

УДК 691:661.2:620.19

ВЫБОР НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ СТОЙКОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО

Самошина Е.Н., Шитова И.Ю.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,
Пенза, e-mail: Innalife1@rambler.ru

Немаловажное значение при изготовлении материалов на основе серного вяжущего имеет вид, дисперсность и количество наполнителя. Большинство минералов и соединений, входящих в их состав, являются химически активными по отношению к сере, что может привести к образованию растворимых веществ и в итоге снизить показатели эксплуатационных свойств конечного продукта. В настоящей работе приводятся теоретические основы выбора дисперсной фазы для получения химически стойкого серного композиционного материала. В качестве критерия использованы рассчитанные методами химической термодинамики значения изобарно-изотермического потенциала следующих химических взаимодействий: между наполнителем и серой в процессе приготовления материала; между наполнителем и агрессивной средой в процессе эксплуатации материала; между сульфидами, образующимися на границе раздела фаз «сера – наполнитель», и агрессивной средой. По результатам расчётов сделан вывод, что для изготовления серных материалов, стойких в растворах различных кислот и солей, целесообразно использовать кварцсодержащие наполнители (андезит, опоку, диабаз, кварц и др.), а также сульфаты натрия, калия, магния, кальция и марганца. Эти наполнители инертны к действию серы и агрессивных сред.

Ключевые слова: сера, серная мастика, серный композит, наполнитель, энергия Гиббса

THE CHOICE OF FILLER FOR OBTAINING CHEMICALLY RESISTANT COMPOSITE ON THE BASIS OF SULFUR BINDER

Samoshina E.N., Shitova I.Yu.

Penza State University of the Architecture and Construction, Penza, e-mail: Innalife1@rambler.ru

An important role in the manufacture of materials based on sulfur binder belongs to the kind, dispersal and quantity of filler. Most of the minerals entering into their composition, explosion are chemically active with respect to the sulfur, which can lead to the formation of soluble substances and eventually reduce the performance properties of the final product. In this paper provides the theoretical framework for the choice of the dispersed phase to obtain the chemical-resistant sulfur composite material. The criterion used is calculated by the methods of chemical thermodynamics proper values of Isobaric-isothermal potential of this chemical interaction between the filler and sulfur in the process of preparation of the material; between the filler and the aggressive environment in the process of exploitation of the material; between the sulfides formed at the interface «sulfur-filler», and aggressive environment. The calculation results it is concluded that for the manufacture of sulfuric materials, resistant in solutions of various acids and salts, it is advisable to use with quartz fillers (andesite, silica clay, diabase, quartz, etc.), and sulfates on Sodium, potassium, magnesium, calcium and manganese. These fillers are inert to the action of sulfur and corrosive environments.

Keywords: sulfur, sulfur paste, sulfur composite, the filler, the Gibbs energy

Одной из приоритетных задач строительного материаловедения является проблема выбора и принятия решений. Поэтому при проведении системного анализа осуществляется формирование множества возможных способов достижения поставленной цели, то есть генерируется множество альтернатив, из которых осуществляется выбор. В настоящей работе с применением основных законов термодинамики научно обоснован выбор наполнителя для получения коррозионно-стойких серных композиционных материалов.

Серные композиционные материалы относятся к специальным видам композиционных материалов, при изготовлении которых в качестве вяжущего используются сера и серосодержащие отходы. Получают серные композиты путём смешения рас-

плавленной серы с наполнителем, заполнителями и специальными добавками.

К положительным свойствам серных композиционных материалов относятся: технологичность серобетонных и растворных смесей; быстрый набор прочности, связанный только с периодом остывания и кристаллизации серы; относительно высокая прочность; стойкость к действию агрессивных сред, особенно к действию солевой и кислотной агрессии; низкое водопоглощение и, следовательно, высокая морозо- и водостойкость.

Серные композиты целесообразно использовать для изготовления конструкций, в период эксплуатации которых предъявляются повышенные требования по стойкости в агрессивных средах, морозо- и атмосферостойкости, проницаемости. К таким

конструкциям относятся: элементы дорожных покрытий (тротуарные плитки, бортовые шашки, бортовые камни, дорожные ограждения), конструкции, подверженные солевой агрессии (полы, сливные лотки, фундаменты), инженерные сооружения (коллекторные кольца, канализационные трубы, очистные сооружения), футеровочные блоки.

Технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства серных композиционных материалов (конечного продукта) зависят от различных рецептурно-технологических факторов, изменяя которые, можно получить материал с заданным комплексом необходимых свойств.

В теории композиционных материалов установлено, что на свойства композитов значительное влияние оказывают вид, дисперсность и количество наполнителя [2]. Зависимости структурно-чувствительных свойств композита от указанных факторов в большинстве случаев имеют экстремальный характер.

Для получения химически стойкого композита на основе серного вяжущего целесообразно использовать компоненты, которые являются устойчивыми в эксплуатационных средах. При этом высокой стойкостью должны обладать не только основные ингредиенты, но и соединения, образующиеся на границе раздела фаз.

Большинство породообразующих минералов, а также наиболее распространенные соединения, входящие в состав минералов, являются по отношению к сере химически активными, что во многих случаях приводит к образованию растворимых веществ, снижающих показатели эксплуатационных свойств. К химически активным наполнителям относятся вещества, которые способны вступать в химическое взаимодействие с вяжущим, в данном случае – серой, с образованием на границе раздела фаз «дисперсионная среда – дисперсная фаза» соединений различного состава. В результате образующиеся соединения оказывают значительное влияние на процессы формирования структуры материала и его физико-механические и эксплуатационные свойства.

В настоящей работе выбор наполнителя для изготовления серных композиционных материалов, стойких в различных средах, осуществляли с применением критерияльного подхода [1]. В качестве критерия использовали значение изобарно-изотермического потенциала (энергия Гиббса), рассчитываемого известными методами химической термодинамики. Термодинамический подход позволяет определить возможность протекания химического процесса.

На практике в качестве критерия для оценки направленности процесса используют изобарно-изотермический потенциал ΔG :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где ΔH – энтальпия процесса; ΔS – энтропия процесса; T – температура.

Изменение энтальпии ΔH и энтропии ΔS реакции согласно закону Гесса (первое следствие из закона Гесса) равны [7]:

$$\Delta_r H_{298}^{\circ} = \sum_{j=1}^N (n_j \cdot \Delta_f H_{298,j}^{\circ})_{\text{прод}} - \sum_{i=1}^M (n_i \cdot \Delta_f H_{298,i}^{\circ})_{\text{исх}};$$

$$\Delta_r S_{298}^{\circ} = \sum_{j=1}^N (n_j \cdot S_{298,j}^{\circ})_{\text{прод}} - \sum_{i=1}^M (n_i \cdot S_{298,i}^{\circ})_{\text{исх}},$$

где $\Delta_r H_{298}^{\circ}$ – стандартный тепловой эффект реакции при 298 К; $\Delta_f H_{298,j}^{\circ}$ и $\Delta_f H_{298,i}^{\circ}$ – стандартные тепловые эффекты образования продуктов реакции и исходных веществ соответственно; $\Delta_r S_{298}^{\circ}$ – энтропия реакции при 298 К; $S_{298,j}^{\circ}$ и $S_{298,i}^{\circ}$ – стандартные энтропии образования продуктов реакции и исходных веществ соответственно; n_j и n_i – количество вещества продуктов реакции и исходных веществ соответственно.

Тепловой эффект реакции при другой температуре (отличной от стандартной) согласно закону Кирхгофа равен

$$\Delta_r H_{T_2} = \Delta_r H_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT,$$

где $\Delta_r H_{T_2}$ и $\Delta_r H_{T_1}$ – тепловые эффекты реакции при T_2 и T_1 соответственно; ΔC_p – изменение теплоемкости системы реагирующих веществ в конечном и начальном состоянии.

При расчёте ΔG возможны следующие варианты:

- 1) $\Delta G < 0$;
- 2) $\Delta G = 0$;
- 3) $\Delta G > 0$.

Первый вариант означает, что при данных условиях (температуре, давлении, концентрации и т.д.) возможно самопроизвольное протекание исследуемого процесса. Второй вариант – созданных внешних условий недостаточно для проведения процесса, система находится в состоянии равновесия. Третий вариант – при данных условиях протекание процесса невозможно.

