© Л.И. Сосновский, А.М. Павлов, В.А. Филонюк, Е.Л. Сосновская, А.Н. Авдеев, Л.Г. Рубцов, 2006

УДК 622.032.4:551.34

Л.И. Сосновский, А.М. Павлов, В.А. Филонюк, Е.Л. Сосновская, А.Н. Авдеев, Л.Г. Рубцов

УПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ ЖИЛ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Семинар № 2

Наклонные жилы разрабатываются, в основном, камер-но-столбовой системой разработки [1] и комбинированной системой – камерно-столбовой с креплением. При этих системах в блоках остаются надштрековые и подштрековые целики, охранные целики восстающих, внутриблоковые столбчатые целики. В случае оставления целиков возникают значительные потери в размере 20-30 %. Происходит значительное накопление подземных пустот, которые создают опасность проявлений обрушений пород кровли, особенно в зонах опорного давления. На проявления горного давления оказывают влияние много факторов: геологическое строение рудных тел и прилегающих вмещающих пород, прочностные и упругие свойства пород и их тектоническая нарушенность, напряженное состояние горного массива, геометрические параметры выработанного пространства и целиков и др. В регионах Крайнего Севера на устойчивость кровли и целиков особое влияние оказывает многолетняя мерзлота. Вопросы определения устойчивых параметров конструктивных элементов систем разработки и управления геомеханическими процессами с учетом всех указанных факторов недостаточно совершенны и требуют корректировки в конкретных горного-геологических и горнотехнических условиях.

Авторы решали указанную проблему на Ирокиндинском золоторудном месторождении республики Бурятии.

В геологическом строении месторождения принимают участие различные по составу интрузивные образования раннего протерозойского возраста Муйского комплекса. Здесь распространены – основные (габбро, габбро-диориты) и кислые (граниты, плагиограниты) породы, прорванные мелкими телами и дайками габбро-диабазов. Встречаются небольшие останцы гнейсо-гранитов. В целом площади преимущественного развития габброидов и гранитоидов имеют сложную зону перехода, которая имеет северо-западное направление.

Месторождение включает серию гидротермальных убого сульфидных золотосодержащих кварцевых жил, которые приурочены к наклонным (30-50°) и весьма протяженным тек-тоническим зонам рассланцевания.

Морфологическими особенностями всех жил являются извилистые очертания в плане и более ровные по падению, отмечаются значительные колебания мощности. Переходы от раздувов к пе-

режимам, как правило, постепенные. Вмещающие породы на контактах изменены: интенсивно окварцованы, пиритизированы, карбонатизированы, хлоритизированы и в различной степени рассланцованы. Мощность зоны измененных пород колеблется от нескольких сантиметров до 1 м и в редких случаях достигает нескольких метров. Угол падения наклоннозалегающих жил – 30-40°.

Ирокиндинское месторождение располагается в пределах геокриологической формации. Многолетнемер-злые породы распространены повсе-местно. Горные породы характеризу-ются следующими физико-механичес-кими свойствами.

Удельный вес изменяется от 2,62 до 3,24 до 324 г/см^3, объемный вес – от 2,53 до 3,17 г/см^3 . Пористость в зависимости от степени трещинно-ватости и петрографического состава пород колеблется от 0,72 до 0,11 %, при средних значениях для березитов -1,86 %; кварца -2,11 %; парагнейсов-3,09 %; кристаллических сланцев-2,77 %; гранитов-3,56 %; известняков -4,53 %; кварцевых порфиров -4,34 %. Водопоглощение составляет 04-0,5 %. Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие перпендикулярно полосчатости колеблется от 47,8 МПа (кварцево-серици-товохлоритовые сланцы) до 202,7 МПа (амфиболитовые парагнейсы и амфиболиты), а параллельно – полосчатые от 81,3 до 215,3 МПа. Среднее значение предела прочности на растяжение изменяется для горных пород от 11,7 МПа (кальцифиров) до 26,8 МПа (амфиболитовые парагнейсы и амфиболиты).

На основе анализа геологических факторов разработан классификация состояний кровли очистного пространства по категориям устойчивости (табл. 1).

Таблица составлена таким образом, что каждой категории устойчивости соответствуют конкретные характеристики влияющих факторов, хотя в реальных условиях могут быть всевозможные комбинации этих характеристик. Поэтому отнесение конкретного участка к средней или низкой категории устойчивости может определяться даже отдельным фактором. Например, пусть участок находится в переходной зоне и все характеристики влияющих факторов соответствуют категории «устойчивое» а один фактор – мощность рассланцованной зоны в висячем боку жилы - составляет 1 м. В этом случае участок должен классифицироваться как неустойчивый.

Как показали натурные определения методом щелевой разгрузки по методике УрО РАН [1] горизонтальные напряжения горных пород больше вертикальных в 1,2-1,3 раза (табл. 2). Это можно объяснить влиянием мерзлоты.

В процессе исследований произведено математическое моделирование на ПЭВМ напряженно-деформиро-ванного состояния (НДС) кровли камер и надштрековых и подштрековых целиков при отработке жилы по падению в пределах одного этажа. Моделирование произведено по методике ИГД СО РАН. В качестве граничных условий приняты измеренные напряжения горного массива.

Анализ результатов моделирования позволяет отметить следующее.

Напряжения в наиболее опасных участках контура выработок и камеры имеют сжимающий характер. На стенке откаточного штрека средние напряжения составляют при выемке камеры на глубине 100 м от 15 м до 68 м от -2,3 до -2,5 МПа, на глубине
500 м – от -11,5 до -12,7 МПа.

Таблица 2

Данные натурных измерений напряжений массивов горных пород Ирокиндинского месторождения

Напряжение	Глубина разработки	Теоретическое напряжение (по гипотезе А. Геймa), МПа	Результаты натурных измерений напряжений горных массивов			
			Число единичных определений напряжения	Напряжение, МПа	Отношение продольного напряжения к вертикальному $\sigma_{пр}/\sigma_{в}$	Отношение поперечного напряжения к вертикальному $\sigma_{п}/\sigma_{в}$
Вертикальное	200	-5,6	48	-7,4±0,9		
Продольное		-5,6	24	-9,3±1,4	1,3	1,2
Поперечное		-5,6	24	-8,6±1,8		

В кровле штрека напряжения изменяются на 100 м от -3,6 МПа до -3,9 МПа, 500 м – от -17,9 МПа до -19,7 МПа. В почве надштрекового целика напряжения составляют соответственно от -2,7 МПа до -3,2 МПа, от -13,4 МПа до -16,0 МПа. В кровле и почве камеры соответственно от -1,6 МПа до -2,3 МПа и от -8,0 МПа до -11,5 МПа. В забое камеры соответственно от -2,2 МПа до -3,5 МПа и от -3,4 МПа до -17,7 МПа. На всех рассмотренных участках напряжения меньше допустимых (-47,8÷-222,7 МПа). В целом, кровля находится в устойчивом состоянии.

Наибольшая концентрация напряжений наблюдается в зоне опорного давления очистных камер в углах откаточного штрека и надштрекового целика. Здесь возможны локальные обрушения пород, так как напряжения могут превышать допустимые значения. Аналогичные закономерности имеют геомеханические показатели: интенсивность касательных напряжений, объемная деформация, интенсивность сдвигов, смещения. В прилегающем массиве концентрации напряжений отмечаются в углах выработок, равномерное напряженное состояние в центральных участках обнажений камеры.

