

*П.С. Шпаков, С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина,  
А.П. Шпакова*

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ОТКОСОВ  
БОРТОВ КАРЬЕРОВ ДЛЯ СЛОЖНО-СТРУКТУРНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Семинар № 1

**П**ри разработке месторождений открытым способом конструкции бортов карьера претерпевают значительные изменения в зависимости от времени разработки и отличаются от первоначальных, проектных параметров.

Это связано с тем, что опыт отработки месторождений открытым способом, показывает, что проектирование параметров бортов карьера необходимо вести в несколько стадий. Выбор параметров устойчивых конструкций бортов на первой стадии проектирования основан на данных геолого-разведочных работ и зависит от геологического строения месторождения, типа применяемого оборудования, физических и механических свойств горных пород находящихся в прибортовой зоне. От этих показателей зависят параметры устойчивых уступов и бортов карьеров. На этой стадии проектирования многие параметры принимаются по аналогии с другими месторождениями. В дальнейшем, по мере разработки и вскрытия новых горизонтов, происходит уточнение и детализация ранее принятых решений с учетом новой информации о геологическом строении и состоянии горного массива и свойств пород, полученных из исследования на вскрытой части месторождения. За прошедшее время проводятся дополнительные исследования прочностных свойств массива, структурно-тектонических особенностей и трещиноватости прибортовых массивов. На основе новых данных приходится перепроектировать откосы уступов и бортов карьеров с учетом уточненных данных. Особенно это актуально при доработке месторождения.

Чиганакское месторождение барита по сложности инженерно- геологических условий относится к категории сложных, характеризующихся большой тектонической нарушенно-

стью, залеганием в толще скальных и полускальных дислоцированных трещиноватых пород с наличием зон дробления и выветривания. Тектонические разломы ориентированы в основном субпараллельно и диагонально к простиранию рудных залежей. Часть из них имеют углы падения 30-65° в сторону рудной залежи; часть крутопадающих в сторону массива с углами падения 80-85°. Особую опасность могут представлять участки пересечения двух диагонально расположенных тектонических нарушений, согласно падающих с откосом. Вдоль нарушений неизбежно повышение интенсивности экзогенной трещиноватости. В узлах сопряжения нарушений образуются обширные зоны дробления пород. Слоистое строение горного массива месторождения также относится к неблагоприятным факторам с точки зрения устойчивости карьерных откосов.

Проведенный анализ геологической и проектной документации по отработке Чиганакского месторождения показывает, что проектные углы наклона откосов действующих карьеров №1, № 2 приняты на основании «Норм технологического проектирования...» [1] и должны быть уточнены по результатам геомеханических исследований в процессе эксплуатации месторождения. Нами была рассмотрена возможность изменения проектных углов наклона откосов действующих карьеров №1 и №2, с целью снижения объемов вскрышных работ.

Для уточнения прочностных характеристик в 2003 году на карьерах были проведены натурные испытания прочностных свойств на сдвиговых приборах. Анализ полученных данных совместно с имеющимися данными позволил принять расчетные показатели физических и прочностных свойств пород для оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьеров

Таблица 1  
 Расчетные прочностные характеристики пород

Тип породы	Характеристики пород при $n_{зап}=1$			Характеристики пород при $n_{зап}=1,3$		
	$\gamma \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	$k_m$ , МПа	$\rho$ , градус	$\gamma \cdot 10^3$ , Кг/м <sup>3</sup>	$k_m$ , МПа	$\rho$ , градус
Глинистые отложения	1,80	0,016	18,0	1,80	0,012	14,0
Суглинки	2,00	0,003	20,0	2,00	0,002	15,6
Сланцы глинистые сильно Выветрелые	2,54	0,059	30,0	2,54	0,045	23,9
Сланцы глинистые	2,61	0,076	31,0	2,61	0,058	24,8
Сланцы углисто-глинистые кремнистые сильно выветрелые	2,61	0,076	31,0	2,61	0,058	24,8
Сланцы углисто-глинисто-кремнистые	2,68	0,092	31,0	2,68	0,071	24,8
Песчаники	2,68	0,400	33,0	2,68	0,308	26,5
Яшмоварциты сильно Выветрелые	2,64	0,150	34,0	2,64	0,115	27,4
Яшмоварциты	2,64	0,272	34,0	2,64	0,209	27,4
Алевриты	2,68	0,092	31,0	2,68	0,071	24,8

Чиганакского месторождения следующие (табл. 1).