В данной работе термодинамический подход использовался для оценки возможности следующих химических взаимодействий:

1) между *наполнителем* и *серой* в процессе приготовления материала;

2) между *наполнителем* и *агрессивной средой* в процессе эксплуатации материала;

3) между *сульфидами*, образующимися на границе раздела фаз «сера – наполнитель», и *агрессивной средой*.

По результатам термодинамического анализа, которому были подвергнуты основные породообразующие минералы, а также наиболее распространенные со-

единения, входящие в состав минералов, осуществляли выбор дисперсной фазы (табл. 1). Основным критерием выбора наполнителя являлась его химическая инертность к взаимодействию с серой и к действию различных кислот и солей (для проведения расчетов и исследований были выбраны самые распространенные в промышленности кислоты и соли: соляная, серная и азотная кислоты, хлорид натрия и сульфат магния).

Таблица 1

Результаты термодинамических расчётов*

Компонент наполнителя	Образование сульфида при температуре изготовления ($T = 160^\circ\text{C}$)	Энергия Гиббса, кДж/моль									
		Эксплуатационные среды									
		кислоты						соли			
		соляная		серная		азотная		хлорид натрия		сульфат магния	
		$T = 25^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$	$T = 25^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$	$T = 25^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$	$T = 25^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$	$T = 25^\circ\text{C}$	$T = 50^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Оксиды											
NaO	-287,9	$\frac{-449,2}{-233,2}$	$\frac{-432,4}{449,9}$	$\frac{-451,1}{-234,8}$	$\frac{-327,4}{556,4}$	$\frac{-412,8}{-196,5}$	$\frac{-380,0}{503,8}$	–	–	$\frac{1601,9}{2624,3}$	$\frac{1773,8}{330,3}$
K ₂ O	-499,3	$\frac{-540,6}{-245,0}$	$\frac{-529,5}{417,2}$	$\frac{-543,2}{-247,6}$	$\frac{-403,5}{-233,2}$	$\frac{-541,0}{-245,5}$	$\frac{-388,8}{558,0}$	$\frac{-116,7}{-11,71}$	$\frac{-123,6}{-32,72}$	$\frac{1484,1}{1668,6}$	$\frac{1669,9}{2460,6}$
