

УДК 623.7

**О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕМЕХАНИЧЕСКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТРУДНООБОГАТИМОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

В. И. Ростовцев

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: benevikt@misd.nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Приведены результаты технологических исследований по возможности использования немеханических энергетических воздействий для интенсификации процессов дезинтеграции и обогащения труднообогатимого минерального сырья. Установлено, что использование обработки потоком ускоренных электронов в процессах обогащения является экономически выгодным, так как при этом существенно повышаются технологические показатели переработки. Прирост извлечения металлов достигает 27 %, производительность увеличивается в 2.2 раза.

Минеральное сырье, немеханические энергетические воздействия, рудоподготовка, обогащение, технологическая и экономическая эффективность

В настоящее время в переработку вовлекаются труднообогатимые руды сложного вещественного состава, характеризующиеся низким содержанием ценных компонентов, тонкой вкрапленностью и близкими свойствами минералов. В этих условиях создание высокоэффективных, экологически безопасных технологий приобретает особенно важное значение. Процесс предварительной подготовки рудного сырья, включающий его измельчение и вскрытие тонковкрапленных минеральных комплексов, имеет первостепенное значение для достижения максимально высокого извлечения металлов, в том числе и благородных, из упорного сырья. Стоимость операций по дезинтеграции и раскрытию минеральных сростков, как правило, значительно превышает стоимость последующих гравитационных, флотационных и других процессов. Особенно это касается руд, сочетающих в себе не один, а несколько признаков упорности.

Как указывается в [1], дезинтеграция минерального сырья является основной технологической операцией в процессе рудоподготовки. При этом подготовленными к обогащению рудами считают измельченное до требуемой крупности минеральное сырье. В соответствии со стандартом крупности в России и ряде стран СНГ при обогащении руд цветных и черных металлов приняты классы –71 мкм и –44 мкм. На некоторых зарубежных предприятиях в качестве готового к обогащению принят класс крупности –38 мкм. В последние годы при переработке бедных и забалансовых руд, а также для извлечения тонкодисперсных минералов и чистых металлов применяется оборудование для тонкого (менее 20 мкм) и сверхтонкого (менее 7 мкм) измельчения [1].

Для обогащения труднообогатимых руд применяется распространенный флотационный метод, который приобретает все большее значение из-за возрастающих требований к комплексности и полноте использования минерального сырья. При этом возрастает роль не только подготовленности минерального сырья к обогащению [2, 3], но и оптимальность реагентного режима его флотации [4].

На обогащение полезных ископаемых расходуется свыше 10 % производимой в мире электроэнергии. Анализ энергозатрат по стадиям дробления и измельчения показывает, что они сравнительно низкие на стадиях среднего (0.3–0.5 кВт·ч/т) и мелкого (0.8–1.2 кВт·ч/т) дробления и высокие в процессах тонкого (18–20 кВт·ч/т) и сверхтонкого (80 кВт·ч/т и выше) измельчения. Уровень потерь ценных минералов при обогащении колеблется от 20 до 50 %, что, очевидно, не может быть признано приемлемым. Для минимизации потерь полезных компонентов при обогащении и сокращения расхода электроэнергии при дезинтеграции в процессах переработки труднообогатимого минерального сырья используются два способа: механический — измельчение до указанной выше крупности с достижением эффекта раскрытия тонких минеральных сростаний; немеханический — энергетическое воздействие на руды, позволяющее преодолеть их физическую упорность и достичь селективную дезинтеграцию без излишнего переизмельчения [5].

Для раскрытия тонковкрапленного минерального сырья весьма перспективны нетрадиционные немеханические способы разрушения, обеспечивающие селективную дезинтеграцию по межфазным границам за счет образования микротрещин и каналов пробоя в результате энергетических воздействий при электрохимической, СВЧ-, электроимпульсной, электрогидродинамической, электроплазменной, магнитно-импульсной обработке, при воздействии потоком ускоренных электронов, сверхмощными гиперударными волнами, мощными наносекундными электромагнитными импульсами [2, 6, 7]. Значительный интерес и большие финансовые вложения зарубежных фирм в данные технологии указывают на их большую перспективность при дезинтеграции труднообогатимых руд. Следует отметить, что использование энергетических воздействий И. Н. Плаксин считал одним из важнейших направлений при обогащении минерального сырья. Он одним из первых обосновал эффективность применения внешних воздействий в процессах обогащения полезных ископаемых [8].

