

УДК 622.775

**М.И. Фазлуллин, Г.И. Авдонин, Р.Н. Смирнова**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО КУЧНОМУ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ НИКЕЛЯ**

*Приведены результаты научно-исследовательских работ, позволяющих разработать технологические схемы кучного выщелачивания и переработки продуктивных растворов с получением никелевого концентрата.*

*Ключевые слова: кучное выщелачивание, магнезиальные и железистые руды, кислотность выщелачивающих растворов.*

**К**учное выщелачивание никеля из окисленных руд кор выветривания серпентинитов в последнее время успешно осуществляется на ряде месторождений Австралии и Турции. Активизировались исследовательские и опытные работы по этому направлению и в России.

Основной целью этих исследований являлось установление принципиальной возможности выщелачивания никеля и сопутствующих компонентов из магнезиальных и железистых руд серноокислотными растворами, определение средних концентраций металлов в продуктивных растворах и оценка степени их извлечения.

Проводилось также сравнение кинетики выщелачивания из железистых руд естественной крупности и руд, агломерированных с серной кислотой.

Исследование выходных параметров выщелачивания двух различных типов руд: магнезиального с ориентировочным содержанием никеля ~0,6 % и железистого с содержанием никеля ~1,02 %, проводилось с кислотностью выщелачивающих растворов 75 и 100 г/л.

Сравнение двух режимов кислотности выщелачивающих растворов в колонках с железистой рудой показывает:

- при большей кислотности выщелачивающих растворов отмечаются

более высокие концентрации металлов в продуктивных растворах;

- при большей кислотности выщелачивающих растворов железо переходит в раствор более интенсивно, чем никель;

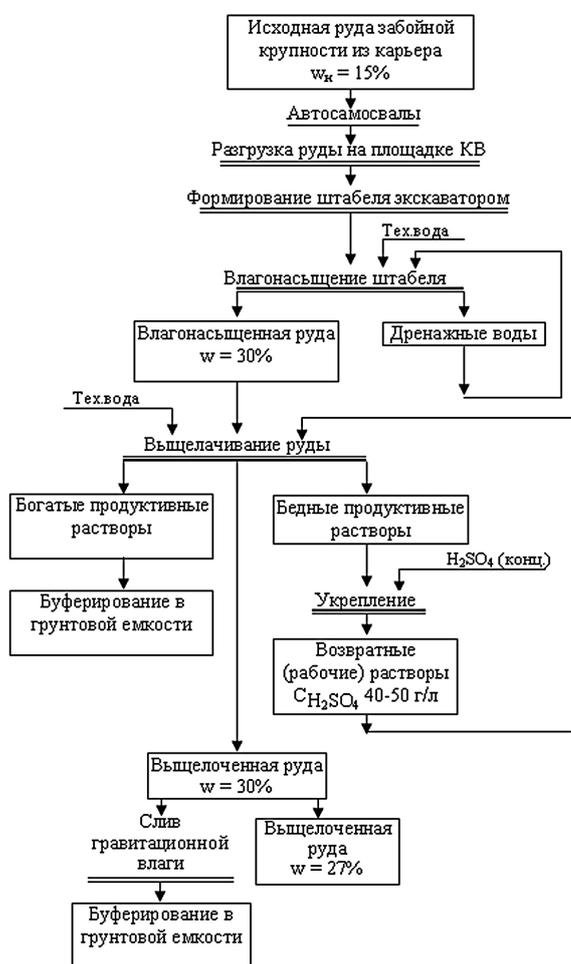
- интенсивность извлечения несколько выше при большей кислотности выщелачивающих растворов, однако расход кислоты при этом значительно выше. 90 % извлечения достигается при Ж:Т≈14,5 при кислотности 75→50 г/л, расход кислоты при этом 460 кг/т. В режиме выщелачивания 100→75→50 г/л 90 %-ное извлечение достигается при Ж:Т≈11,5, расход кислоты при этом ≈520 кг/т.