MgO	-161,7	$\frac{-70,0}{41,1}$	$\frac{-56,3}{99,8}$	$\frac{-2027,3}{-1916,2}$	$\frac{-2073,4}{-1913,3}$	$\frac{-252,8}{-141,7}$	$\frac{-123,1}{33,0}$	$\frac{353,9}{610,1}$	$\frac{349,7}{636,9}$	–	–
CuO	-162,2	$\frac{-72,4}{-35,4}$	$\frac{-42,9}{99,9}$	$\frac{-75,5}{40,1}$	$\frac{-43,3}{147,7}$	$\frac{-939,1}{-823,5}$	$\frac{-947,2}{-756,5}$	$\frac{496,7}{276,5}$	$\frac{494,3}{-300,6}$	$\frac{1951,8}{1956,3}$	$\frac{2030,4}{2065,0}$
CaO	-66,3	$\frac{-183,6}{-110,1}$	$\frac{-189,1}{-70,3}$	$\frac{-275,5}{-184,1}$	$\frac{-236,4}{-117,6}$	$\frac{-215,2}{-41,7}$	$\frac{-85,9}{33,0}$	$\frac{240,4}{123,2}$	$\frac{216,9}{-520,2}$	$\frac{1769,8}{1732,1}$	$\frac{1836,9}{1799,7}$
ZnO	-81,5	$\frac{-98,3}{-16,8}$	$\frac{-128,9}{-25,9}$	$\frac{-102,0}{-20,5}$	$\frac{-88,4}{14,6}$	$\frac{-1950}{-1869}$	$\frac{-1996,0}{-1893,0}$	$\frac{697,2}{217,7}$	$\frac{641,8}{-522,8}$	$\frac{1925,3}{1895,7}$	$\frac{-1985,0}{1932,0}$
BaO	-146,8	$\frac{-330,4}{-215,9}$	$\frac{-298,8}{-188,9}$	$\frac{-375,4}{-260,9}$	$\frac{-217,3}{-107,4}$	$\frac{-345,3}{-230,8}$	$\frac{-155,8}{-45,9}$	$\frac{93,5}{17,4}$	$\frac{108,2}{-638,8}$	$\frac{1651,9}{1655,3}$	$\frac{1857,1}{1869,9}$
SiO ₂	302,3	$\frac{107,4}{-}$	$\frac{59,5}{-}$	–	–	–	–	$\frac{955,3}{-}$	$\frac{871,5}{-}$	–	–
PbO	-108,6	$\frac{-172,5}{-63,8}$	$\frac{-157,8}{-25,0}$	$\frac{-172,6}{-63,9}$	$\frac{-181,6}{-48,7}$	$\frac{-146,2}{-37,5}$	$\frac{-160,5}{-27,6}$	$\frac{251,4}{169,5}$	$\frac{248,2}{-474,9}$	$\frac{1853,9}{1852,3}$	$\frac{1890,9}{1868,7}$
MnO	-21,1	$\frac{-111,4}{-60,7}$	$\frac{-83,9}{-11,3}$	$\frac{-146,0}{-95,3}$	$\frac{-163,9}{-91,3}$	$\frac{-89,7}{-39,0}$	$\frac{-105,1}{-32,5}$	$\frac{312,5}{172,6}$	$\frac{322,1}{-461,2}$	$\frac{1881,3}{1820,9}$	$\frac{1909,5}{1826,1}$
FeO	-36,92	$\frac{-106,5}{-47,0}$	$\frac{-186,4}{-200,6}$	$\frac{-122,0}{-62,5}$	$\frac{-212,1}{-226,3}$	$\frac{-3030}{-2971}$	$\frac{-3122,6}{-3136,8}$	$\frac{317,4}{186,3}$	$\frac{219,6}{-650,5}$	$\frac{1905,3}{1853,7}$	$\frac{1861,2}{1688,1}$
Соли											
Na ₂ CO ₃	193,0	$\frac{-163,4}{-}$	$\frac{-202,2}{-}$	$\frac{-164,8}{-}$	$\frac{-95,7}{-}$	$\frac{-126,5}{-}$	$\frac{-148,3}{-}$	–	–	$\frac{1813,2}{-}$	$\frac{1957,8}{-}$