Трещиноватость горного массива месторождения изучалась только в процессе геологоразведки. Но на геологических разрезах и планах, а также соответственно и на проектно-графической документации отражены только крупные тектонические разломы. Для изучения трещиноватости прибортовых массивов, влияющей на устойчивость отдельных участков уступов на карьерах №1, №2, в 2002-2003 годах методом непосредственных измерений с помощью горного компаса была выполнена съемка трещиноватости. Результаты обработки

этих съемок были использованы в расчетах устойчивости.

Порядок расчетов по оценке устойчивости прибортовых массивов карьеров заключался в следующем:

- предварительная оценка прибортового массива с учетом крупных тектонических нарушений и выделение наиболее опасных участков;
- оценка устойчивости стационарных откосов уступов с учетом трещиноватости пород;
- конструирование профилей бортов с учетом ранее выполненной предварительной

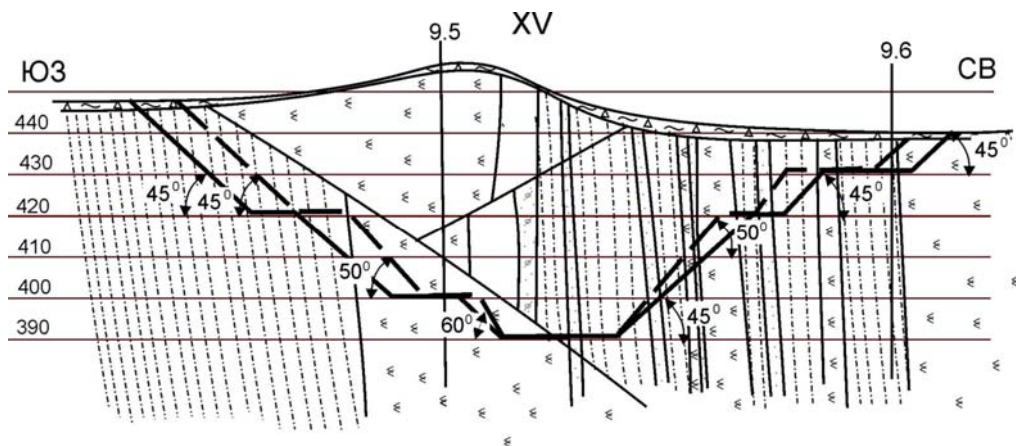


Рис. 1. Разрез по профильной линии XV  
 - проектный профиль бортов; ---- - рекомендуемый профиль бортов

Таблица 2  
Рекомендуемые углы откосов уступов

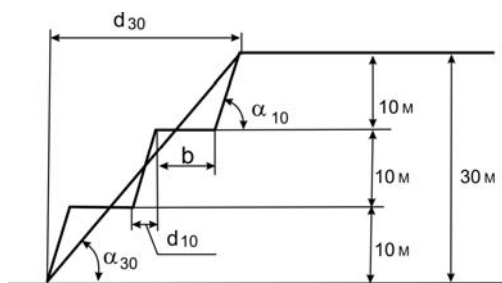
Горизонт отработки	Тип породы	Угол наклона откоса уступа $\alpha$ , градус	
		при высоте $H = 30$ м	при высоте $H = 10$ м
Земная поверхность – гор.420 м	Яшмокварциты, песчаники	50-55	75
Гор.420 м – гор.390 м		55-60	75
Земная поверхность – гор.420 м	Алевролиты, аргиллиты, гравелиты, углисто-кремнистые и глинисто-кремнистые сланцы	45	65
Гор.420 м – гор.390 м		50	75
Земная поверхность – гор.420 м	Сланцы глинистые, алевролиты глинистые	35-40	65
Гор.420 м – гор.390 м		35-40	65

оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьеров.