Анализ геологического строения жил показал, что в условиях значительных по площади размеров очистного пространства важную роль будет играть форма поверхности кровли и общая архитектура открытого пространства, которое представляется в виде относительно узкой полого наклонённой и в разной степени искривлённой «щели». Если бы форма кровли этого щелевого пространства была бы идеально плоской, то существовала бы высокая вероятность блокового сдвижения или обрушения выше лежащих пород пол влиянием собственного веса. В условиях данного месторождения и конкретно жилы Ц. Тулуинской, форма кровли открытого пространства является сложно гофрированной поверхностью, обусловленной вариацией мощностей рудного тела и углов наклона поверхности висячего его контакта к горизонту. Осевая поверхность открытого пространства представляет собой полого наклонённый купол. Наличие последовательно осложняющих друг друга локальных разномасштабных изгибов осевой поверхности всей полости придает ей своеобразные разномасштабные «ребра жесткости». Эти рёбра улавливаются по положению на горизонтальной проекции жилы осей локальных купольных струк-

Таблица 3

Шаг крепления крепи выработанного пространст-ва

Категория устойчивости пород	Шаг крепи (ширина × длина), м
Выемочная мощность 1,2 м	
Устойчивые	4,0x4,0
Средней устойчивости	3,0x3,0
Неустойчивые	2,0x2,0
Выемочная мощность 2,0 м	
Устойчивые	3,5x3,5
Средней устойчивости	2,0x2,0
Неустойчивые	1,5x1,5
Выемочная мощность 3,0 м	
Устойчивые	3,0x3,0
Средней устойчивости	1,5x1,5
Неустойчивые	1,0x1,0

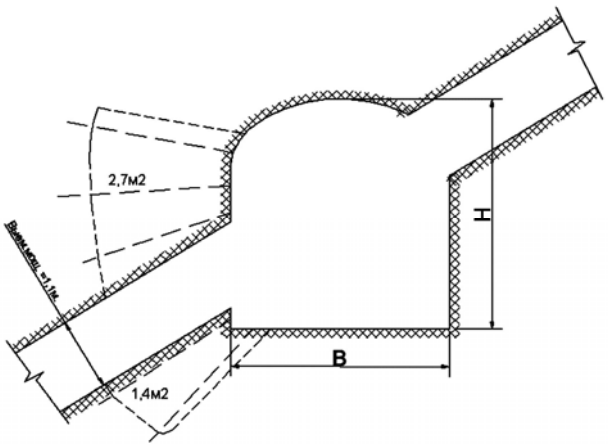
тур и провесов осевой поверхности всей полости. Как правило, эти «рёбра» вытянуты по падению рудного тела и располагаются кулисообразно, образуя сопряжённые в масштабах, последовательно усложняющие друг друга системы мелких куполов и провесов осевой поверхности полости открытого пространства. Размеры наиболее значимых для обеспечения устойчивости куполов и провесов по длине составляют 60-150 м и средней периодичностью по простиранию рудного тела 60–90 м.

Было принято решение о выемке внутриблоковых целиков. Устойчивость выработанного пространства было решено поддерживать креплением деревянными стойками и гидравлическими стойками ELBROC OMNI 80. Давление на крепь рассчитывалось от возможного отслоения рассланцованных пород непосредственной кровли высотой 1 м. Высота слоя установлена геолого-маркшейдерскими замерами вывалов пород, оценкой зон рассланцевания, изменения температуры мерзлых пород от влияния горных работ и учетом других факторов.

На основе расчетной величины горного давления от давления возможно отслаиваемых пород определен шаг крепи выработанного пространства (табл. 3).

Так как площади обнажения выработанных пространств при отработке жил достаточно велики, произведена оценка опасности воздушного потока для людей при возможных проявлениях обрушений пород по методикам [2,3]. Допустимые площади обнажения кровли при выемочной мощности жилы 1,2 м составили 8,5 тыс. м^2, 2,0 м – 16,2 тыс. м^2, 3,0 – 24,8 тыс. м^2. При достижении таких площадей необходимо подземные пустоты локализовывать [2, 3].

В качестве локализующих перемы-чек приняты бутовые



Площадь отбиваемой породы для создания бутовой полосы

полосы шириной не менее 2 м. Бутовая полоса возводится буровзрывным способом, путем заполнения очистного пространства породой, отбитой мелкошпуровым способом из лежачего и висячего боков очистного пространства.

Бурение шпуров производится перфораторами ПП-63 с горизонта вентиляционного штрека. По кровле выработки со стороны висячего бока обуриваются три шпура, со стороны лежачего бока, по почве обуриваются два шпура (рисунок).

В 2005 году произведена выемка внутриблоковых, надштрековых и подштрековых целиков при отработке блоков 2-С1-2,3,4,5 жилы «Централь-но-Тулуинская» с креплением деревянными стойками и локализацией выработанного пространства бутовой полосой. Добыто из потерь значительное количество руды в целиках.

Снижены затраты на крепление (отказ от костровой крепи). Длина выработанного пространства по падению составила 100-140 м, по простиранию – 200 м, общая площадь погашения пустот – 33 000 м^2. Инструментальные измерения напряжения и деформаций пород в зоне опорного давления показали устойчивое состояние кровли и целиков.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность управления геомеханическими процессами при отработке наклонных жил в зоне многолетнемерзлых пород локализацией подземных пустот бутовыми полосами создаваемых подрывом пород висячего и лежачего боков жилы. При этом представляется возможность выемки внутриблоковых целиков, надштрековых и подштрековых целиков, и, в конечном итоге, значительно снизить потери полезного ископаемого в недрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология* разработки золоторудных месторождений / Неганов В.П.. Коваленко В.И., Зайцев Б.М., Л.И. Сосновский и др. Под ред. Неганова В.II,- М.: Недра, 1995. - 336 с.
2. *Именитов В.Р., Абрамов В.Ф., Попов В.В.* Локализация пустот при подземной добычи руды. – М.: Недра, 1983. - 188 с.
3. *Руководство* по определению безопасных объемов пустот, выбору и расчет изолирующих сооружений при подземной разработке рудных месторождений Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1976. - 52 с.

Коротко об авторах

Сосновский Л.И. - доцент кафедры РМПИ, кандидат технических наук,
Павлов А.М. - технический директор ОАО «Бурятзолото»,
Филонюк В.А.- заведующий кафедрой геологической съемки, поисков и разведки МПИ, доктор геолого-минералогических наук,
Сосновская Е.Л. - старший преподаватель кафедры общеобразовательных дисциплин, кандидат геолого-минералогических наук,
Авдеев А.Н. - доцент кафедры ГМ, кандидат технических наук,
Рубцов Л.Г. - доцент кафедры РМПИ, кандидат технических наук,

Иркутский государственный технический университет (ИрГТУ)

© Я. Бялек, В. Сокола-Шевела, К. Опалка, 2006

УДК 621.317.7

Я. Бялек, В. Сокола-Шевела, К. Опалка

*ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Семинар № 2

Горнопромышленная деятельность приводит к нарушению окружающей среды. В случае ведения подземной разработки возникают геомеханические превращения мас-сива горных пород и земной поверхности. С целью изучения хода этого процесса, а также более точного прогнозирования последствий разрабатываемой эксплуатации производится измерение деформации. Этот вопрос становится особенно важным, когда наряду с эксплуатацией наблюдается сейсмическая активность массива горных пород. Тогда, существующие до сих пор, способы геодезического измерения деформации являются недостаточными. Только применение современных способов и измерительных технологий позволяет расширить диапазон исследований и добиться достаточного количества наблюдений. За последний период времени разработано ряд новых решений, использующих лазерную технику [2, 3, 4, 5].