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\text{Na}_2\text{SO}_4^{**}$	242,4	$\frac{1,44}{-}$	$\frac{8,23}{-}$	—	—	$\frac{38,3}{-}$	$\frac{40,38}{-}$	—	—	—	—
K_2CO_3	149,7	$\frac{-196,3}{-}$	$\frac{-144,8}{-}$	$\frac{-198,9}{-}$	$\frac{-18,7}{-}$	$\frac{-196,8}{-}$	$\frac{-4,1}{-}$	$\frac{-33,0}{-}$	$\frac{57,3}{-}$	$\frac{1779,0}{-}$	$\frac{2034,7}{-}$
$\text{K}_2\text{SO}_4^{**}$	256,3	$\frac{2,6}{-}$	$\frac{9,58}{-}$	—	—	$\frac{1973,0}{-}$	$\frac{1985,6}{-}$	$\frac{1,2}{-}$	$\frac{1,36}{-}$	—	—
MgCO_3	-92,5	$\frac{-20,4}{41,1}$	$\frac{-35,8}{99,8}$	$\frac{-1978}{-1916}$	$\frac{-2052,9}{-1913,3}$	$\frac{-1956,1}{-141,7}$	$\frac{-2030,0}{33,0}$	$\frac{142,7}{610,1}$	$\frac{165,8}{636,9}$	—	—
MgSO_4^{**}	1915,7	$\frac{1957,3}{-}$	$\frac{2012,1}{-}$	—	—	$\frac{21,6}{-}$	$\frac{23,0}{-}$	$\frac{1955,8}{-}$	$\frac{1434,4}{-}$	—	—
CuCO_3	680,5	$\frac{-173,9}{-}$	$\frac{-226,5}{-}$	$\frac{-177,0}{-}$	$\frac{-226,6}{-}$	$\frac{-1053}{-}$	$\frac{-1144,8}{-}$	$\frac{19,5}{-}$	$\frac{890,9}{-}$	$\frac{5018,9}{-}$	$\frac{5188,9}{-}$
CuSO_4	-45,2	$\frac{3,1}{-35,4}$	$\frac{-2,7}{99,9}$	—	—	$\frac{-888,7}{-823,5}$	$\frac{-1013,7}{-756,5}$	$\frac{1,7}{276,5}$	$\frac{106,5}{-300,6}$	—	—
CaCO_3	148,7	$\frac{-54,1}{-}$	$\frac{-100,8}{-}$	$\frac{-128,0}{-}$	$\frac{-148,2}{-}$	$\frac{-85,7}{-}$	$\frac{-247,6}{-}$	$\frac{109,3}{-}$	$\frac{101,3}{-}$	$\frac{1850,0}{-}$	$\frac{1905,3}{-}$
CaSO_4	184,0	$\frac{73,9}{-}$	$\frac{47,4}{-}$	—	—	$\frac{42,4}{-}$	$\frac{43,2}{-}$	$\frac{72,5}{-}$	$\frac{153,8}{-}$	—	—
ZnCO_3	-97,2	$\frac{-81,0}{-16,8}$	$\frac{-113,1}{-25,9}$	$\frac{-85,9}{-20,5}$	$\frac{-73,9}{14,6}$	$\frac{-1934}{-1869}$	$\frac{-1981,6}{-1893,0}$	$\frac{82,4}{217,7}$	$\frac{89,0}{-522,8}$	$\frac{1892,1}{1895,7}$	$\frac{-1979,6}{1932,0}$
ZnSO_4	22,8	$\frac{4,9}{-}$	$\frac{-39,5}{-}$	—	—	$\frac{-1848}{-}$	$\frac{-1907,9}{-}$	$\frac{3,5}{-}$	$\frac{67,2}{-}$	—	—
BaCO_3	207,9	$\frac{-129,8}{-}$	$\frac{-192,6}{-}$	$\frac{-174,7}{-}$	$\frac{-136,5}{-}$	$\frac{-144,7}{-}$	$\frac{-75,1}{-}$	$\frac{33,6}{-}$	$\frac{-15,9}{-}$	$\frac{1803,3}{-}$	$\frac{1916,9}{-}$
PbCO_3	-66,8	$\frac{-158,3}{-63,8}$	$\frac{-167,3}{-25,0}$	$\frac{-158,3}{-63,9}$	$\frac{-188,0}{-48,7}$	$\frac{-131,9}{-37,5}$	$\frac{-166,9}{-27,6}$	$\frac{34,7}{169,5}$	$\frac{69,9}{-474,9}$	$\frac{5037,1}{1852,3}$	$\frac{5086,8}{1868,7}$
PbSO_4	77,4	$\frac{0,1}{-}$	$\frac{23,7}{-}$	—	—	$\frac{26,4}{-}$	$\frac{21,1}{-}$	$\frac{-1,4}{-}$	$\frac{131,0}{-}$	—	—
MnCO_3	49,2	$\frac{-51,0}{-}$	$\frac{-72,6}{-}$	$\frac{-85,5}{-}$	$\frac{-152,5}{-}$	$\frac{-29,2}{-}$	$\frac{-93,7}{-}$	$\frac{112,4}{-}$	$\frac{392,4}{-}$	$\frac{1892,4}{-}$	$\frac{2163,7}{-}$
MnSO_4^{**}	93,3	$\frac{34,6}{-}$	$\frac{80,0}{-}$	—	—	$\frac{56,3}{-}$	$\frac{58,8}{-}$	$\frac{33,1}{-}$	$\frac{186,4}{-}$	—	—
FeCO_3	-10,6	$\frac{-69,5}{-47,0}$	$\frac{-87,8}{-200,6}$	$\frac{-85,1}{-62,5}$	$\frac{-113,5}{-226,3}$	$\frac{-2993}{-2971}$	$\frac{-3024,0}{-3136,8}$	$\frac{93,8}{186,3}$	$\frac{114,4}{-650,5}$	$\frac{1892,9}{1853,7}$	$\frac{1940,0}{1688,7}$
FeSO_4	61,4	$\frac{15,6}{-}$	$\frac{25,7}{-}$	—	—	$\frac{-2908}{-}$	$\frac{-2910,5}{-}$	$\frac{14,1}{-}$	$\frac{132,1}{-}$	—	—