Горно-геометрический анализ месторождения показал наличие в прибортовых массивах карьеров согласно падающих диагональных и продольных тектонических нарушений, ослабляющих устойчивость бортов. На основании выполненных расчетов по известным расчетным схемам [2] выявлены участки, на которых возможны деформации по тектоническим нарушениям. Для повышения устойчивости бортов на этих участках генеральные углы наклона приняты более пологими, с доведением коэффициентов запаса устойчивости до 1,17-1,31, что удовлетворяет требованиям [3-4].

Оценка устойчивости откосов уступов на карьерах выполнялась на основе выявленных элементов залегания трещин и уточненных прочностных характеристик пород и породных контактов. Высота стационарных откосов определялась по техническому проекту отработки месторождения, углы наклона уступов обосновывались с коэффициентом запаса устойчивости равным 1,5-2,0 и выше, согласно [3-4].

Рис. 2. Схема постановки уступов на конечный контур



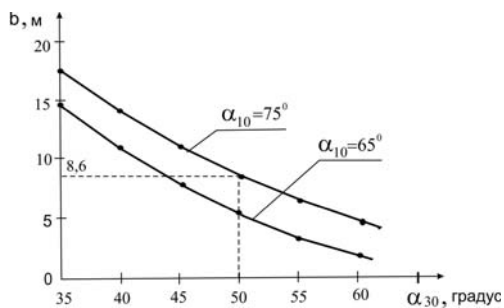
На основании выполненных расчетов рекомендованы углы откосов уступов представленные в табл. 2.

Принимая параметры уступов на основе табл. 2, с учетом горно-геологических условий (тип породы, степень выветрелости, слабые контакты и элементы их залегания и т.д.) отстроены рекомендуемые контуры бортов карьеров (рис. 1) и произведена их оценка устойчивости.

Коэффициенты устойчивости вновь отстроенных бортов составили от 1,0 до 2,0 (с учетом коэффициента запаса  $n_{зап} = 1,3$ ), что удовлетворяет требованиям [3-4] при сроке службы карьеров от 5 до 10 лет.

Постановка уступов на конечный контур может быть произведена без страивания 10-метровых уступов в единый 30-метровый откос. В связи с чем, приведенные в табл. 2 параметры 10-метровых уступов можно использовать при конструировании бортов карьеров на конечном контуре. В этом случае параметры трех 10-метровых уступов следует вписывать в параметры 30-метрового уступа. Конструктив-

Рис. 3. Зависимость ширины конструктивной площадки от угла откоса стационарного уступа



ные горизонтальные площадки для 10-метровых уступов устанавливается вписыванием их заложений в заложение 30-метрового уступа (рис. 2) по формуле:

$$d_{30} = 3 \cdot d_{10} + 2 \cdot b,$$

где  $b$  – ширина конструктивной площадки;  $d_{30}$ ,  $d_{10}$  – соответственно заложения 30-метрового и 10-метрового уступов,

$$\text{тогда } b = \frac{(d_{30} - 3d_{10})}{2},$$

$$\text{или } b = 15(\text{ctg}\alpha_{30} - \text{ctg}\alpha_{10}),$$

где  $\alpha_{30}$ ,  $\alpha_{10}$  – соответственно углы откосов 30-метрового и 10-метрового уступов.

Ширина конструктивных площадок для различных горно-геологических условий мо-

жет быть определена по графикам представленным на рис. 3.

Предлагаемая технология постановки уступов на конечный контур упрощает заоткосные работы и снижает материальные затраты связанные с ними.

Выполненный комплекс научных исследований по геомеханическому обоснованию параметров откосов карьеров позволил увеличить углы наклона откосов уступов на  $5-10^0$ , в сравнении с проектными, и в целом бортов карьеров – на  $2-4^0$ . Таким образом, научно-обоснованное конструирование профилей устойчивых бортов карьеров сложноструктурного месторождения привело к сокращению объемов вскрышных пород и снижению себестоимости добываемой продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. - Л.: ГИПРОРУДА, 1986. - 90с.