Сравнение параметров выщелачивания колонок, загруженных магнезиальной рудой, показывает:

- кислотность выщелачивающих растворов слабо влияет на динамику выщелачивания никеля и расход кислоты;

- 70 %-ное извлечение достигается по обеим колонкам при Ж:Т≈8,5—9 при расходе кислоты ≈450 кг/т.

- применение «жесткого» режима выщелачивания (100—75 г/л) приводит к снижению фильтрационных свойств руды (приемистость колонок по растворам заметно снижается).



#### Примечание

- 1) В случае прекращения работ на опытном участке выщелоченная руда  $w = 27\%$  и растворы в буферной емкости нейтрализуются содой и утилизируются.
- 2) В случае продолжения работ на опытном участке выщелоченная руда оставляется на площадке КВ, а растворы из буферной емкости перерабатываются с извлечением никеля и кобальта и используются на влагонасыщение последующих штабелей.

**Рис. 1. Технологическая схема процесса кучного выщелачивания на опытно-промышленном участке**

Сравнение показателей отработки агломерированной руды с показателями для руды естественной крупности показывает, что на начальных этапах отработки скорость извлечения никеля выше из гранулированной руды, однако концентрация никеля в продуктивных растворах гораздо ниже.

Рекомендуемая кислотность выщелачивающих растворов находится в интервале 40—50 г/л.

Проектная технологическая схема кучного выщелачивания на опытно-промышленном участке представлена на рис. 1.

#### Исследования по переработке продуктивных растворов.

Принципиальная схема переработки растворов представляет собой схему раздельного выделения никеля и примесей и включала следующие переделы:

- осаждение железа и алюминия карбонатом кальция;
- осаждение никеля и кобальта содой;
- осаждение магния и марганца известью;
- перечистку коллективного концентрата никеля, кобальта и марганца с выделением отдельных концентратов.

В связи с этим при проведении исследований решались следующие научно-технические задачи:

- изучение влияния значения pH осаждения железа и других примесей из исходного раствора на степень потери никеля с отвальным осадком;

- определение оптимального значения pH осаждения железа и других примесей;

- изучение влияния значения pH осаждения никеля из исходного раствора, освобожденного от железа, на качество концентрата никеля;

- изучение влияния концентрации железа при одинаковом соотношении с никелем и оптимальном значении pH на степень потери никеля с отвальным осадком;

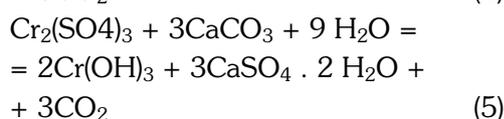
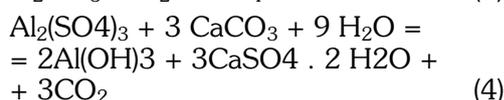
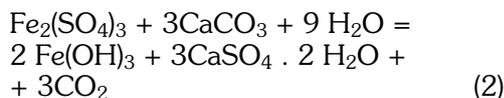
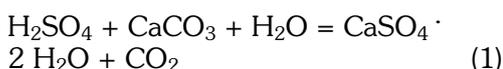
- определение оптимальных параметров и показателей переработки продуктивных растворов с выделением отвальных осадков и коллективного концентрата никеля и кобальта;

- разработка параметров и показателей перераспределения коллективного концентрата с выделением отдельных концентратов никеля, кобальта и марганца;

- разработка рекомендаций к технологическому регламенту переработки заводских продуктивных растворов.

#### **Осаждение железа и алюминия.**

Исходя из состава раствора и значений pH осаждения гидроокисей при использовании карбоната кальция вначале возможно коллективное осаждение железа, алюминия, хрома и кремнекислоты с предварительной нейтрализацией избыточной серной кислоты и выделением соответствующих гидроокисей и гипса. Химические реакции, протекающие при этом процессе нейтрализации, имеют следующий вид:



При использовании карбоната кальция вначале протекает быстрая нейтрализация серной кислоты с бурным выделением углекислого газа, примерно до pH 2,5, затем более медленные реакции осаждения железа — до pH=3,0, алюминия — до pH=4,0—4,5 и хрома — до pH=4,5—5,0.