Примечания: в числителе – значения энергии Гиббса для процесса взаимодействия *наполнителя с агрессивной средой*; в знаменателе – то же для процесса взаимодействия *сульфидов*, образующихся на границе раздела фаз «сера – наполнитель», с *агрессивной средой*; * – значения термодинамических величин взяты из справочной литературы [3...6]; ** – применение наполнителя возможно только после экспериментальной проверки в разбавленных растворах указанных солей и кислот.

Из анализа табл. 1 видно, что для изготовления серных материалов, стойких в растворах различных кислот и солей, целесообразно использовать кварцсодержащие наполнители (андезит, опоку, диабаз, кварц

и др.), а также сульфаты натрия, калия, магния, кальция и марганца. Эти наполнители инертны к действию серы и агрессивных сред, на что указывает изобарно-изотермический потенциал ($\Delta G > 0$).

Известно, что сульфаты натрия, калия, магния и марганца являются растворимыми в воде, поэтому их применение возможно только после экспериментальной проверки в разбавленных растворах указанных кислот и солей.

Поэтому в качестве наполнителя для изготовления химически стойких композитов на основе серного вяжущего предлагается использовать кварцевую муку с различной удельной поверхностью для установления оптимальных составов, полученную измельчением речного кварцевого песка (р. Сура). Кроме инертности, кварцевый песок является еще и доступным и широко распространенным сырьём в Пензенской области. Свойства данного наполнителя приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики кварцевого наполнителя ($M_k = 1,4$)

Средняя удельная поверхность, m^2/kg	Плотность, kg/m^3	
	насыпная	средняя
180	1230 ± 20	2620 ± 20
300	960 ± 5	
420	885 ± 10	

Список литературы

1. Антонов А.В. Системный анализ. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Бобрышев А.Н. Синергетика композиционных материалов / А.Н. Бобрышев, В.Н., Козомазов, Л.О. Бабин, В.И. Соломатов. – Липецк: НПО Ориус, 1994. – 151 с.
3. Евстратова К.И. Физическая и коллоидная химия / К.И. Евстратова, Н.А. Купина, Е.Е. Малахова – М.: Высшая школа, 1990. – 486 с.
4. Карапетьянц М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. – М.: Химия, 1968. – 472 с.
5. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. – Л.: Химия, 1978. – 392 с.
6. Равдель А.А. Краткий справочник физико-химических величин / А.А. Равдель, К.П. Мищенко. – Л.: Химия, 1974. – 200 с.
7. Стромберг А.Г. Физическая химия / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. – М.: Высшая школа, 1999. – 527 с.

References

1. Antonov A.V. Sistemnyj analiz. M.: Vysshaja shkola, 2004. 454 p.
2. Bobryshev A.N. Sinergetika kompozicionnyh materialov / A.N. Bobryshev, V.N., Kozomazov, L.O. Babin L.O., V.I. Solomatov. Lipeck: NPO Orius, 1994. 151 p.
3. Evstratova K.I. Fizicheskaja i kolloidnaja himija / K.I. Evstratova, N.A. Kupina, E.E. Malahova M.: Vysshaja shkola, 1990. 486 p.
4. Karapetjanc M.H. Osnovnye termodinamicheskie konstanty neorganicheskikh i organicheskikh veshhestv / M.H. Karapetjanc, M.L. Karapetjanc. M.: Himija, 1968. 472 p.
5. Rabinovich V.A. Kratkij himicheskij spravocchnik / V.A. Rabinovich, Z.Ja. Havin. L.: Himija, 1978. 392 p.
6. Ravdel A.A. Kratkij spravocchnik fiziko-himicheskikh velichin / A.A. Ravdel, K.P. Mishhenko. L.: Himija, 1974. 200 p.
7. Stromberg A.G. Fizicheskaja himija / A.G. Stromberg, D.P. Semchenko. M.: «Vysshaja shkola», 1999. 527 p.