2. Попов И.И., Окатов Р.П., Шпаков П.С. Материалы VI Всесоюзной конференции по механике горных пород « Напряженно- деформированного состояния и

устойчивость скальных склонов и бортов карьеров». Фрунзе, Илим, 1979. –С.338-346.

3. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.:ВНИМИ, 1972. – 164с.

4. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. - СПб., 1998. - 208 с. (Минтопэнерго РФ. РАН. Гос. НИИ горн, геомех. и маркшейд. дела - Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).

#### Коротко об авторах

*Шпаков П.С.* – профессор, доктор технических наук, Муромский институт Владивостокского государственного университета.

*Ожигин С.Г.* – доцент, кандидат технических наук,

*Ожигина С.Б.* –ст. преподаватель,

Карагандинский государственный технический университет.

*Шпакова А.П.* – студентка, Муромский институт Владивостокского государственного университета.

#### ДИССЕРТАЦИИ

##### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВНИМИ</b>			
ВОВК Александр Иванович	Геомеханическое обоснование и разработка параметров подготовки парными выработками угольных пластов Воркутинского месторождения	25.00.22	к.т.н.

УДК 622.83

**В.И. Ручкин****МОНИТОРИНГ ЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ  
АКТИВНОСТЬЮ И РАЗВИТИЕМ ПРОЦЕССА  
СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА ЕСТЮНИНСКОМ  
МЕСТОРОЖДЕНИИ\***

Семинар № 1

**В** процессе своего исторического развития Земля не раз доказывала и доказывает в глобальном масштабе, что считается с ней надо как с «живым» существом. В процессе своего формирования она расчленилась на относительно прочные блоки, «соединенные» между собой ослабленными зонами структурных нарушений сформировавшееся естественное поле напряжений, под влиянием человека в процессе добычи полезных ископаемых и строительства подземных сооружений вызывает значительные изменения его параметров. Эти изменения в основном происходят в верхней части земной коры и связаны с тем, что при нарушении целостности горного массива происходит принудительное нарушение естественного напряжения в массиве горных пород. Таким образом, постепенное усиление влияния человеческой деятельности на верхнюю часть земной коры приводит к возникновению нового типа движений и деформаций горного массива – техногенному. В сочетании с естественно-тектоническими движениями они вызывают негативные последствия массива горных пород в виде смещения блоков друг относительно друга, при этом идёт накопление вторичных напряжений в зонах ослабления и при достижении определённой величины проявляются в виде геодинамических явлений. Своевременное предотвращение таких явлений является актуальной проблемой как для подземных горных выработок, так и для охраняемых объектов расположенных на подрабатываемой территории. Для изучения этих процессов, происходящих в горном массиве на горнодобывающих предприятиях, в соответствии с действующими инструкциями и правилами в обязательном по-

рядке должен быть организован мониторинг за развитием процесса сдвижения. Также для изучения этих процессов необходимо исследовать механизм взаимосвязи геодинамических движений массива горных пород в верхней части земной коры между естественно-тектоническими движениями и техногенными в районах интенсивного недропользования.

Местом для выполнения данных исследований была выбрана шахта Естюнинская относящаяся к Тагильской группе железорудных месторождений. Наблюдение за геодинамической активностью горных пород стало возможным с внедрением в маркшейдерскую практику комплекса спутниковой геодезии GPS, который позволяет производить работы в любое время суток при любой погоде и при отсутствии прямой видимости. Для выполнения данного вида работ на территории шахты Естюнинская, Высокотского ГОКа были выбраны два экспериментальных участка «Локальный» и «Мульда». Участок «Локальный» расположен на восточном участке рудного поля и представляет собой фигуру, состоящую из двух треугольников, где три репера расположены вдоль серии тектонических нарушений, а четвёртый репер расположен за границей этих нарушений. Связующий репер исследуемого участка находится на расстоянии 300 метров от существующей границы критических деформаций земной поверхности, которая образовалась от горных работ. Второй участок «Мульда» представляет собой трапецию, разделённую на серию треугольников, вершины которых являются реперными точками. Данный участок охватывает территорию с периметром равным 3897 м, куда входит зона обрушения и зона мульды сдвижения. Каждый из участков состоял из шести век-

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ и Совета по Грантам Президента РФ

торов, и по каждому из них были выполнены измерения длин в среднем 24 раза. По измеренным данным были получены смещения векторов, вертикальные и горизонтальные деформации векторов. Из полученных результатов наблюдения за геодинамической активностью, были вычислены по способу треугольных розеток максимальные величины изменения напряжений на этих участках. Одновременно с выполнением экспериментальных работ на Естюнинском месторождении была выполнена очередная серия наблюдений за процессом сдвижения.