В настоящей работе приведены результаты выполненных в ИГД СО РАН исследований по развитию научных основ использования немеханических энергетических воздействий в виде потока ускоренных электронов в процессах обогащения минерального сырья. Достоинством рассмотренных воздействий является наличие отечественного стандартного оборудования и комплектующих для реализации, при этом не требуется значительно изменять технологические схемы и оборудование обогатительных фабрик. Цель исследований — выявление оптимальных режимов, при которых происходят целенаправленные изменения свойств минерального сырья. Кроме того, следует указать на возможность контроля и полной автоматизации технологического процесса с помощью энергетических воздействий.

В ряде работ [9–15] показано, что предварительная (перед измельчением) обработка руд или продуктов их обогащения высокоэнергетическими электронами является эффективным средством направленного изменения механических и физико-химических свойств минералов и руд. Впервые обнаружены явления существенной активации физико-химических процессов на поверхности и в объеме минералов и руд под действием ускоренных электронов, приводящие к разупрочнению минерального сырья, изменению его флотационных свойств, а при наличии железосодержащих сульфидов — к усилению магнитных свойств [10–15].

Также важны установленные возможности разупрочнения руд и минералов и сокращение в 2 раза и более времени измельчения до заданной крупности с одновременным повышением селективности раскрытия сростков и связанным с этим приростом извлечения в концентрат до 20 % и более теряемых ранее полезных минералов (табл. 1). Характеристики руд приведены ниже, а также в [14]. Прирост извлечения металлов показан относительно принятой для данного типа руд базовой технологии их обогащения.

ТАБЛИЦА 1. Результаты исследований по интенсификации процессов рудоподготовки и обогащения руд при воздействии потоком ускоренных электронов

Тип руды	Доза, кГр	Расход электроэнергии, кВт·ч/т	Увеличение производительности измельчения, % отн.	Прирост извлечения металлов, %
Оловосодержащая	2.0	0.56	Не опр.	5 – 7
Железная 1	2.0	0.56	35 – 40	1.5 – 2
Железная 2	4.0	1.12	130 – 220	2.5 – 4
Медно-цинковая 1	2.0	0.56	15 – 20	5 – 10
Медно-цинковая 2	8.0	2.24	10 – 15	3 – 5
Полиметаллическая	4.0	1.12	Не опр.	13 – 16
Свинцово-цинковая	4.0	1.12	150 – 200	17 – 20
Медно-никелевая	4.0	1.12	—	20 – 27

Оловосодержащая руда Солнечного ГОКа (проба 23) представлена следующими минералами: касситерит 0.8 %; станнит 0.1–0.2 %; халькопирит 0.4 %; ковеллин 0.1–0.2 %; арсенопирит 4.4 %; пирит 2.0 %; сфалерит 0.2 %; галенит 0.1 %; пирротин 0.3 %; вольфрамит и шеелит 0.3 %; гидроксиды железа 0.5–1.0 %; турмалин 35–40 %; кварц 45–50 %; карбонаты 2–3 %; хлорит, серицит 2–3 %; рутил 0.1–0.2%.

Химический состав, %: Sn — 0.67; Cu — 0.23; Pb — 0.05; Zn — 0.13; As — 2.05; S — 1.88; WO₃ — 0.22; SiO₂ — 61.40; Al₂O₃ — 11.98; FeO — 11.82; CaO — 0.76; MgO — 1.40; в незначительных количествах (менее 1 %) присутствуют оксид натрия, оксид калия, диоксид титана.

Железные руды 1 и 2 — это железистые кварциты Михайловского месторождения КМА. Железная руда 1 — легкообогатимая, неокисленная; железная руда 2 — окисленная. Неокисленные кварциты характеризуются развитием преимущественно магнетитовых, железнослюдково-магнетитовых и магнетит-железнослюдковых разновидностей. Основными рудными минералами являются магнетит и железная слюдка (гематит), средний размер магнетита 0.041 мм, железной слюдки 0.020 мм. Основной порообразующий минерал железистых кварцитов — кварц.