Институтом геотехнологии, геофизики горного дела и экологии промышленных зон, в рамках реализуемой в настоящее время исследовательской работы, целью которой является поиск зависимости между распределением деформации земной поверхности, а регистрированным уровнем сейсмической активности, индуцированной горными разработками, разработана лазерная система дистанционного непрерывного измерения смещения точек земной поверхности [1, 2]. Полученные с помощью системы результаты исследований, из-за их непрерывности в длительном промежутке времени, могут также послужить для повышения точности прогнозирования смещений и деформаций земной поверхности в районах эксплуатации, проводимой в условиях повышенной сейсмической активности.

Статья содержит описание системы и ее применение.

1. Лазерная система дистанционного непрерывного измерения смещения точек земной поверхности

При исследовании деформаций земной поверхности большое значение имеют непрерывные наблюдения, проводимые в длительном промежутке времени, позволяющие определять абсолютные векторы смещений точек земной поверхности, особенно в районах эксплуатации, проводимой в условиях повышенной сейсмической активности.

*Научно-исследовательская работа финансирована из средств Научно-исследовательского Комитета, реализована в период 2004-2007 гг. в качестве исследовательского проекта.

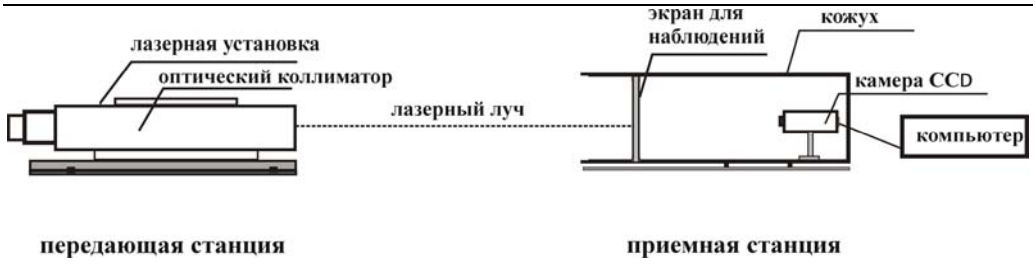


Рис. 1. Система непрерывного измерения смещений точек

Институтом разработана технология и построен прототип установки использующей лазерную технику, которая вместе с видеозаписью создает систему, позволяющую проводить с больших расстояний непрерывное наблюдение за смещением точки земной поверхности подвергнутой влиянию горных разработок. Система состоит из двух секций (рис. 1).

Первую секцию, которая является передающей станцией, составляет лазерная установка, состоящая из лазерного устройства генерирующего излучение в диапазоне видимого света и с соответственно спроектированной оптической системы, обеспечивающей требуемую сходимость и круговую форму пучка на расстоянии в пределах от 500 м до 650 м. На расстоянии 650 м максимальный диаметр светового пятна составляет 13 мм. Установка обеспечивает также требуемую плотность мощности пучка. Возможна плавная регулировка мощности лазерного устройства. Лазерное излучение генерируется непрерывно. На оснащение установки складывается: труба, наводящие винты, сцепные болты а тоже трехконечник, позволяющий наводить трубу на приемник. Лазерная установка изображена на рис. 2. Кожух устройства обеспечивает безаварийную работу станции в местных условиях.

Вторая секция, которую составляет приемная станция (рис. 1, 3), представляет собой систему детектирования лазерного пятна, состоящую из камеры CCD с разрешающей способностью 1280x1024, взаимодействующей с компьютером. Совместная работа камеры с компьютером осуществляется программным путем и не требует устройств сопряжения в виде контроллеров. Работает под управлением системы Windows 9x, Windows 2000. Детектирование нейтрального положения пятна происходит аппаратным путем. Существует возможность изменять параметры камеры и изображения в пределе: времени экспозиции, аналогового усиления, яркости, баланса белого цвета а также гаммы коррекции. Камера CCD в месте с экраном для наблюдений помещены в кожух, оснащенный крепящим зажимом, обеспечивающим соответствующие ус-

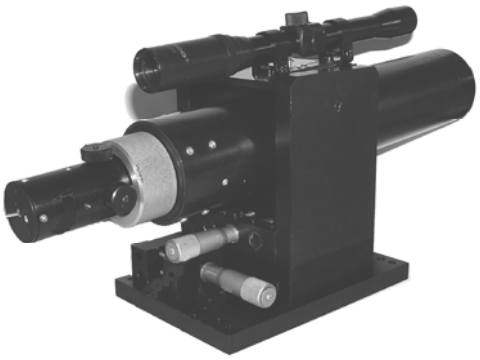


Рис. 2. Лазерная передающая станция

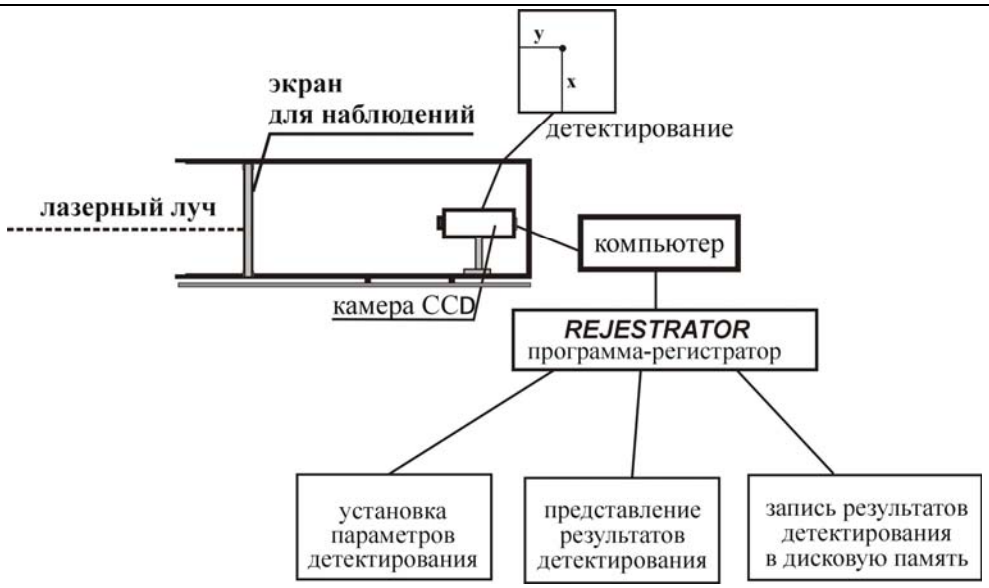


Рис. 3. Приемная станция – детектирование положения пятна

ловия детектирования пятна. Камера может работать в переменных условиях окружающей среды. Габаритные размеры экрана соответствуют виду применяемой камеры а также пределу измерения и составляют 450x450 мм. Применяется компьютер класса Pentium PC со станцией CD, жестким диском, портом USB и сетевой платой. Регистрация положения пятна происходит с помощью раз-работанной Институтом программы *REJESTRATOR (РЕГИСТРАТОР)* (рис. 3, 4). Эта программа позволяет изображать положение пятна на графике в табличном виде и в виде записи результатов измерений в дисковую память. Позволяет тоже изменять частоту детектирования положения, промежутка времени записи результатов измерений в дисковую память, а также основных параметров представления результатов наблюдений. По ходу регистрации программа автоматически генерирует график последних 24 часов измерений. Программа разработана на основе среды программирования Delphi. Регистрация положения пятна происходит по местной схеме в пиксельной системе а затем результат пересчитывается в метрическую систему. Запись происходит автоматически. Формат записи обеспечивает полное использование результатов в стандартных вычислительных программах.

