

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД ПУТЕМ ДОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРОМПРОДУКТОВ И ОРГАНИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНОГО ЦИКЛА ПЕРЕЧИСТКИ

*Маллаев Шамшод Обиджон угли*  
Ассистент кафедры “Технологических машин и оборудования”  
Каршинского государственного технического университета,  
Узбекистан, г. Карши

## IMPROVEMENT OF THE BENEFICIATION TECHNOLOGY OF MIXED COPPER ORES BY GRINDING INDUSTRIAL PRODUCTS AND ORGANIZING A SEPARATE RECLEANING CYCLE

**Mallaev Shamshod**  
Assistant Professor, Department of Technological Machines and Equipment  
Karshi State Technical University,  
Karshi, Uzbekistan

### АННОТАЦИЯ

В работе исследована возможность повышения технологических показателей обогащения смешанных медных руд Кальмакырского месторождения путем организации отдельного цикла перемычки промпродуктов хвостов перемычки и концентрата контрольной флотации с предварительным доизмельчением. Выполнены лабораторные исследования продуктов обогащения и проведен анализ влияния крупности измельчения на показатели флотационного извлечения меди. Установлено, что дополнительное раскрытие минеральных сростков способствует увеличению извлечения меди приблизительно на 5 % и повышению качества концентрата в 1,2–1,5 раза. Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения дополнительного цикла доизмельчения и перемычки в технологическую схему переработки смешанных медных руд.

### ABSTRACT

This study explored the possibility of improving the beneficiation performance of mixed copper ores at the Kalmakyr deposit by establishing a separate cleaning cycle for middlings from cleaning tailings and control flotation concentrate with preliminary regrinding. Laboratory studies of the beneficiated products were conducted, and the effect of grinding size on copper flotation recovery was analyzed. It was found that additional opening of mineral aggregates increases copper recovery by approximately 5% and improves concentrate quality by 1.2–1.5 times. These results confirm the potential of introducing an additional regrinding and re-cleaning cycle into the mixed copper ore processing flowsheet.

**Ключевые слова:** смешанные медные руды, доизмельчение, перемычка, флотация, раскрытие минералов, концентрат меди, извлечение меди.

**Key words:** Mixed copper ores, regrinding, re-cleaning, flotation, mineral recovery, copper concentrate, copper extraction.

**Введение.** Современные тенденции развития горно-металлургической промышленности характеризуются вовлечением в переработку все более сложных по вещественному составу руд. Особую проблему представляют смешанные медные руды, содержащие как сульфидные, так и частично окисленные минералы меди. Одной из основных причин потерь металла является недостаточное раскрытие минеральных зерен в процессе измельчения. В результате значительная часть меди

остаётся в составе минеральных сростков и не переходит в концентрат даже при многостадийной флотации.

Исследования последних лет показывают, что применение дополнительного доизмельчения промпродуктов позволяет существенно повысить степень раскрытия полезных минералов и эффективность последующих операций перерешетки.

Целью настоящей работы является оценка влияния доизмельчения промпродуктов и организации отдельного цикла перерешетки на показатели извлечения меди из смешанных руд Кальмакырского месторождения.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования являлись:

- хвосты перерешетки;
- концентрат контрольной флотации;
- промежуточные продукты основной флотации.

Исследования включали:

- гранулометрический анализ;
- минералогические исследования;
- лабораторные флотационные испытания;
- статистическую обработку результатов.

Основным параметром являлась степень раскрытия медных минералов после дополнительного измельчения.

Для характеристики эффективности процесса использовалась зависимость:

$$E = \frac{C\beta}{F\alpha}$$

Где:

- ⌚ E – извлечение меди в концентрат, %;
- ⌚ C – масса полученного концентрата, т или кг;
- ⌚ β – содержание меди в концентрате, %;
- ⌚ F – масса исходного продукта (руды или питания флотации), т или кг;
- ⌚ α – содержание меди в исходном продукте, %.

**Результаты и обсуждение. Исследование минеральных сростков.** Минералогический анализ показал наличие значительного количества частично раскрытых зерен халькопирита, борнита и вторичных медных минералов.