При осаждении железа и алюминия полученная пульпа не сгущается и не фильтруется.

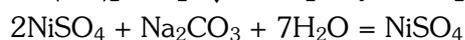
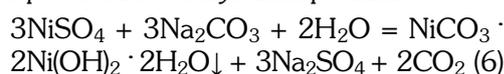
Для решения задачи по разделению пульпы были проведены эксперименты по разбавлению пульпы водой, нагреву пульпы и дробному осаждению вначале железа, затем алюминия.

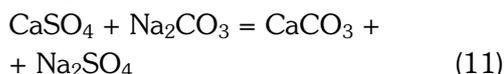
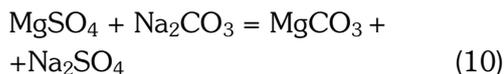
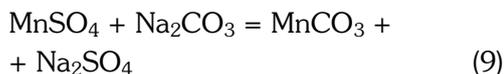
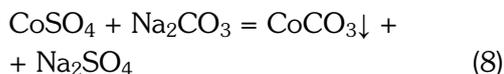
Разбавление проводилось последовательно в 1,3; 1,5; 1,6; 1,7 и 2,0 раза. С увеличением разбавления наблюдалось улучшение показателей осаждения.

Нагрев пульпы не приводит к существенному улучшению показателей отстаивания.

При дробном осаждении железа и алюминия наиболее оптимальным является осаждение железа при pH=2,8, а алюминия — при pH=4,3.

**Осаждение никеля.** При осаждении никеля раствором соды возможно протекание следующих реакций:



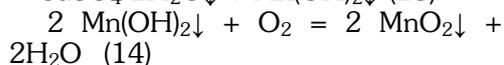
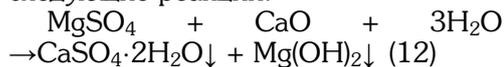


Осаждение никеля осуществлялось содой в виде ее концентрированного раствора 180 г/л. Реакция протекает очень быстро и время определяется только скоростью ввода раствора соды и интенсивностью перемешивания пульпы. Время реакции при доведении pH до заданных значений в интервале 7,5—8,5 составило 25 минут.

Осаждение никеля из разбавленных растворов (1 г/л никеля) наиболее полно — на 88—95 % — протекает при pH = 8,2—8,4, при этом содержание никеля в концентрате составляет 19—21 %. Удельный расход соды — 5,5—5,6 кг/кг Ni.

#### **Осаждение магния и марганца.**

При осаждении магния и марганца при pH = 9,5-10 известью возможны следующие реакции:



Для осаждения магния и марганца использовалась негашеная известь (ГОСТ-9179-77) с содержанием CaO 92 % в виде 20 % известкового молока. Использовались растворы, полученные после осаждения никеля. Осаждение велось до значений pH = 9,5-10,5. Время реакции — 40 минут. Реакция протекает также очень быстро, и время определяется только скоростью ввода реагента и интенсивностью перемешивания пульпы.