Приемная станция расположена на поверхности, непосредственно в рай-оне проводимой рудничной эксплуатации.

2. Применение лазерной системы непрерывного измерения смещений точек земной поверх-ности

Исследования деформации охватывают район проводимой на угольной шахте „Халемба” эксплуатации лавой 6 пласта 415/1. Длина лавы составляет 285 м, а длина выемочного участка 1070 м. Разрабатывается пласт мощностью до 3,5 м при оставлении слоя в почве толщиной около 0,9 м, на средней глубине около 600 м, системой разработки лавами с выемкой по простиранию пласта с обрушением кровли. Этот участок принадлежит к III

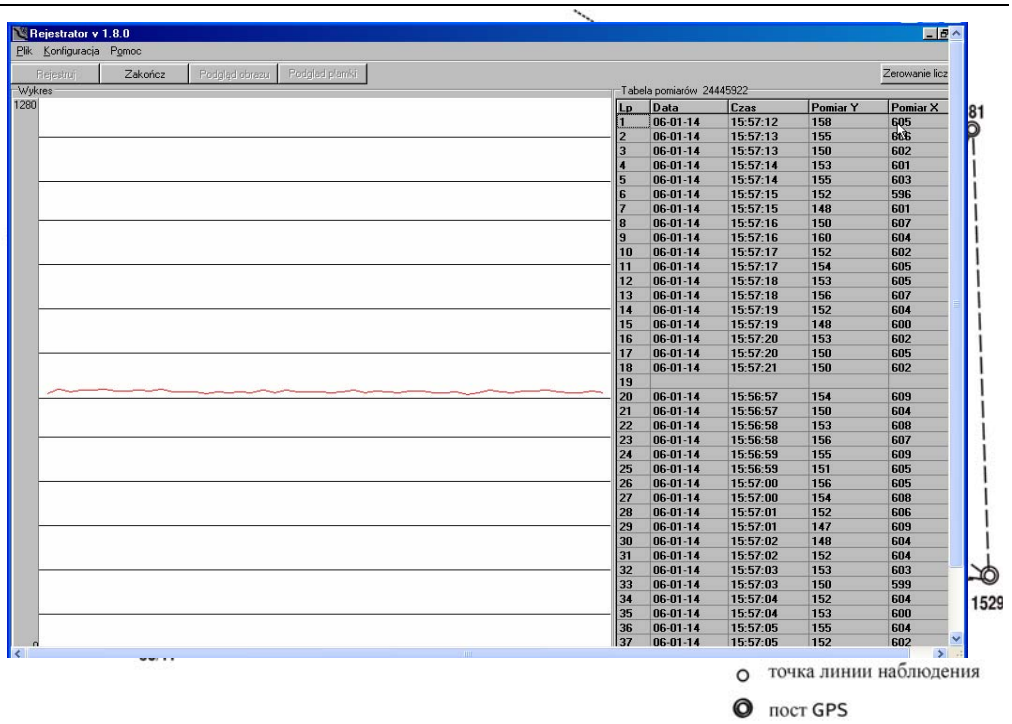


Рис. 5. Схема сети наблюдения

степени опасности по горным ударам и характеризуется высоким уровнем индуцированной сейсмичности. Пласт падает в южном направлении под углом 7. Зона, в которой проводятся исследования, расположена в г. Руда Сленска Верхнесилезского угольного бассейна.

Разработанная лазерная система непрерывного измерения используется для проведения комплексных наблюдений деформации земной поверхности в районе эксплуатации рассматриваемой лавы. Проводимые исследования включают также периодические измерения геодезическим способом оседаний и горизонтальных смещений вдоль наблюдательных линий.

Наблюдательная сеть составляет систему двух перпендикулярных наблюдательных линий, состоящих из 52 измерительных точек. Линия расположена вдоль передвигания очистного забоя, содержит 36 точек. Линия, перпендикулярная к ней, состоит из 16 точек.

Вертикальные съемки производятся способом точного нивелирования, используя кодовые нивелиры.

С целью определения абсолютных векторов смещений горизонтальных точек периодически выполняются линейно-угловые измерения точек сети наблюдения и точек ситуационного примыкания с помощью электронных тахеометров. Для определения координат точек примыкания периодически используется технология GPS. Частота наблюдений соответствует скорости подвигания фронта очистных работ. Схема сети наблюдений представлена на рис. 5.

Непрерывные наблюдения осуществляются с помощью описанной в главе 2 лазерной системы дистанционного из-

мерения смещения точек земной поверхности. Передающая станция (рис. 6) расположена за пределами влияния горных разработок в околоствольной выработке в районе охранного целика шахтных стволов Северный I, Северный II, угольной шахты «Халемба». Вторая секция, которую составляет приемная станция, расположена на поверхности непос-редственно в районе влияния горных работ (рис. 7).

Очистные работы, проводимые в районе наблюдаемой лавы 6 начались 21.12.2004 года. Измерения при помощи описываемой системы начались в феврале 2005 года. Определены параметры детектирования пятна, частота регистрации положения пятна 4 Гц а с начала июня 2 Гц а также 2-х минутный интервал записи результатов измерений в файл. Табличное представление определено для 70-ти измерений. До начала наблюдений, как и по их ходу, определяется высоту точки передающей и приемной станций. Периодически проводится контроль соответствия результатов детектирования с результатами геодезических съемок. Одновременно регистрируются погодные условия, в том числе температура, осадки, влажность, давление и облачность.

Замечена некоторая суточная периодичность изменений регистриро-ванных значений, которая связана с термическими факторами но они не влияют на изменение окончательного смещения точки.

На рис. 8 представлен график, на котором показаны результаты детектирования вертикального смещения

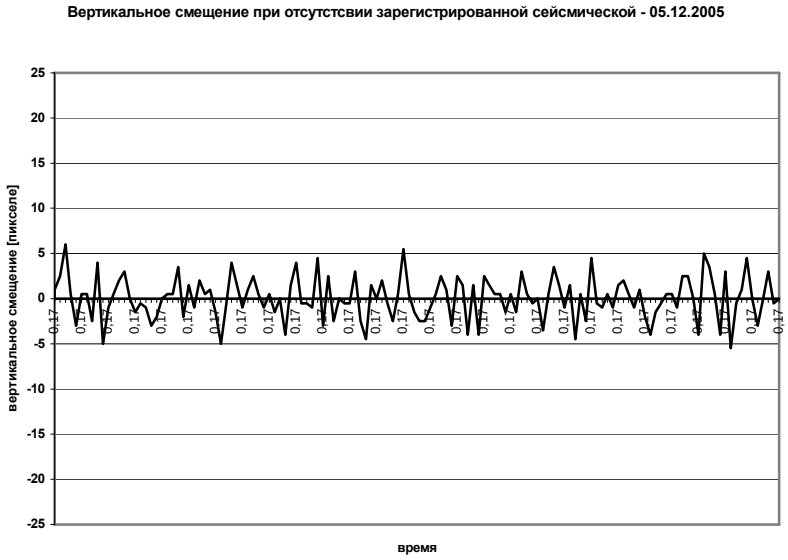


Рис. 8. Вертикальное смещение точки – отсутствие регистрированной сейсмической активности

Рис. 6. Передающая станция - расположена на объекте

Рис. 7. Приемная станция - расположена на местности

во время наблюдений проводимых 05.12.2005 года при отсутствии зарегистрированной сейсмической активности. Отмеченные максимальные значения амплитуд смещений составляют около +/- 5 пикселей. Влияние условий

рабочей среды учитывалось во время обработки результатов измерений.

