцита с азотной кислотой описывается уравнением

$$CaCO_3 + 2HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + CO_2\uparrow + H_2O \quad (18)$$

В исследуемом диапазоне температур величина ΔG<0, а константа равновесия K>1 (log(K)>0), реакция идет направо (табл. 18).

Таблица 18

T, ^{0}K	ΔH, kJ	ΔS, J/K	ΔG, kJ	K	Log(K)
298,150	-61,257	73,936	-83,301	3,937E+014	14,595
318,150	-62,048	71,367	-84,753	8,244E+013	13,916
338,150	-62,753	69,215	-86,158	2,042E+013	13,310
358,150	-63,372	67,435	-87,524	5,836E+012	12,766
378,150	-63,902	65,994	-88,858	1,884E+012	12,275
398,150	-64,339	64,867	-90,166	6,764E+011	11,830
418,150	-64,678	64,035	-91,455	2,663E+011	11,425
438,150	-64,915	63,482	-92,729	1,137E+011	11,056
458,150	-65,042	63,198	-93,996	5,218E+010	10,718
473,150	-65,061	63,155	-94,943	3,036E+010	10,482

Полученные в результате термодинамических расчетов значения ΔH, ΔS и ΔG и констант равновесия для реакций окисления и растворения составляющих компонентов вторичного свинцового сырья приведены в табл. 1–18.

Как видно из приведенных реакций взаимодействия составляющих компонентов вторичного сырья, образующиеся при этом продукты реакций являются результатом не только процесса окисления и растворения, но и окислительно-восстановительных реакций.

Кроме того, найденные значения констант равновесия и энергии Гиббса указывают на возможность протекания реакций между составляющими компонентами продукта и растворами азотной кислоты при атмосферном давлении в интервале температур 298,15–473,15 К.

Резюме

Азот қышқылды ыдырау әдісі екінші қорғасын шикізаты ыдырау әдісінен қазіргі қолданылып жүрген әдістен айырмашылығы мынандай ыдырау қысқа түрде жүргізіледі және қорғасынның ерітіндіге бөлінуін қамтамасыз ететін экономикалық технологиялық сызбасы қысқа және бірінші кезеңде-ақ тұнба түзіледі, энергия шығыны аз кетеді, сонымен қатар минералды тыңайтқыштар алумен бірге зиянды қышқылдарды жою мүмкіндігі бар.

Азот қышқылы ерітіндісі қатысындағы ыдырау кезінде екіншілік қорғасын шикізатының компоненттерін құрайтын Гиббс энергиясы, энтропия, энтальпия, тепе-теңдік константасы анықталған нәтижелері ұсынылған.

Институт металлургии и обогащения МОН РК;
Институт высоких технологий, г. Алматы;
Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент

Поступила 16.06.2006 г.