

УДК.666.76

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ШИХТЫ НА СВОЙСТВА ПЛОТНЫХ ШАМОТНЫХ ОГНЕУПОРОВ

**Д. А. Биглов**

Аспирант\*

Контактный тел.: 099-455-34-05

E-mail: lafite@ukr.net

**Я. Н. Питак**

Доктор технических наук, профессор,  
заместитель заведующего кафедрой\*

Контактный тел.: (057) 707-63-92

E-mail: pyarn1@rambler.ru

**И. А. Остапенко**

Кандидат технических наук, генеральный директор\*\*

**О. М. Андрусенко**

Начальник технического отдела\*\*

\*Кафедра технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

\*\*ПАО «Кондратьевский огнеупорный завод»  
ул. Октябрьская, 121а, г. Дружковка,  
Донецкая область, Украина, 84293  
Контактный тел.: (06267) 5-21-91

*Розглянуто процес виробництва ковшового вогнетриву для футеровки сталеразливних ковшів. Проведено дослідження щодо отримання шамоту, підбору його шихтового складу. Визначено важливі експлуатаційні характеристики матеріалів: щільність сирцю і готових виробів межа міцності.*

*Ключові слова:* ковшевої, високоглиноземний, шамот.

*Рассмотрен процесс производства ковшового огнеупора для футеровки сталеразливочных ковшей. Проведены исследования по получению шамота, подбору его шихтового состава. Определены важные эксплуатационные характеристики материалов: плотность сырца и готовых изделий предел прочности.*

*Ключевые слова:* ковшевой, высокоглиноземистый, шамот.

*The processes of production of ladle refractory material for steel ladles are considered. The researches to obtaining of chamotte, selection of his composition were carrying out. The most important characteristics of materials received.*

*Keywords:* ladle, high alumina, chamotte.

## 1. Введение

Металлургическая промышленность Украины является одной из основных базовых отраслей народного хозяйства. Увеличение прибыльности производства и снижение производственных затрат напрямую связано с качеством поставляемой огнеупорной продукции. Важное значение имеют огнеупоры, предназначенные для футеровки сталеразливочного ковша.

Сталеразливочные ковши сохраняют функцию агрегата для транспортировки жидкого металла до участка разлива стали. Выбор огнеупоров для футеровки зависит от конструкции ковша и условий эксплуатации. Футеровка может быть однослойной, но чаще включает рабочий, защитный и теплоизоляционный слой. Данная работа посвящена исследованию свойств огнеупоров, предназначенных для футеровки рабочего слоя. Одними из важнейших эксплуатационных показателей огнеупора являются его плотность и прочность, от которых, во многом, зависит срок службы футеровки [5–11]. Поэтому целью данной работы является определение динамики изменения величины кажущейся плотности сырца и готовых изделий (ковшевого шамотного кирпича), а также предела прочности при сжатии обо-

жженных образцов при варьировании сырьевого состава шихты.

Совершенствование производства невозможно без аналитических научных исследований, позволяющих повысить качество выпускаемой огнеупорной продукции и минимизировать производственные затраты. Процесс экспериментальной работы необходимо максимально упростить и ускорить. Внедрение методов математического моделирования эксперимента, является актуальным и эффективным инструментом упрощения экспериментальной работы. Как показывает опыт, применение методов планирования эксперимента, позволяет значительно повысить эффективность научных исследований [1–4].

## 2. Экспериментальная часть

В качестве основных исходных материалов для получения образцов использовали шамот (ШКМ-2) (с содержанием оксида алюминия не менее 39%), глину огнеупорную Мурзинского месторождения (с содержанием оксида алюминия не менее 28%, оксида железа не более 1,2% и огнеупорностью не менее 1630 °С). Для повышения огнеупорности и других эксплуатационных характе-

ристик, в шихту вводили в качестве глиноземсодержащих добавок высокоглиноземистый шамот пылевидной фракции (МКБ) или дистен-силлиманит молотый (дистен) с содержанием 57 % оксида алюминия что должно позволить увеличить содержания оксида алюминия в изделии.