Наблюдаемые результаты детектирования, полученные в промежутках времени, в которых произошли толчки со значительной силой, показывают значительные величины ампли-туд смещений. После завершения толчка детектирование пятна возвра-щает к пределу амплитуд, который имел место до его появления.

Результаты наблюдений показывают оседание точки на значения, сопоставляемые со значениями, полученными при нивелировке. В период регистрации до 05.12.2005 года установлено оседание точки, составляющее около 124 мм. В настоящее время выполняется основная часть измерений связанная с приближением и затем переходом фронта очистных работ в район лавы 6 прямо под приемной станцией.

3. Резюме

В статье изложена, разработанная Институтом геотехнологии, геофизики горного дела и экологии промышлен-ных зон Силезского политехнического института в г. Гливице, лазерная сис-тема дистанционного измерения смещений точек земной поверхности.

Полученные результаты измерений проводимые на местности с помощью предметной системы показывают их соответствие с результатами геодезичес-ких съемок, что подтверждает обоснованность ее использования для исследования деформации земной поверхности. Возможность идентифицировать время появления толчка обосновывает применение системы для исследования деформации земной поверхности с целью определения зависимости между регистрированной сейсмической активностью массива горных пород и распределением деформации земной поверхности.

Результаты исследований особенно могут способствовать повышению точности прогнозов смещений и деформаций земной поверхности в условиях повышенной сейсмической активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Białek J., Sokoła-Szewioła V., Opałka K.:* Badania deformacji powierzchni terenu w rejonach eksploatacji prowadzonej w warunkach wysokiej aktywności sejsmicznej. V konferencja Naukowo-Techniczna. Ochrona Środowiska na Terenach Górniczych. Szczyrk, 2-4.06.2004.
2. *Białek J., Sokoła-Szewioła V., Opałka K.:* Ciągłe pomiary przemieszczeń punktów powierzchni terenu w rejonach eksploatacji prowadzonej w warunkach wysokiej aktywności sejsmicznej. XI Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika-Geotechnics 2004" Gliwice – Ustroń. 2004.
3. *Bochenek W., Passia H., Szade A., Kawala A., Sobaszek W.:* Nowe metody monitoringu wpływów eksploatacji górniczej na wysokie obiekty na powierzchni. VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. GIG Katowice, Ustroń 2005.
4. *Jaśkowski W., Pielok J.:* Wyniki i aktulane kierunki prac naukowo-badawczych realizowanych w Zakładzie Geodezji Górniczej AGH. Geodezja, t.9, z 2/1. Kraków 2003.
5. *Jóźwik M., Jaśkowski W., Korbiel T.:* Wyznaczenie parametrów dynamicznych wysokich obiektów i mostów z quasi-ciągłych pomiarów geodezyjnych. Geodezja, t.9, z 2/1. Kraków 2003.

Коротко об авторах

Ян Бялек – доктор технических наук, профессор,
Виолетта Сокола – Шевела – кандидат технических наук,
Кжиштоф Опалка – кандидат технических наук,
Силезский политехнический институт в г. Гливице, Польша

© В.В. Руденко, Ю.А. Павлова, 2006

УДК 622.693.25:622.342.13.002.2

В.В. Руденко, Ю.А. Павлова

ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТОНОСНЫХ ПЕСКОВ НА ПОЛНОТУ И КАЧЕСТВО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИХ ЗАПАСОВ

Семинар № 2

Непрерывное увеличение объёмов горного производства в течение десятков лет привело к образованию огромной массы отходов в виде отвалов и хвостохранилищ. В настоящее время техногенные месторождения представляют собой значительный резерв пополнения минерально-сырьевой базы. Фактическая доля добычи золота из техногенных запасов составляет около 30 %. Запасы золота в техногенных отвалах России составляет не менее 18 % от запасов рассыпного золота.

Свыше 50 % техногенных запасов золота сосредоточены в отработках гидромеханизированным способом и 45 % в дражных, в том числе и в остаточно-

целиковым комплексе со-средоточено около 30 % золота.

Одной из основных причин, способствующих образованию техногенных месторождений при разработке россыпей, является отсутствие комплексного подхода к использованию разных технологий и технических средств добычи и обогащения золотоносных песков. Кроме этого необходимо учитывать, что большинству россыпей золота свойственна значительная изменчивость горно-геоло-гических условий разработки отдельных участков. Также необходимо при-нять во внимание то, что разработка россыпей отличается длительным периодом, установленные постоянные кондиции не отражают колебания рыночных цен и уровень затрат, а это, в свою очередь, не может не влиять на полноту и качество извлечения золота при добыче.

Традиционным способом разработки техногенных месторождений, также как и при разработке природ-ных россыпей, является дражный. Дражный способ включает в себя горнообогатительный комплекс, одновременно производящий разработку горной массы, её транспортирование к обогатительным агрегатам, обогащение и укладку хвостов обогащения в отвалы.

Основными преимуществами дражного способа являются: высокая производительность, законченность цикла работ, поточность технологий и возможность централизации управле-ния.

В свою очередь к главным недостаткам способа можно отнести: громоздкость и большую стоимость оборудования, трудоёмкость его перевозок и монтажа. Очевидно, что для организации дражной разработки необходимы очень большие первоначальные затраты (капиталовложения). Чтобы обеспечить погашение этих затрат, нужны месторождения обеспе-чивающие достаточно продолжительную работу драги. Техногенные месторождения таковыми не являются. Также существенными недостатками являются отсутствие контроля за полнотой выемки запасов золотоносных песков, так как он осуществляется косвенным способом и не может быть достоверен. Потери остаются в почве забоя, в бортах выработки, в межходовых и межшаговых целиках, в просыпях из черпаков и т.д.

На выбор оборудования и техно-логий схемы обогащения золотоносных песков влияют следующие факторы:

- промывистость песков и категория их обогатимости;
- минералогический состав пес-ков;
- содержание тяжелых минералов и золотин;
- гранулометрический состав золотин, песков, торфов, выход валу-нов и шламов;
- необходимое количество потребляемой технологической воды.

В основу конструкций приборов, используемых для промывки и обогащения песков, положен гравитационный способ обогащения золотосодержащих песков в потоке воды на шлюзовых обогатительных установках. При использовании подобных приборов величина потерь золота зависит от крупности золотин. Минимальные потери золота достигаются при равномерном распределении пес-ков и воды по секциям шлюза.

Анализ вышеизложенных недостатков и преимуществ дражного способа при разработке россыпных месторождений, позволил установить основ-ные показатели, влияющие на обра-зование техногенных месторожде-ний (рис. 1).

Известно, что повторный проход драги по ранее разрабатывавшемуся этой же драгой разрезу иногда позволяет намывать до 50 % и более первоначаль-

ной добычи. В этом показателе суммированы все потери – эксплуатационные и технологические. Технологических потерь в большей степени можно избежать, если обеспечить полное соответствие схемы обогащения и режима работы обогатительных аппаратов характеристике промываемой горной массы и установить жесткий контроль за исполнением этого режима. Именно из-за несоблюдения этих требований технологические потери могут превышать допустимые. Но не смотря на соблюдения всех режимов и правил, есть золото, которое будет уходить в потери и для которого необходимы более совершенные технологии.