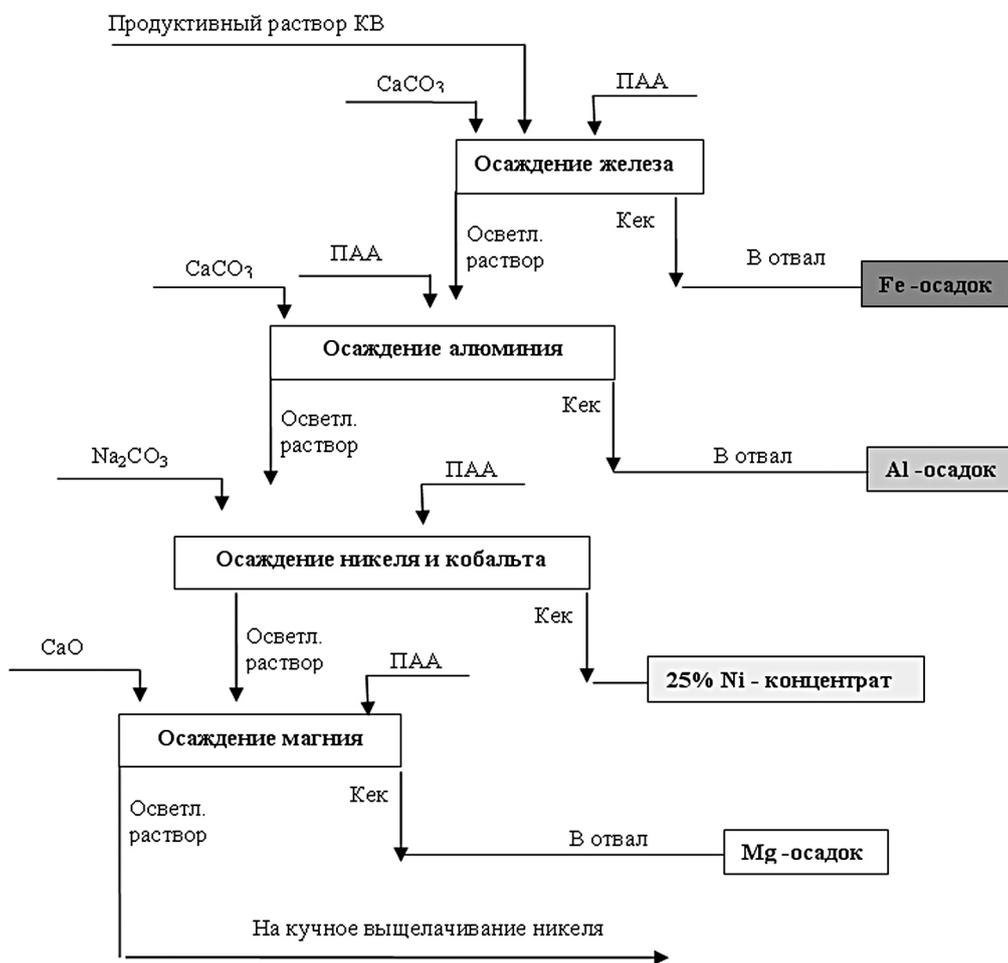
Наиболее эффективное осаждение магния и марганца из раствора происходит при pH = 9,8—10. Остаточное содержание магния в растворе составляет 0,15—0,24 г/л, марганца — 0,02—0,05 г/л, выход осветленного раствора составляет 79 %, сгущенного осадка — 21 %. Удельный расход извести 5,1—5,2 кг/кг никеля. Полученный раствор может вновь использоваться в обороте на кучном выщелачивании.

Рекомендуемая технологическая схема переработки продуктивных растворов KB никеля по гидратной технологии представлена на рис. 2 и включает следующие операции:

- осаждение основной части железа из продуктивных растворов KB в реакторах с мешалкой тонкоизмельченным известняком при pH = 2,7—2,8 с последующим сгущением пульпы в радиальном сгустителе и добавлением в пульпу раствора полиакриламида (ПАА), фильтрацией сгущенного продукта и направлением осветленного раствора на осаждение алюминия, а железистого осадка — в отвал;

- осаждение алюминия и других примесей из осветленного раствора в реакторах с мешалкой тонкоизмельченным известняком при pH = 4,3—4,5 с последующим сгущением пульпы в радиальном сгустителе и добавлением в пульпу раствора полиакриламида (ПАА), фильтрацией сгущенного продукта и направлением осветленного раствора на осаждение никеля и кобальта, а алюминиевого осадка — в отвал;