Был проведен дифференциально-термический анализ огнеупорной глины. Диаграмма ДТА представлена на рис. 1. Установлено, что обезвоживание происходит при 140 °С, при 610 °С наступает метоксолинитовая стадия и при 1020 °С начинается образование новой фазы.

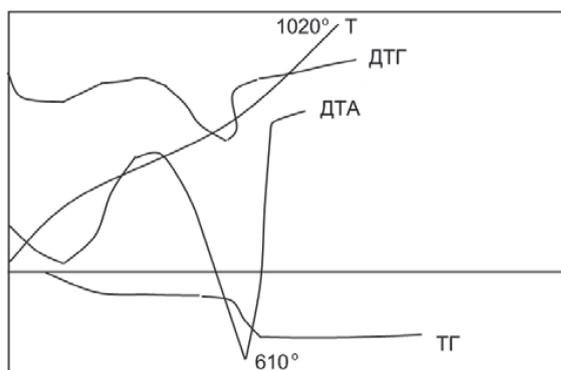


Рис. 1. Дифференциально-термический анализ огнеупорной глины

Область исследуемых составов в сечении огнеупорная глина — шамот ШКМ-2 — высокоглиноземистый шамот МКБ приведена на рис. 2,а.

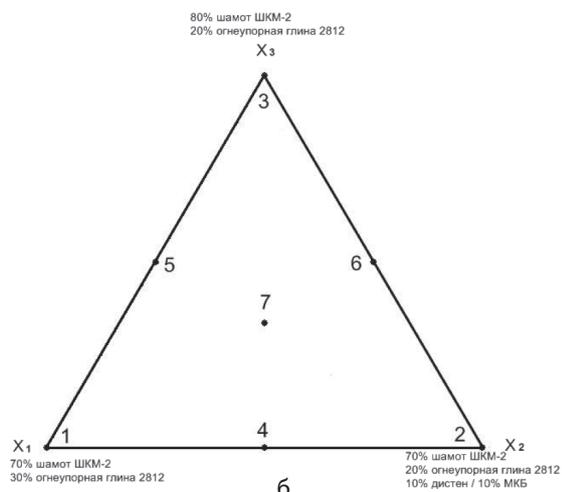
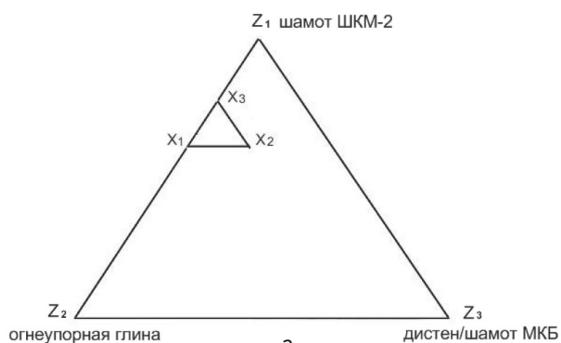


Рис. 2. Область исследованных составов (а) и составы шихт (б)

В работе исследовано 11 составов: в том числе 3 состава без добавок (№ 1, 3, 5), 4 состава с добавкой дистен-силлиманита молотого и 4 состава с добавкой высокоглиноземистого шамота марки МКБ пылевидной фракции с размером частиц менее 0,06 мм (№ 2, 4, 6, 7) (рис. 2,б) и табл. 1, 2.