Так же как и при разработке природных россыпей, эксплуатационные потери в процессе разработки техногенных россыпей складываются из недоработок в бортах и почве забоя, потерь в межходовых и межшаговых целиках, потерь из-за просыпей породы из черпаков, из-за осыпей породы в самом забое.

Очень значительными могут быть потери в плотике, когда последний имеет неровности, пустоты. В извест-ковых плотиках могут появляться карстовые пустоты, достигающие значи-тельных размеров. Выбрать полнос-тью пески драгой из таких пустот не-возможно. Чтобы избежать больших потерь, особое внимание должно быть всегда обращено на соответствие принятых параметров и самой системы разработки характеристике разраба-тываемой россыпи.

Поскольку для предотвращения технологических потерь основное зна-чение имеет правильный режим работы, то очень полезной может быть автоматизация управления технологическими процессами.

Разубоживание при дражных работах происходит, главным образом,

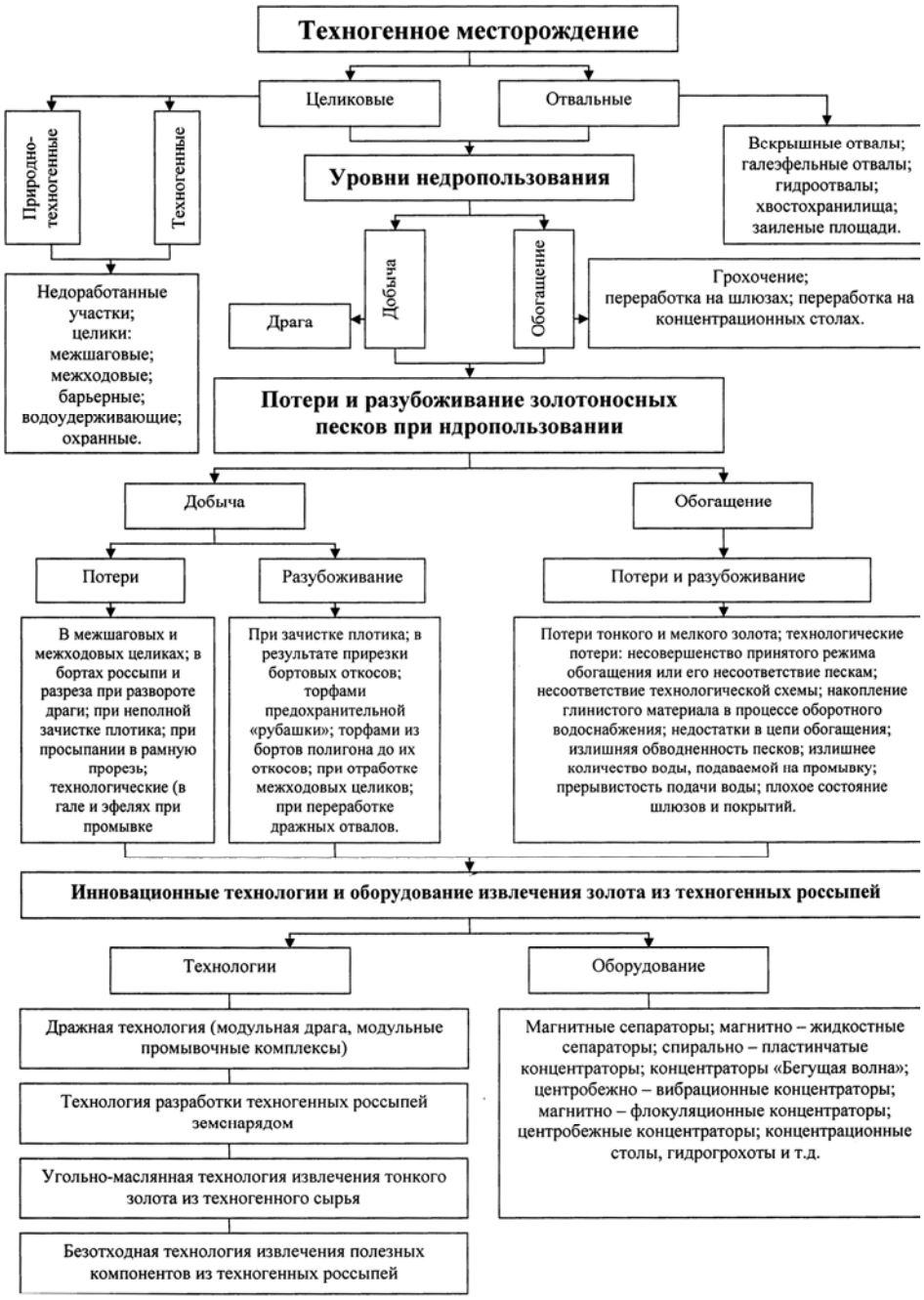


Рис. 2. Применение инновационных технологий

Рис. 1. Структурная схема образования техногенных месторождений

в результате зачистки плотика, прирезки бортовых откосов, торфами предохранительной «рубашки», отработки межходовых целиков и т.п.

Можно считать, что в настоящее время повышенные потери песков и полезного ископаемого являются основным недостатком дражной разработки. Также очевидно, что традиционный дражный способ является очень дорогим и не всегда эффективным при разработке техногенных месторождений.

Техногенные россыпи в зависимости от характера происхождения делятся на целиковые и отвальные. Большой интерес представляют отвальные техногенные месторождения. Рассмотрим кратко эти месторождения и распределение золота в них:

- *Эфельные отвалы* – достаточ-но изучены и представляют значительный интерес для разработки. Содержание золота в них колеблется в широких пределах, тяготея к интервалам значений 150–400 мг/м^3. Нередки случаи обнаружения небольших самородков.
- *Галечные отвалы* – изучены в меньшей степени. Редко удается выявить золото в таких отвалах. Лишь опробованием устанавливается крайне неравномерное распределение металла и присутствие его в незначительных количествах от 0,06 до 0,28 г/м^3.
- *Смешанные типы отвалов* – представляют собой в одних случаях перемешанные пески и породы вскрыши, в других перебуторенные отвалы с бортовыми целиками или выемочные грунты из зумпфов. Доля подобных отвалов в общем объеме незначительна. Содержания золота в отвалах смешанного типа варьируются от 0,02 до 0,8 г/м^3, не редко превышая 1 г/м^3.
- *Хвосты ШОУ «Черные шлихи»* - к ним относятся не только хвосты ШОУ, но и хвосты первичной отра-ботки шлиха на участке.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что большая часть золота в техногенных месторождениях труд-но извлекаемая, крупность его в основном 0,2 мм, форма чешуйчатая и пластинчатая. Часть золота амальгамирована или связана с сульфидами, кварцем, гидроокислами железа. Поверхность золотин глубоко координирована, имеются микропустоты выщелачивания. Такое золото традиционными методами извлекается не эффективно. Обогащать пески с тонким и мелким золотом экономически выгодно и возможно только с помощью принципиально новых технологий и аппаратов. А их совершенствование должно осуществляться как на стадии первичного обогащения, так и на стадии доводки концентратов.