- осаждение никеля и кобальта из осветленного раствора в реакторах с мешалкой концентрированным раствором соды при pH = 8,2 — 8,4 с последующим сгущением пульпы в радиальном сгустителе с добавлением в пульпу раствора полиакриламида (ПАА), фильтрацией сгущенного



**Рис. 2. Технологическая схема переработки продуктивных растворов кучного выщелачивания**

продукта и направлением осветленного раствора на осаждение магния, а железистого осадка — в отвал;

- осаждение магния и сульфатов из осветленного раствора в реакторах с мешалкой известковым молоком при  $\text{pH} = 9,5\text{--}10$  с последующим сгущением пульпы в радиальном сгустителе с добавлением в пульпу раствора полиакриламида (ПАА), фильтрацией сгущенного продукта и направлением осветленного раствора в оборот на кучное выщелачивание никеля, а гидратно-гипсового осадка магния — в отвал.

Выполненный комплекс научно-исследовательских работ позволил сделать следующие выводы по разделам.

### **Выщелачивание никельсодержащей руды**

1. Концентрация никеля в продуктивных растворах при текущих Ж:Т выше при более высокой кислотности выщелачивающих растворов (что более заметно для Mg руд).

2. Степень извлечения никеля из магнезиальных руд выше чем из железистых при одном уровне Ж:Т.

3. В процессе выщелачивания «проницаемость» железистых руд повышается, а магниезальных руд снижается.

4. Извлечение никеля из железистых руд достигает 90 % при Ж:Т=15, при этом удельный расход кислоты составляет 560 кг/т. Из магниезальных руд извлечение ниже, 70 % при Ж:Т 8,5. Это связано с ухудшением фильтративных показателей.

5. В процессе оборота растворов концентрация в них никеля растет до определенного предела.

6. Агломерация руды приводит к интенсификации извлечения никеля, однако концентрация никеля в продуктивных растворах значительно ниже, чем на рудах с естественной крупностью.

7. Рекомендуемая кислотность выщелачивающих растворов 40—50 г/л.

8. Для извлечения кобальта из железистых руд необходимо применение восстановителей.

#### **Переработка продуктивных растворов**

1. Оптимальными значениями рН являются: для осаждения железа — 2,8, для осаждения алюминия — 4,3, никеля и кобальта — 8,3, магния и марганца — 9,8.

2. Коллективное осаждение железа и алюминия из растворов данного состава приводит к получению несгушаемых и нефилтруемых осадков.

3. При осаждении никеля из очищенного от Fe и Al раствора на качество концентрата влияет концентрация самого никеля и концентрация марганца в растворе — повышение содержания Ni повышает качество, повышение содержания Mn — снижает качество концентрата.

4. Степень извлечения никеля и кобальта в коллективный концентрат (Ni — 25 %, Co — 2,6 %) составила 90 %.

5. Выход отвальных осадков с 1 м<sup>3</sup> исходного раствора составил: осадок Fe — 90 кг, осадок Al — 75 кг, осадок Mg и Mn — 45 кг.

6. Удельные расходы реагентов на 1 кг никеля составили, кг: известняка — 44; соды — 6,0; извести — 5,0; флокулянта — 0,2.

7. Разработаны основные параметры и показатели переработки продуктивных растворов КВ никеля в 25 % его концентрат.

8. Разработаны рекомендации к технологическому регламенту переработки продуктивных растворов.

9. Проведены исследования по разделению коллективного никелевого концентрата.

Результаты научно-исследовательских работ позволили разработать технологические схемы кучного выщелачивания и переработки продуктивных растворов с получением никелевого концентрата. Время работы опытного участка до извлечения ~80 % никеля составит порядка двух лет. **ТАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

Фазлуллин М.И., Авдонин Г.И., Смирнова Р.Н. — ВНИИ химической технологии (ВНИИХТ), E-mail: info@vniiht.ru