Таблица 1

Матрица планирования и составы образцов с добавкой дистена

N	X1	X2	X3	Состав, масс. %		
				Шамот ШКМ-2 (Z1)	Огнеупорная глина (Z2)	Дистен (Z3)
1	1	0	0	70	30	0
2	0	1	0	70	20	10
3	0	0	1	80	20	0
4	0,5	0,5	0	70	25	5
5	0,5	0	0,5	75	25	0
6	0	0,5	0,5	75	20	5
7	0,33	0,33	0,34	73,33	23,33	3,34

Таблица 2

Матрица планирования и составы образцов с добавкой высокоглиноземистого шамота МКБ

N	X1	X2	X3	Состав, масс. %		
				Шамот ШКМ-2 (Z1)	Огнеупорная глина (Z2)	Шамот МКБ (Z3)
1	1	0	0	70	30	0
2	0	1	0	70	20	10
3	0	0	1	80	20	0
4	0,5	0,5	0	70	25	5
5	0,5	0	0,5	75	25	0
6	0	0,5	0,5	75	20	5
7	0,33	0,33	0,34	73,33	23,33	3,34

В качестве связующего вещества использовали шликер приготавливаемый из молотой глины и лигносульфоната технического (ЛСТ). Плотность ЛСТ — не менее 1,09 г/см<sup>3</sup>, плотность шликера не менее 1,20 г/см<sup>3</sup> температура не ниже 40 °С.

Шликер для массы приготавливался методом перемешивания. Готовый шликер добавлялся в шамот и перемешивался в лабораторной мешалке в течение 60 с. Далее к массе добавлялась огнеупорная глина и масса дополнительно перемешивалась в течение 120 с. Изделия формовались методом полусухого прессования на гидравлическом прессе. Давление прессования составляло 700 Кг/см<sup>2</sup>. Сушка и обжиг образцов проводился в туннельной печи цеха № 1 ОАО «Кондратьевский огнеупорный завод» в стандартном режиме обжига для ковшевого кирпича. Температура обжига — 1350 °С.

Определение свойств исследуемых образцов осуществляли согласно стандартам Украины. Кажущуюся плотность обожженных образцов определяли в соответствии с ГОСТ 2409-93 [12]. Предел прочности огнеупров на сжатие определяли в соответствии с ГОСТ 4071.1-94 [13]. Оптимизация количественного соотношения производилась

с помощью симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента [1–4]. Составы экспериментальных масс приведены в табл. 1.

По результатам экспериментальных данных рассчитаны коэффициенты полинома и выведены уравнения регрессии, выражающие зависимость плотности сырца и готовых изделий от количественного соотношения компонентов шихты.

Свойства обожженных образцов сведены в табл. 3.

**Таблица 3**

Зависимость величины плотности сырца  $\rho(д)$  (состав содержит дистен)  $\rho(м)$  (состав содержит МКБ) плотности обожженного изделия  $\rho'(д)$  и  $\rho'(м)$  а также предела прочности на сжатие  $\sigma(д)$  и  $\sigma(м)$  от состава

N	$\rho(д)$ , Кг/м <sup>3</sup>	$\rho(м)$ , Кг/м <sup>3</sup>	$\rho'(д)$ , Кг/м <sup>3</sup>	$\rho'(м)$ , Кг/м <sup>3</sup>	$\sigma(д)$ , МПа	$\sigma(м)$ , МПа
1	2106	2106	2170	2170	41,37	41,37
2	2106	2120	2110	2100	34,56	33,37
3	2050	2050	2120	2120	25,45	25,45
4	2100	2166	2130	2160	35,37	37,12
5	2100	2100	2100	2100	34,45	34,45
6	2106	2057	2110	2100	27,12	28,85
7	2087	2130	2150	2130	31,78	38,25

Зависимость плотности сырца  $[\rho]$  от состава описывается уравнениями регрессии:

а)  $\rho(д) = 2,106x + 2,106y + 2,05z - 0,024xy + 0,088xz + 0,112yz - 0,5367xyz$  (для составов с добавкой дистена).