После основной стадии измельчения доля полностью раскрытых зерен составляла около 72 %, тогда как оставшиеся 28 % находились в составе минеральных агрегатов.

*Таблица 1*

**Степень раскрытия медных минералов**

Состояние минералов	Содержание, %
Полностью раскрытые	72
Частично раскрытые	21
Нераскрытые	7

Полученные результаты свидетельствуют о наличии значительных резервов повышения извлечения за счет дополнительного измельчения.

**Влияние доизмельчения на извлечение меди.** После проведения дополнительного измельчения наблюдалось увеличение степени раскрытия полезных минералов до 90–92 %.

*Таблица 2*

**Влияние доизмельчения на показатели флотации**

Показатель	Без доизмельчения	С доизмельчением
Извлечение Cu, %	84,3	89,4
Содержание Cu в концентрате, %	18,7	23,5

Потери Cu в хвостах, %	15,7	10,6
------------------------	------	------

Полученные данные показывают увеличение извлечения меди на 5,1 %.

### Организация отдельного цикла перерешетки

В традиционной схеме хвосты перерешетки и концентрат контрольной флотации направляются в общий поток, что приводит к циркуляции труднообогатимых частиц.

Предлагаемая схема предусматривает:

1. выделение промпродуктов в отдельный поток;
2. дополнительное доизмельчение;
3. самостоятельный цикл перерешетки;
4. возврат концентрата в основной концентратный поток.

Такая схема обеспечивает селективную переработку труднообогатимых продуктов и снижает циркуляционные нагрузки.

*Таблица 3*

### Эффективность организации отдельного цикла перерешетки

Показатель	Стандартная схема	Предлагаемая схема
Извлечение Cu, %	84,3	89,4
Содержание Cu в концентрате, %	18,7	23,5
Кратность обогащения	7,8	11,4

### Влияние реагентного режима

Лабораторные исследования показали высокую эффективность применения жидкого стекла и извести в цикле перерешетки.

Оптимальные параметры составили:

- жидкое стекло – 400 г/т;
- рН среды – 11–12.

Использование указанных режимов позволило дополнительно повысить извлечение меди приблизительно на 7 % и увеличить содержание меди в концентрате на 4 %.

### Заключение.

1. Установлено, что основной причиной потерь меди является наличие недостаточно раскрытых минеральных сростков в промпродуктах флотации.
2. Дополнительное доизмельчение обеспечивает повышение степени раскрытия медных минералов до 90–92 %.
3. Извлечение меди возрастает с 84,3 до 89,4 %, что соответствует приросту около 5 %.
4. Организация отдельного цикла перерешетки позволяет повысить качество концентрата в 1,2–1,5 раза.
5. Оптимальными реагентными режимами являются применение жидкого стекла в количестве 400 г/т и поддержание рН на уровне 11–12.
6. Предлагаемая технология может быть рекомендована для промышленного внедрения при переработке смешанных руд Кальмакырского месторождения.

### Список литературы

1. Wills B.A., Finch J. Mineral Processing Technology. Elsevier, 2023.
2. Bulatovic S.M. Handbook of Flotation Reagents. Elsevier, 2022.
3. Fuerstenau M.C. Froth Flotation: A Century of Innovation. SME, 2021.
4. Gupta A., Yan D. Mineral Processing Design and Operations. Elsevier, 2021.
5. Lynch A.J. Mineral Crushing and Grinding Circuits. Elsevier, 2019.
6. King R.P. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems. Elsevier, 2020.
7. Lotter N., Kormos L. Advances in Copper Ore Beneficiation. Minerals Engineering, 2024.

8. Рахимов Г. Б., Уралов И. Т. Повышение эффективности теплообмена трубчатого теплообменника // *Chemical technology*. – 2026. – Т. 138. – №. 2. – С. 143.
9. Bakhtiyorovich, R. G., & Ogli, S. E. X. (2026). Development of a technology for producing solvents from a liquid by-product. *Universum: технические науки*, 9(2 (143)), 47-49.