Подробно рассмотрев и произведя анализ вышеизложенного материала можно сделать следующий вывод: данная проблема очень актуальна и требует решения с использованием инновационных технологий, произведенные анализ и оценка которых, позволили наглядно представить их на рис. 2. Перспективными технологиями, на сегодняшний день, являются:

1. **Технология разработки техногенных россыпей с использованием драги 50Д с модификациями.** Драга разработана для отработки техногенных и обводненных россыпей с относительно небольшими запасами. Отличительными особенностями от традиционной драги, являются: максимально упрощенная и облегченная конструкция; легко монтируемая блочная конструкция для быстрой переустановки на другое месторождение; шлюзовое и отсадочное оборудование обогатительного узла; вариант энергоснабжения от дизельгенератора; относительно небольшие затра-

ты на приобретение и монтаж; простота в обслуживании и ремонте.

2. Технология разработки техногенных россыпей с использованием модульных промывочных комплексов. Комплексы предназначены для извлечения тонкого и мелкого золота и самородков. Извлечение золота при использовании комплексов возрастает до 90-95 %, также комплексы отличаются малыми показателями расхода электроэнергии, материалов, технологической воды и требуют небольших капиталовложений.

3. Технология разработки техногенных россыпей с использованием земснаряда. Она предназначена для освоения пойменных техногенных россыпей. Экономические расчеты показали, что земснарядный способ может конкурировать с дражным за счет уменьшения капитальных вложений, эксплуатационных расходов и более высокой производительности добычного и обогатительного оборудования.

4. Угольно-маслянная технология. Основана на способности углеродно-углеводородной среды образовывать пористые агломераты и концентрировать из рудной пульпы частицы золота, обладающие природной олеофильностью поверхности. Нагру-женная золотом угольно-маслянная среда выводится из процесса для отделения золота. Процесс золото – угольно – масляной агломерации высокоселективен, способен извлекать золотые частицы размером от 5 до 400 мкм, что делает его применимым для сырья с широким диапазоном вкрапленности ценного компонента. Определяющим фактором показателей процесса является полнота вскрытия золота и чистого его поверхности. При этом извлечение золота из эфелей 91-98 %, из продуктов обогащения ОФ и ШОУ 60-91 %. В сравнении с традиционными технологиями извлечения золота, процесс угольно-масляной агломерации имеет ряд существенных преимуществ: по технологическим показателям извлечения свободного тонкого золота он может составить реальную альтернативу процессам амальгамации, гравиитации и цианирования; конечный продукт не требует сложных схем переработки; процесс экологически безвреден; отличается высокой скоростью и низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

5. Безотходная технология извлечения полезных компонентов из техногенных россыпей. Ее назначение – извлечение полезных компонентов из отходов золотодобычи прежних лет, зараженных техногенной ртутью. Проект предполагает создание технологической схемы переработки техногенных россыпей, исключающей использование таких токсичных реагентов как ртуть и цианистый натрий. В качестве реагента для извлечения золота и серебра из сырья предусмотрено использование тиомочевины. Данная технология позволяет значительно увеличить извлечение золота при минимальных затратах.

Известно, что каждое месторождение, а тем более техногенное, уникально по своему строению и требует индивидуального подхода, рассмотрим возможные варианты комплексного подхода:

1. На первой стадии месторождение отрабатывается драгой 50Д с модификациями, далее устанавливается модульный промывочный комплекс, что позволяет более полно и качественно промыть пески повторно и доизвлечь не извлеченные драгой полезные компоненты.

2. На первом этапе месторождение разрабатывается земснарядом, а на втором этапе, также как и в первом ва-

рианте, устанавливается модульный промывочный комплекс, что позволяет, как и в первом варианте, доизвлечь не извлеченное.

3. Вначале для разработки используется одна из первых трех, выше указанных технологий (выбор технологии зависит от горно-геологических условий месторождения), а для доизвлечения золота из образовавшихся отходов возможно применение одной из двух технологий: угольно-маслян-ной или безотходной.

Предложенные варианты, представленные на рис. 3, позволяют повысить извлечение нестандартного золота (в среднем оно составляет 85-90 %). Так же для повышения процента извлечения такого золота следует использовать более совершенное оборудование: концентраторы, сепараторы, концентрационные столы и т.д.

Принцип действия *центробежного концентратора* заключается в принудительном разделении обрабатываемого материала на две фракции: «тяжелую» и «легкую» в центробежном поле. Технология предназначена для месторождений с большим содержанием полезного компонента, только в этом случае все затраты на ее внедрение окупаются.

Концентратор «Бегущая волна», созданный Центральным научно-исследовательским геологоразведочным институтом цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), предназначен для: обработки мало- и среднеобъемных геологоразведочных проб золотосодержащих песков; кор выветривания и техногенных материалов; доводка концентратов полученных из руд и россыпей на шлюзах; отсадочных машинах центробежных концентраторах. Эффективность извлечения золота, в т.ч. мелкого и тонкого, обеспечивается за счет переменных центробежных и гравитационных сил.

В ОАО «Грант» созданы три модели *центробежно-вибрационных концентраторов (ЦВК)*. Они предназначены для высококачественного гравитационного обогащения мелкозернистого материала (песков или измельченных руд), содержащего свободное золото, как при геологоразведке, так и при промышленном извлечении мелких и тонких фракций благородных металлов на стадии доводки черновых концентратов на обогатительных фабриках и шлихообогатительных управлениях, в старательских артелях. В отличие от лучших отечественных и зарубежных образцов того же типоразмера концентраторы ЦВК имеют более высокие технико–эконо-мические показатели и более низкие цены.

Спирально-пластинчатый концентратор был разработан для извлече-ния мелкого и тонкого золота из техногенных и целиковых россыпных месторождений.

Магнитно-флокуляционный концентратор. Промышленная модель данного концентратора спроектирована СКВ НТЦ МГГУ. КПМФ-1 представляет собой двухсторонний шлюз с четырьмя магнитными системами в виде полуцилиндров, вращающихся на осях в ячейках из немагнитной стали. КПМФ-2 имеет упрощенную конструкцию, разработанную по принципу модуля. Один модуль КПМФ-2 составляет четвертую часть КПМФ-1, но в отличие от него имеет неподвижный корпус. Конструктивной особенностью концентратора КПМФ-3 является плоская маг-