б)  $\rho(м) = 2,106x + 2,12y + 2,05z - 0,212xy + 0,088xz - 0,112yz + 0,4645xyz$  (для составов с добавкой шамота МКБ);

Зависимость плотности готового изделия  $[\rho']$  от состава описывается уравнениями регрессии:

в)  $\rho'(д) = 2,16x + 2,11y + 2,12z - 0,04xy - 0,18xz - 0,02yz + 1,1707xyz$  (для составов с добавкой дистена).

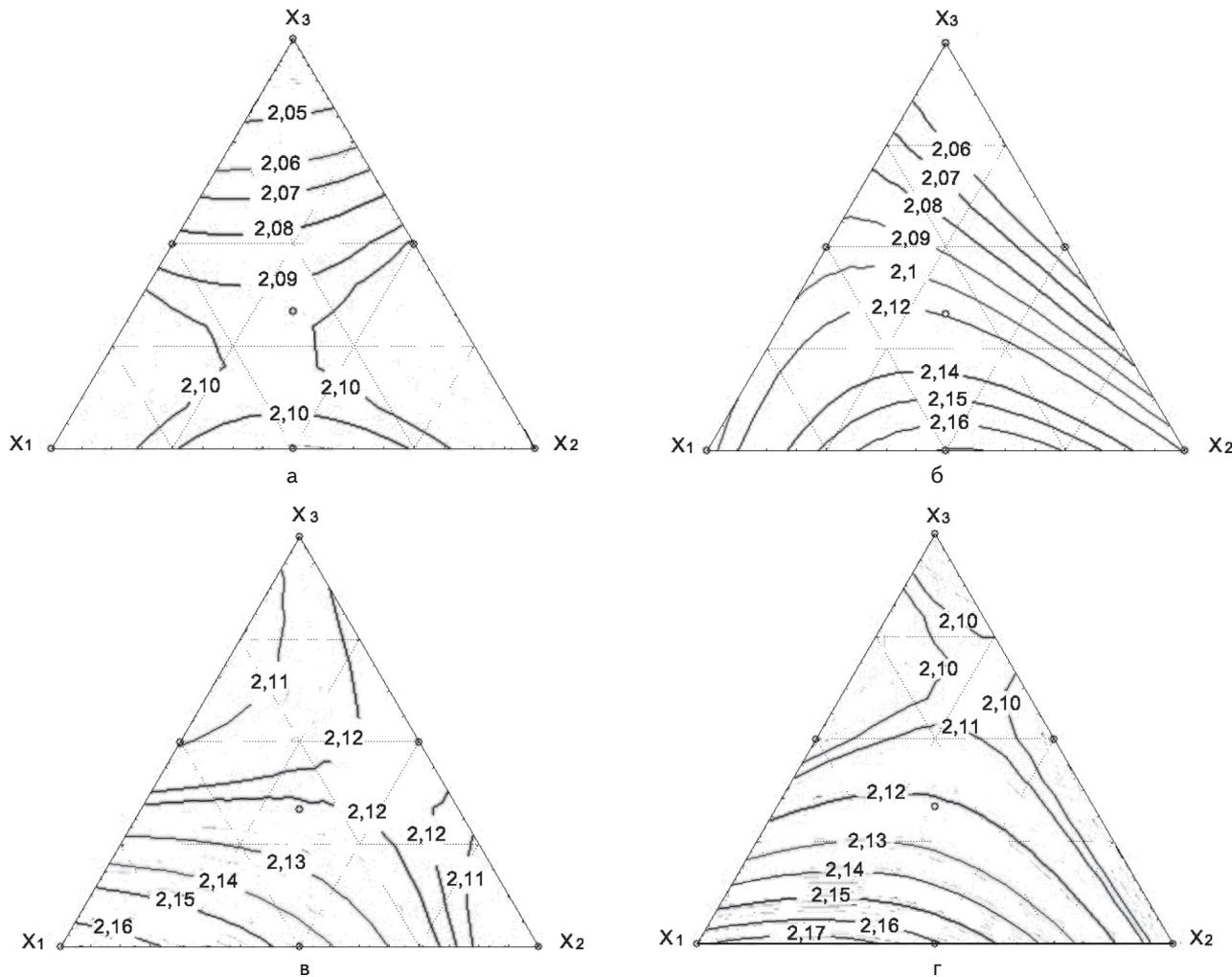
г)  $\rho'(м) = 2,17x + 2,1y + 2,12z + 0,1xy - 0,18xz - 0,04yz + 0,3615xyz$  (для составов с добавкой шамота МКБ);