Железная руда 2 — окисленные (гематитовые) железистые кварциты, которые представлены наиболее распространенной железнослюдково-мартитовой разновидностью с примесью полуокисленных магнетит-железнослюдково-мартитовых кварцитов. Рудные минералы — главным образом мартит и железная слюдка (гематит) крупностью от 0.005 до 0.07 мм. Магнетит присутствует преимущественно в виде реликтов в мартитовых зернах, изредка — в виде отдельных частиц неправильной формы. Из нерудных минералов основным является кварц, образующий нерудные и полурудные слои. Размеры кварца изменяются от 0.005 до 0.075 мм. Кварц находится в тесном сростании с рудными минералами.

В пробе железной руды 1 массовая доля железа общего 41.2 %; магнитного 20.7 %; в пробе железной руды 2 эти показатели равны 40.4 и 12.5 % соответственно.

Медно-цинковые руды 1 и 2 представлены пробами руд Казахстана. Медно-цинковая руда 1 — руда месторождения “Малеевское” имеет следующий химический состав, %: Cu — 3.65; Zn — 9.74; Pb — 0.51; S — 27.78; Ba — 5.54 и др. Проба представлена следующими полезными минералами: халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, барит. Медно-цинковая руда 2 — руда месторождения “Жескентское” имеет следующий химический состав, %: Cu — 4.44; Zn — 3.52; Pb — 0.37; Fe — 34.45 и др. Проба представлена полезными минералами: халькопирит, сфалерит, галенит, пирит. С точки зрения обогащения эти руды характеризуется сложным составом и текстурой, являясь тонковкрапленными и труднообогащаемыми. Размер зерен сульфидов колеблется от нескольких микрометров до миллиметра и более.

Полиметаллическая руда Рубцовского полиметаллического месторождения состоит в основном из пирита, галенита, сфалерита и халькопирита и имеет следующее содержание металлов, %: Fe — 16.78; Cu — 5.84; Pb — 7.44 и Zn — 14.0. Что касается степени окисления, образец содержал исходный, смешанный и окисленный сульфид. Доля смешанного сульфида составляла 90–95 %. В руде представлены следующие типы текстур гидротермальных отложений: массивная, пятнистая, вкрапленная, колломорфная и др. Руда имеет сложную тонковкрапленную структуру. Окисленные формы сочетаются с наличием глинистых и сажистых шламов.

Свинцово-цинковая руда Жайремского месторождения представлена следующими основными минералами: галенит, сфалерит, пирит, марказит, пирротин, арсенопирит, блеклые руды, буланжерит, джемсонит, кварц, кальцит, доломит, сидерит, альбит, калиевый полевой шпат. Химический состав, %: Pb — 1.36; Zn — 6.09; Fe — 6.69; S — 9.32; SiO₂ — 53.55 и др.

Эта руда относится к числу труднообогащаемых. Основная причина плохой обогащаемости — весьма тонкая вкрапленность рудных минералов. Доля свинца, представленного зернами галенита размером менее 20 мкм, достигает 15–20 %, иногда доходит до 50–60 %, причем большая часть таких зерен имеет размер 3–7 мкм, т. е. находится за пределами возможностей флотационного процесса. В значительном количестве встречаются сферические выделения с чередующимися слоями минералов, например центральная часть сферы представлена галенитом, следующий слой — сфалеритом, следующий за ним — галенитом и т. д. Толщина каждого монослоя измеряется единицами микрометра. Разделить такие сростки на мономинеральные зерна невозможно даже при сверхтонком помоле. Кроме того, руда характеризуется наличием большого количества углисто-глинистого вещества.

Медно-никелевая руда Норильского ГМК (проба технологическая № МТ-2003-1) имеет следующий химический состав, %: Ni — 1.11; Cu — 2.07; Fe — 20.50; S — 8.94; SiO₂ — 28.1; Al₂O₃ — 6.88; CaO — 15.3; MgO — 6.98 и др. Минеральный состав: пирротин, халькопирит, петландит, плагиоклаз, роговики и др.