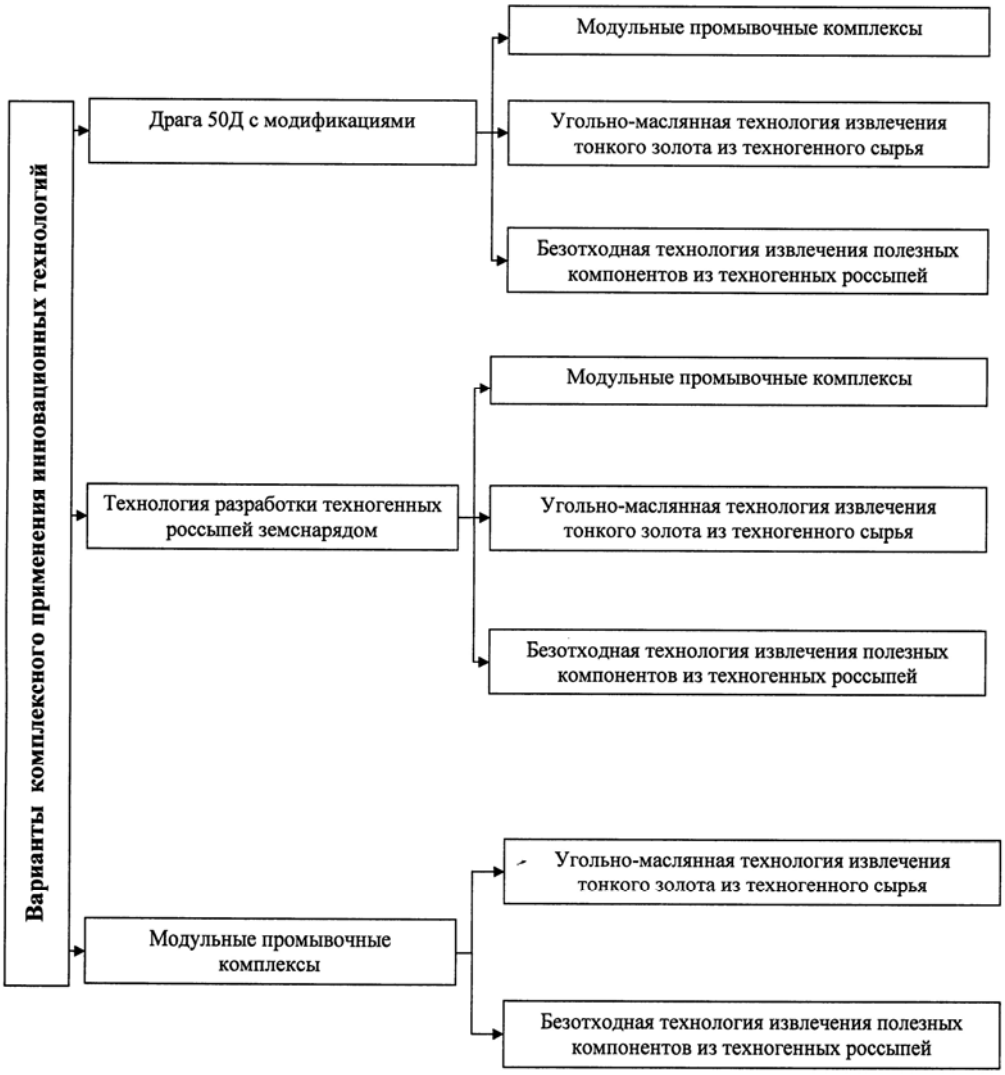


Рис. 3. Варианты комплексного подхода при использовании инновационных технологий

нитная система с полюсами чередующейся полярности по длине концентратора. В конструкции КПМФ-4Л реализована идея непрерывной разгрузки накапливающегося шлиха. Концентратор КПМФ-5 представляет собой короткий шлюз.

Сепараторы в свою очередь делятся на *магнитный и магнитно-жидкостный*. В свою очередь модели магнитных сепараторов делятся на: сухой магнитный сепаратор на электромагнитах с регулируемым полем; мокрый магнитный роторный сепаратор; мокрый магнитный барабанный сепаратор. Модели магнитно-жидкостного сепаратора подразделяются на: магнитно-жидкостный сепаратор на постоянных

магнитах; магнитно-жид-костный сепаратор на электромагнитах.

Одной из принципиально новых технологий является *магнитно-жидкостная сепарация (МЖС)*, использование которой позволяет выделить из шлихов свободное золото в виде лигатуры. В последнее время вместо амольгамации и отдувки все чаще используют процессы извлечения свободного золота с помощью магнитно-жидкостных сепараторов. По аналогии с гравитационным обогащением, процесс МЖС часто называют сепарацией в псевдоутяжеленных средах. В большинстве МЖ сепараторов, созданных в последние годы, источником магнитного поля являются посторонние магниты. Это делает сепараторы экономичными по расходу энергии, компактными, легкими и сравнительно дешевыми.

Высокие показатели доводки черновых концентратов были достигнуты в ходе испытаний импортного оборудования, концентрационных столов Gemeni и доводочной установки Goldtron. Основные его отличия от известных конструкций состоят в устройстве деки и организации движения материала по ее поверхности. Вместо привычных рифлей в виде выступов и порожков на двусторонней деке стола Gemeni для улавливания и концентрирования тяжелых минералов применены рифли – канавки, которые располагаются под определенным углом к продольной оси стола, а вдоль этой оси по каждой полудеке, со стороны подачи смывной воды, проходит так называемая «золотая рифля», предназначенная для улавливания свободных золотин. Фирма MTL выпускает три модели стола, отличающиеся производительностью: модель №60 – 30 кг/ч; №250 – 120 кг/ч; №1000 – 450 кг/ч по твердому питанию. Стол предназначен для обогащения грубых золотых концентратов с крупностью зерна менее 1,0 мм. Испытания проводили в лабораторных условиях, максимальная нагрузка одного опыта 40 кг. При обогащении бедных продуктов, содержащих 0,01 % золота, в одну операцию удается повысить концентрацию золота в 240 раз при извлечении 95,3 %.

Установка Goldtron разработана и производится американской фирмой Goldfield. Самое важное отличие ее от других доводочных установок состоит в том, что в едином комплексе одновременно обогащает и крупный и мелкий материал. Это компактная комплексная система, состоящая из приемного бункера, шнекового пита-теля, двухдечного грохота, шлюза и двухдечного концентрационного стола, такое оборудование может быть использовано для усовершенствования уже существующих и новых технологий. В разных вариантах комплектации оно позволит значительно повысить процент извлечения нестандартного золота. Варианты комплектации, целесообразно рассматривать для каждого конкретного предприятия в зависимости от его экономического состояния и финансовых возможностей.

Не смотря на предлагаемые технологии, способствующие повышению полноты и качества извлечения золота при разработке техногенных россыпей, потери все равно остаются, хотя они и сводятся к минимуму.

Анализ вышеизложенного позво-ляет сделать следующие выводы:

- особенности формирования техногенных россыпей золота в большей степени обусловлены характером и количественными показателями потерь золота при добыче и обогащении золотоносного песка;
- основные потери россыпного золота обусловлены низкими показа-

телями извлечения мелкого и тонкого золота;

- фактические потери золото по опыту повторной переработки, как правило, значительно превышают отчетные показатели потерь, которые имели место при первоначальной отработке месторождения;
- сравнительный анализ традиционных и инновационных технологий показал, что дражный способ разработки техногенных месторождений зачастую не эффективен, т.к. он очень дорогостоящий, а рассмотренные инновационные технологии и оборудование не всегда показывают удовлетворительные результаты;
- наилучшие результаты, по снижению потерь, можно достигнуть при использовании комплексного подхода с использованием традиционных и инновационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попов В.Н, Бадамсурэн Х., Буянов М.И., Руденко В.В.* Квалиметрия недр. Учебное пособие. Издательство академии горных наук, 2000. – 303 с.
2. *Чайников В.В.* Системная оценка техногенных месторождений. – М.: ЗАО «Геоинфрммарк», 1999 г. – 75 с.
3. *Наумов В.А.* Особенности формирования и распределения благородных металлов в техногенных россыпях и отвалах Урала // Горный журнал – 1994. – №8 – С. 39– 50.
4. *Дробышев В.Ф., Кулигин В.Я., Фатьяов А.В. и др.* Новые технологии переработки руд Забайкалья // Ресурсы Забайкалья – 2002. – спец. выпуск.
5. *Ковленеков И.И.* Техногенное золото Якутии. – М.: 2002. – 289 с.
6. *Попов В.Н., Руденко В.В., Х. Бадамсурэн, Экгард В.И., Буянов М.И.* Оценки недропользования. Учебное пособие. Издательство академии горных наук, 2001. – 296 с.

Коротко об авторах

Руденко В.В. – профессор, доктор технических наук,
Павлова Ю.А. – аспирантка,
Московский государственный горный университет.