Зависимость величины предела прочности на сжатие  $[\sigma]$  от состава описывается уравнениями регрессии:

д)  $\sigma(д) = 41,37x + 34,56y + 25,45z - 10,38xy + 4,16xz - 11,54yz - 0,8949xyz$  (для составов с добавкой дистена).

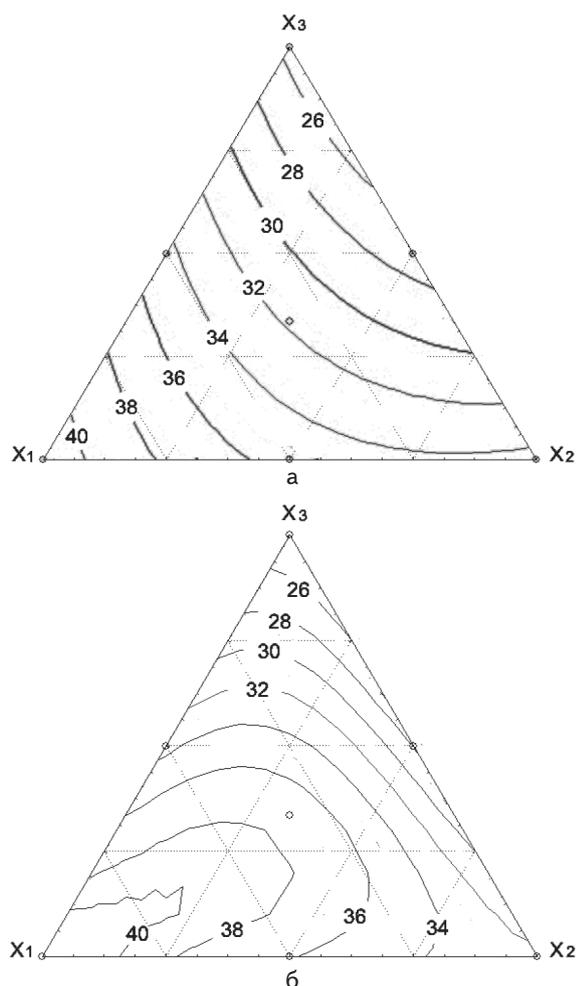
е)  $\sigma(м) = 41,37x + 33,376y + 25,45z - 1xy + 4,16xz - 2,24yz + 128,4832xyz$  (для составов с добавкой шамота МКБ).

В результате проведенных исследований построены симплекс-диаграммы «состав — свойство» и проекции линий равного уровня для плотности сырца (рис. 3,а,б), плотности готового изделия (рис. 3,в,г) а также для величины предела прочности на сжатие обожженных изделий (рис. 3,а,б). Установлено, что введение шамота МКБ



**Рис. 3.** Проекция линий равного уровня на диаграмме «состав — свойство»: для плотности сырца — а, б; для плотности обожженных изделий — в, г; с добавкой дистена — а, в; с добавкой шамота МКБ — б, г

в качестве спекающей добавки выражено повышает плотность сырца, на плотность же готового изделия большее влияние оказывает увеличение содержания глины; влияние дистена на плотность сырца незначительно. Также были определены области оптимальных значений содержания шамота МКБ в шихте выше которых влияние на плотность минимизировалась, дистен же, при увеличении его процентного содержания продолжал увеличивать плотность изделия, но при добавлении свыше 10 % после обжига наблюдалась деформация образцов, и, в целом, зависимость плотности от содержания дистена выражена слабее, чем в случае с МКБ. Увеличение содержания глины в шихте привело к увеличению не только плотности (рис. 3, в, г), но и механической прочности изделия (рис. 4, а, б) (повышению плотности способствовало также введение до 5 % тонкомолотой пыли высокоглиноземистого шамота МКБ).