Материал пробы руды включает следующие разновидности: пикритовый габбро-долерит (51.4 %) — мелко-среднезернистая порода со шлировой и интерстиционной вкрапленностью халькопирит-пирротинового состава (распределение сульфидов неравномерное с содержанием от 1–3 до 7–10 %); такситовый габбро-долерит (28.9 %) — неравномернозернистая порода с такситовой текстурой (сульфиды присутствуют в количестве 5–10 % в виде ксеноморфной вкрапленности халькопирит-пирротинового состава с размером вкрапленников от 1–2 мм до 10 мм); сплошные сульфидные руды (6.3 %) — халькопирит-пирротинового состава. Разубоживающая масса (13.4 %): закладочный бетон, роговики, алевролиты.

Как следует из табл. 1, значительное повышение измельчаемости руд, подвергнутых обработке ускоренными электронами, на практике может быть достигнуто различными способами при одновременном поддержании существующей крупности помола:

- увеличением производительности мельницы;
- исключением одной из пары мельниц на первой стадии измельчения;
- исключением одной из последующих стадий измельчения;
- уменьшением загрузки шаров.

На рис. 1, а также в [11] для примера приведено размещение основного технологического оборудования ускорителя ИЛУ-6, на котором осуществлялась обработка руд пучком ускоренных электронов.

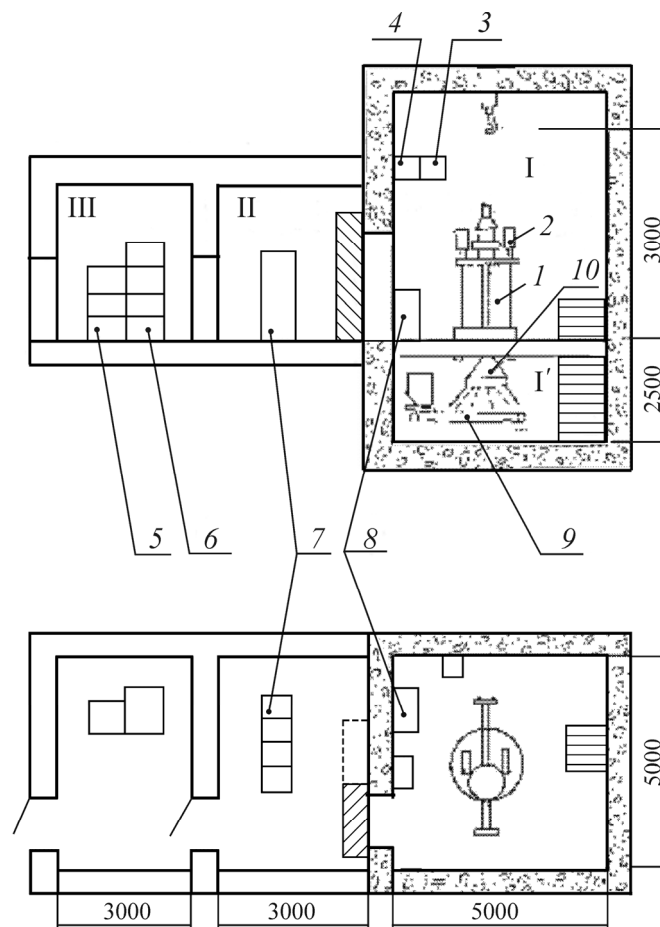


Рис. 1. Возможное размещение ускорителя ИЛУ-6: I — ускорительный зал; I' — технологический зал; II — модуляторный зал; III — пультовая. 1 — ускоритель с высокочастотным генератором; 2 — магнитоэридный насос; 3 — трансформатор накала лампы; 4 — вентилятор для охлаждения лампы; 5 — блоки питания насосов; 6 — шкаф управления; 7 — источник питания; 8 — форвакуумный агрегат АВР-50; 9 — установка для обработки материала; 10 — линейное выпускное устройство

Все оборудование ускорителя размещается в изолированных помещениях. Основной блок ускорителя находится в зале, стены которого надежно защищены от излучения. Этот зал делится по высоте перегородкой на собственно ускорительный и технологический. В верхней части помещения на перегородку устанавливается ускоритель, в нижней располагаются устройство для выпуска электронного пучка в атмосферу и технологическое оборудование для обработки материала.

Элементы питания ускорителя, которые создают шум и выделяют избыточное тепло, размещают в отдельном модуляторном зале. В специальном помещении — пультовой — сосредоточены управление ускорителем, а также системы блокировки и сигнализации. Здесь находится персонал во время работы ускорителя. При проведении исследований исходный материал с помощью специального устройства (бункер-дозатор, транспортер) подавался под пучок ускоренных электронов, обрабатывался и собирался.

Переменными были ток пучка, его частота, энергия ускоренных электронов, скорость движения транспортера. Изменением этих параметров получали необходимые различные режимы обработки материала. Для определения температуры и величины поглощенной дозы использовались стандартные физические методы.

Приведенные в табл. 1 результаты исследований по интенсификации процессов измельчения при обогащении различного минерального сырья показывают, что технологические свойства различных руд и продуктов их обогащения зависят от дозы облучения, а максимальные их изменения отмечаются в диапазоне малых (2–8 кГр) доз. Это может быть объяснено следующим образом.

Первичные процессы, происходящие под воздействием электронного пучка на твердые материалы, во многом зависят от параметров пучка и условий обработки. Определяющими параметрами служат плотность тока и энергия электронов пучка.

При малых плотностях тока и малой поглощенной в веществе энергии (до 1 Дж/г) основным эффектом обработки ускоренными электронами является радиационное дефектообразование без заметного изменения физических свойств вещества.

При увеличении поглощенной энергии до 10 Дж/г возможно накопление заряда, которое может привести к электрическим пробоям. Процесс зарядания протекает различно в случае проводящих (пирит, галенит и др.) и слабопроводящих минералов (кварц, сфалерит и др.). Для хороших проводников (из-за устанавливающегося равновесия между притоком и стоком заряда) накопление заряда не происходит. В диэлектриках — кварц, сфалерит и другие минералы — накапливается заряд, а его избыток сбрасывается по каналам пробоя. Разряд носит пульсирующий характер [11], при этом может возникать система микротрещин, разрастающаяся после каждого импульса разряда и приводящая к разупрочнению материала.

Важной особенностью обработки ускоренными электронами неоднородных материалов, и в частности руд, является образование каналов пробоя, а следовательно, и системы трещин по границам срастания зерен минералов, что приводит к последующей селективной дезинтеграции и повышению производительности мельниц.

В случае использования ускоренных электронов с большими значениями поглощенной энергии (> 100 Дж/г) возможен нагрев вещества и протекание физико-химических процессов, которые существенно отличаются от чисто термических.

Следует отметить, что на основании результатов выполненных исследований с использованием обработки минерального сырья потоком ускоренных электронов разработаны [12–15] следующие интенсифицирующие технологии и технологические режимы:

- для труднообогатимых Pb-Zn руд — позволяющие получать кондиционные коллективные концентраты с одновременным снижением потерь свинца и цинка с хвостами в 2–3 раза по сравнению с прямой селективной флотацией;
- для полиметаллических руд — увеличивающие извлечение металлов в среднем на 10–15 %;
- для руд сложного состава — повышающие долю свободных зерен основных сульфидных минералов в среднем на 10–15 %, прирост извлечения металлов при флотации составил до 10.93 %, а потери металлов снизились в 1.5–2.4 раза;

- для железных руд — обеспечивающие повышение производительности процесса измельчения в 2.0–2.2 раза и рост технологических показателей магнитной сепарации на 2.5–4 %;
- для Cu-Ni руд — позволяющие повысить в цикле коллективной флотации извлечение никеля с 64.1 до 83.3 % и меди — с 84.9 до 92.7 % при одновременном снижении в 1.5 раза потерь этих металлов с хвостами;
- для сульфидно-мышьяковистых продуктов обогащения — способные извлекать в магнитную фракцию более 70 % железа и около 90 % мышьяка.