**Рис. 4.** Проекция линий равного уровня на диаграмме «состав — свойство»: для предела прочности на сжатие обожженных изделий с добавкой дистена — а; для предела прочности на сжатие обожженных изделий с добавкой шамота МКБ — б

### 3. Выводы

Установлено, что увеличение процентного содержания глины в шихте, с соответствующим уменьшением процентного содержания шамота ШКМ-2, приводит

к возрастанию механической прочности и плотности изделия. Также возрастанию плотности и механической устойчивости, способствует введение в состав небольшого (в пределах 5 %) количества пылевидного высокоглиноземистого шамота марки МКБ. В целом, исследования показали, что введение МКБ и дистена, является оправданным для повышения содержания оксида алюминия и повышения марки изделия, но на плотность, пористость и механическую прочность изделия оказывают влияние слабее, чем простое варьирование соотношением огнеупорная глина/шамот. Таким образом, в итоге применения метода оптимизации составов при помощи симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента, определена область оптимальных значений содержания сырьевых компонентов в шихте, с целью получения требуемой плотности и механической прочности готового ковшевого кирпича: шамот ШКМ 70–72 %, огнеупорная глина 28–30 %, дистен шамот МКБ 1–3 %.

### Литература

1. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем [Текст] / Зедгинидзе И. Г. — М.: Наука. — 1976. — 376 с.
2. Ахназарова С. Л. Методы организации эксперимента в химической технологии. [Текст] / Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. — 1985. — 327 с.
3. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. [Текст] / Бондарь А. Г., Статюха В. А., Потяженко И. А. — Киев: Высшая школа. — 1980. — 264 с.
4. Анголенко Л. О. Застосування симплекс решітчатого методу для оптимізації складів леткових мас системи  $Al_2O_3-SiC-C$  [Текст] / Анголенко Л. О., Семченко Г. Д., Тищенко С. В., Старолат О. Е. // Збірник наукових праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів імені А. С. Бережного». — Харків: Каравела, 2008. — 54–58 с.
5. Гусовский В. Л. Огнеупоры для нагревательных и термических печей [Текст]: справочник / Гусовский В. Л., Ладыгичев М. Г., Кашеев И. Д. — 2004. — 256 с.
6. Кашеев И. Д. Свойства и применение огнеупоров. Справочное издание [Текст] / Кашеев И. Д. — 2004. — 352 с.
7. Сулименко Л. М. Общая технология силикатов [Текст] / Сулименко Л. М. — Инфра-М, 2009. — 336 с.
8. Аскельрод Л. М. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок. Справочник в 2-х книгах. Книга 2. Служба огнеупоров [Текст] / Аскельрод Л. М., Грищенко Е. Е., Кашеев И. Д. — 2002. — 656 с.
9. Пилипчатин Л. Д. Разработка технологии шамотных огнеупоров с использованием тугоплавкой глины [Текст] / Пилипчатин Л. Д., Шевцов // Сб. научн. Тр. ОАО «УкрНИИ огнеупоров им. А. С. Бережного». — Харьков: Каравела. — 1999. — № 99. — С. 101–107.
10. Пилипчатин Л. Д. Разработка технологии шамотных огнеупоров на основе владимирского каолина с использованием пестроцветной глины [Текст] / Пилипчатин Л. Д., Коздоба В. И., Ефимненко А. Д., Шевцов Р. Н. — Огнеупоры и техническая керамика. — 1997. — № 12. — С. 17–20.