В табл. 2 приведена технико-экономическая оценка эффективности реализации разработанных технологий, направленных на использование немеханических энергетических воздействий в виде обработки потоком ускоренных электронов (ОПУЭ) в процессах обогащения минерального сырья в производственных условиях.

ТАБЛИЦА 2. Техничко-экономические показатели использования энергетических воздействий в процессах обогащения труднообогатимого минерального сырья сложного состава, млн руб.

Показатель	Процессы и объекты			
	Электрохимическая обработка (ЭХО), Иртышский комбинат	Ускоренные электроны (ОПУЭ), Жайремский ГОК	Ускоренные электроны (ОПУЭ), железные руды	Ускоренные электроны (ОПУЭ), Новосибирский оловокомбинат
Экономический эффект	12.1	357.3	887.1	418.9
Чистый денежный поток	8.8	219.4	330.0	256.0
Чистый дисконтированный доход (ЧДД)	3.02	53.3	65.5	97.8
Индекс доходности (ИД)	23.89	1.83	1.20	2.53
Внутренняя норма доходности (ВНД), %	194	48	18.2	69
Дисконтированный срок окупаемости	3.1 мес	5.8 мес	7.4 года	2.8 года

Как известно [16], в классических инвестиционных проектах соизмерение затрат и результатов начинается с предпроизводственной стадии при условии, что сам прототип товара уже существует. При этом выпуск продукции, выручка от реализации и затраты на производство товара прогнозируются с большой достоверностью.

В основу оценок эффективности новых процессов могут быть положены основные принципы [16], применимые к любым типам проектов независимо от их технических, технологических, финансовых, отраслевых или региональных особенностей.

Анализ эффективности новых процессов осуществляется путем сопоставления расходов и доходов, связанных с его реализацией.

Так как рассматриваемый вид энергетических воздействий находится на стадии НИОКР и полученные результаты будут уточняться по мере доработки и адаптации для конкретных условий, то оценки проведены с некоторой степенью достоверности, достаточной для того, чтобы составить представление об экономической эффективности новой технологии.

Далее более подробно рассмотрен пример технологического использования обработки потоком ускоренных электронов труднообогатимой свинцово-цинковой руды Жайремского месторождения [13–14]. Анализ минерально-структурных особенностей вещественного состава руды и специфики воздействия ускоренных электронов на данное минеральное сырье позволяет обосновать для него гравитационно-флотационную технологию обогащения с использованием обработки потоком ускоренных электронов (ОПУЭ) в цикле обогащения песков (операция разупрочнения) и в цикле обогащения шламов (операция подготовки к флотации). Разработанная технологическая схема обогащения для указанной руды показана на рис. 2.



Рис. 2. Технологическая схема обогащения труднообогатимой Pb-Zn руды Жайремского месторождения с использованием обработки потоком ускоренных электронов (ОПУЭ)

Установлено [13–14], что использование обработки потоком ускоренных электронов позволяет получить кондиционные коллективные концентраты с одновременным снижением потерь свинца и цинка с хвостами в 2–3 раза по сравнению с технологией прямой селективной флотации. При этом повышение извлечения свинца и цинка в концентрат составляет 15 и 10 % соответственно. Результаты расчета показателей доходов и затрат при реализации использования ускоренных электронов и показателей эффективности приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Показатели эффективности использования ускоренных электронов при обогащении труднообогатимой Рb-Zn руды Жайремского месторождения с использованием обработки потоком ускоренных электронов (ОПУЭ)

Показатели	Всего	Месяц															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Производство по руде, тыс. т	800					100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Дополнительное извлечение свинца, тыс. т	1.6					0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Дополнительное извлечение цинка, тыс. т	3.2					0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Доход	0																
Экономический эффект от повышения извлечения металла, тыс. руб.	357304					44663	44663	44663	44663	44663	44663	44663	44663	44663	44663	44663	44663
Заграты всего, тыс. руб.	71753	1645	1645	1645	59220	953	952	951	950	949	948	948	948	948	948	947	947
<i>в т.ч. капитальные</i>	64155	1645	1645	1645	59220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Здание (бункер)	4935				4935												
Ускоритель типа ЭЛВ-6	49350				49350												
Радиационно-химический аппарат и вспомогательное оборудование	4935				4935												
Заграты на НИР:	4935	1645	1645	1645													
<i>текущие</i>	7598	0	0	0	0	953	952	951	950	949	948	948	948	948	948	947	947
обслуживание оборудования (зарплата)	2976					372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372	372
электроэнергия	8.8					1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
амортизация	3776					472	472	472	472	472	472	472	472	472	472	472	472
налог на имущество	838					108	107	106	105	104	103	103	103	103	102	102	102
<i>налог на прибыль</i>	69941					8742	8742	8742	8743	8743	8743	8743	8743	8743	8743	8743	8743
Чистый денежный поток	219383	-1645	-1645	-1645	-59220	35440	35440	35441	35442	35443	35443	35443	35443	35444	35444	35445	35445
Дисконтированный денежный поток	53316	-1430	-1244	-1082	-33859	17620	15322	13324	11586	10075	8761	7618	6625	625	625	625	625
Кумулятивный денежный поток	219383	-1645	-3290	-4935	-64155	-28715	6725	42166	77608	113051	148494	183938	219383	219383	219383	219383	219383
Чистый дисконтированный доход (ЧДД)	53316	-1430	-2674	-3756	-37615	-19995	-4673	8650	20236	30311	39072	46691	53316	53316	53316	53316	53316
Индекс доходности (ИД)	1.83																
Внутренняя норма доходности (ВНД), %	48																
Дисконтированный срок возврата инвестиций, мес	6.35																
Срок возврата инвестиций, мес	5.81																

Результаты технико-экономических расчетов:

— в процессе обработки руды потоком ускоренных электронов только в первый год работы обогатительная фабрика дополнительно извлечет 1.6 тыс. т свинца и 3.2 тыс. т цинка. Доход от повышения извлечения этих металлов составит 357 млн руб., при этом чистый дисконтированный доход — более 53 млн руб.;

— дисконтированный срок окупаемости — 6.35 мес;

— внутренняя норма доходности (ВНД) — 48 %.

Анализ приведенных данных показывает, что использование обработки потоком ускоренных электронов является экономически выгодным, так как выполняются основные условия эффективности разработанной технологии: чистый дисконтированный доход (ЧДД) > 0; индекс доходности (ИД = 1.83) > 1.

Финансовый профиль проекта представлен на рис. 3.

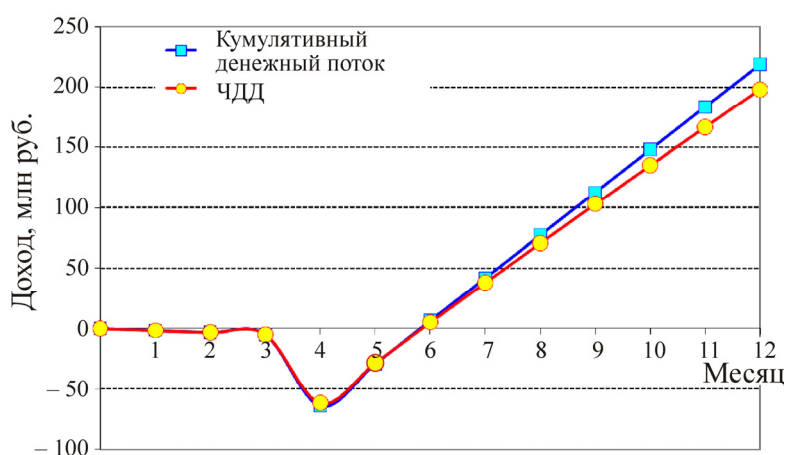


Рис. 3. Финансовый профиль проекта использования обработки потоком ускоренных электронов при переработке труднообогатимых свинцово-цинковых руд

ВЫВОДЫ

В результате выполненной работы установлено, что использование немеханических энергетических воздействий в виде потока ускоренных электронов в процессах обогащения позволяет существенно повысить технологические показатели переработки труднообогатимого минерального сырья.