11. Пилипчатин Л. Д. Использование пестроцветной глины при изготовлении шамотных огнеупоров из Владимирского каолина [Текст] / Пилипчатин Л. Д., Коздоба В. И., Ефимненко А. Д., Шевцов Р. Н. // Огнеупоры и техническая керамика. — 1998. — № 1. — С. 30–31.
12. ГОСТ 2409-93. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. — Введ.: 01.01.97. — К.: Держстандарт, 1996. — 9 с. Гр. 81.080 (И22).
13. ГОСТ 4071.1-94. Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре. — Введ.: 01.01.96. — Взамен ГОСТ 4071-80 в части изделий с общей пор. — К.: Держстандарт України, 1996. — 9 с. Гр. 81.080.

*Встановлено, що ізотерма розчинності має простий евтонічний тип із явищем висолювання  $\text{KHCO}_3$  і утворення карбонат-іонів. Поле кристалізації  $\text{KHCO}_3$  займає більшу частину діаграми, поле кристалізації  $N,N$ -діетиламонію гідрокарбонату практично вироджено в лінію.*

*Ключові слова:* склад, властивість, розчинність, гідрокарбонат калію.

*Установлено, что изотерма растворимости имеет простой эвтонический тип с явлением высаливания  $\text{KHCO}_3$  и образования карбонат-ионов. Поле кристаллизации  $\text{KHCO}_3$  занимает большую часть диаграммы; поле кристаллизации  $N,N$ -диэтиламмония гидрокарбоната практически вырождено в линию.*

*Ключевые слова:* состав, свойство, растворимость, гидрокарбонат калия.

*It is shown that the solubility isotherm has a simple eutonic type and shows the phenomenon of  $\text{KHCO}_3$  salting out and formation of carbonate ions. Crystallization field of  $\text{KHCO}_3$  occupies most of the chart; the crystallization field of  $N,N$ -diethylammonium hydrocarbonate is practically generated into a line.*

*Keywords:* composition, properties, solubility, hydrogen potassium.

УДК 541.123.3:66.002.61

## ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СОСТАВОМ И СВОЙСТВАМИ СИСТЕМЫ $\text{K}^+$ , $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}_2^+$ // $\text{HCO}_3^-$ - $\text{H}_2\text{O}$ ПРИ 30 °С

В. В. Панасенко

Аспирант\*

Контактный тел.: (0572) 63-39-61

E-mail: panasenkovv@i.ua

Г. И. Гринь

Доктор технических наук, профессор,  
проректор по научно-педагогической работе\*

Контактный тел.: (057) 707-63-53

E-mail: grynn@kpi.kharkov.ua

В. А. Панасенко

Доктор технических наук, профессор, начальник отдела  
Государственный научно-исследовательский

и проектный институт основной химии

ул. Мироносицкая, 25, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: (057) 707-26-17

E-mail: panasenko2004@bk.ru

С. А. Мазунин

Доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой  
Кафедра неорганической химииПермский государственный университет  
ул. Букирева, 15, г. Пермь, Россия, 614015

Контактный тел.: (3422) 39-63-03

E-mail: smazunin@psu.ru

\*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

### Введение

Проблемам получения высококачественных калийных солей и удобрений из рудных минералов на протяжении последних десятилетий посвящены многочисленные исследования и патентные публикации в отечественных и зарубежных изданиях [1–6]. Карбонат калия (поташ) — незаменимое сырье для производства оптических и специальных стекол, моющих средств, керамики, фар-

мацевтических препаратов. Он используется в качестве морозозащитной добавки в бетоны и растворы, для очистки технических газов от диоксида углерода и  $\text{H}_2\text{S}$  [7, 8], является бесхлорным калийным удобрением, эффективность которого особенно высока для кислых почв.

Потребности стран СНГ в 90-х годах исчислялась десятками тысяч тонн и удовлетворялась за счет поташа, который производился как побочный продукт при переработке нефелинов [9, 10]. Однако недостаточная чистота