На примере ряда руд, в том числе для труднообогатимой свинцово-цинковой руды, показано, что реализация разработанной технологии является экономически выгодной, так как выполняются основные условия ее эффективности: чистый дисконтированный доход (ЧДД) > 0, индекс доходности (ИД) > 1. Благодаря реализации новой технологии, только в первый год работы фабрики по обогащению свинцово-цинковых руд экономический эффект от повышения извлечения металлов составит более 357 млн руб., при этом чистый денежный поток — 219.4 млн руб., а чистый дисконтированный доход — 53.3 млн руб. Дисконтированный срок окупаемости — 6.35 мес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В. А., Маляров П. В. Обзор мировых достижений и перспективы развития техники и технологии дезинтеграции минерального сырья при обогащении полезных ископаемых / Современ-

- ные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: материалы междунар. совещ. "Плаксинские чтения-2012". — Петрозаводск: Изд. КНЦ РАН, 2012.
2. **Чантурия В. А., Бунин И. Ж.** Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов // ФТПРПИ. — 2007. — № 3.
 3. **Бочкарев Г. Р., Пушкарева Г. И., Ростовцев В. И.** Интенсификация процессов рудоподготовки и сорбционного извлечения металлов из техногенного сырья // ФТПРПИ. — 2007. — № 3.
 4. **Кондратьев С. А.** Реагенты-собиратели в элементарном акте флотации. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012.
 5. **Кондратьев С. А., Котова О. Б., Ростовцев В. И.** Межзерновые границы в процессах подготовки и обогащения труднообогатимого минерального и техногенного сырья: квантово-механические представления // Изв. Коми НЦ УрО РАН. — 2010. — № 4.
 6. **Чантурия В. А., Трубецкой К. Н., Викторов С. Д., Бунин И. Ж.** Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов. — М.: ИПКОН РАН, 2006.
 7. **Чантурия В. А., Бунин И. Ж.** Нетрадиционные энергетические методы селективной дезинтеграции тонкодисперсных минеральных комплексов благородных металлов / Новые технологии в науке о Земле и горном деле: материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Нальчик: КБГУ, 2012.
 8. **Плаксин И. Н., Шафеев Р. Ш., Чантурия В. А., Якушкин В. П.** О влиянии ионизирующих излучений на флотационные свойства некоторых минералов / Обогащение полезных ископаемых: избр. труды. — М.: Наука, 1970.
 9. **Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е.** Научные основы и перспективы промышленного использования энергии ускоренных электронов в обогатительных процессах // Горн. журн. — 1995. — № 7.
 10. **Кондратьев С. А., Бочкарев Г. Р., Ростовцев В. И.** Интенсификация процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья с использованием радиационных энергетических воздействий / VIII Всерос. науч.-практ. конф. "Кулагинские чтения". — Чита, 2008.
 11. **Bochkarev G. R., et. al.** Prospects of electron accelerators used for realizing effective low-cost technologies of mineral processing, Proceedinds of the XX International Mineral Processing Congress: 21-26 September 1997, Aachen, Germany, Clausthal-Zellerfeld, GDMB, 1997, Vol. 1.
 12. **Вейгельт Ю. П., Ростовцев В. И.** Интенсификация процессов обогащения медно-никелевых Норильских руд с использованием энергетических воздействий // ФТПРПИ. — 2000. — № 6.
 13. **Бочкарев Г. Р., Вейгельт Ю. П., Ростовцев В. И.** Совершенствование технологии обогащения руд сложного вещественного состава // ФТПРПИ. — 1999. — № 5.
 14. **Ростовцев В. И.** Теоретические основы и практика использования электрохимических и радиационных (ускоренных электронов) воздействий в процессах рудоподготовки и обогащения минерального сырья // Вестн. ЧитГУ. — 2010. — № 8 (65).
 15. **Ростовцев В. И.** Научное обоснование и разработка интенсифицирующих методов энергетических воздействий на твердую и жидкую фазы труднообогатимого минерального сырья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Чита, 2012.
 16. **Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика. — М.: Дело, 2001.

Поступила в редакцию 24/1 2013