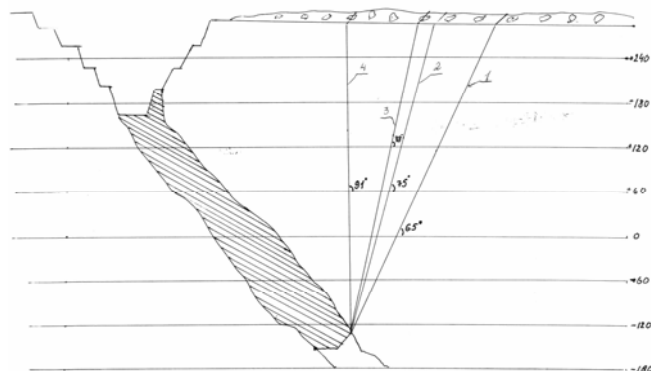
Естюнинское месторождение расположено в Тимано-Кокчетавской тектонической зоне с оперяющимися её нарушениями, одним из которых является региональный Туринский разлом представляющий собой зону повышенной трещиноватости. Также на месторождении широко представлены пострудные нарушения более низких порядков, которые создали блоковую структуру рудных участков месторождения. Естюнинское месторождение состоит из системы пластообразных кулисообразно залегающих рудных тел с углом падения рудных тел 40-75°, на месторождении разведано 14 рудных тел. Вмещающие породы очень крепкие и склонны к горным ударам ( $f = 14\div 18$ ), имеющие согласный угол падения с рудными телами. Первоначально месторождение обрабатывалось открытым способом, начиная с 1976 года - подземным способом. К настоящему времени полностью отработан горизонт -60 м и практически дорабатывается горизонт -120 м, основная добыча ведётся по горизонту -180 м и начали разрабатывать горизонт -240 м. С углублением горных работ и смещением их за контур бывшего карьера висячем боку месторождения образовалась породная консоль над выработанным пространством. На сегодняшний день производительность шахты составляет чуть больше млн т рудной массы, в перспективе с понижением горных работ на нижележащие горизонты производительность шахты предполагается довести до 4 млн т рудной массы в год.

В связи с изменением способа обработки месторождения, на подрабатываемой территории с 1976 года были организованы инструментальные наблюдения за процессом сдвижения горных пород. По различным причинам наблюдательная станция на месторождении претерпела несколько реконструкций, к настоящему времени состоит из двух участков -

восточного и западного. Восточный участок представлен профильной линией, заложенной по простиранию рудного тела, и состоящей из 19 реперов. Западный участок расположен висячем боку на отвале горных пород вкрест простирания рудного тела и представлен тремя профильными линиями, на которых в общей сложности расположено 24 репера. Исходной информацией о развитие процесса сдвижения горных пород в режиме мониторинга по двум профильным линиям является 1996 год, по двум другим линиям – результаты за 2000 год. Наблюдательная станция была увязана в единую систему координат с пунктами шахтной полигонометрии, где опорным репером был выбран один из пунктов шахтной полигонометрии.

Мониторинг за развитием процесса сдвижения выполнялся как с использованием традиционной технологии, так и с использованием GPS-технологии. В обоих видах случаях использовалась одна и та же наблюдательная станция. Проведение мониторинга с использованием традиционных геодезических инструментов включает в себя измерение вертикальных перемещений реперов и расстояний между ними. Для определения высотного положения реперов наблюдательной станции использовался высокоточный цифровой нивелир с точностью около 1 мм на 1 км двойного хода. Для измерения расстояний между реперами использовался электронный тахеометр с погрешностью измерения равной, 1-2 мм. Применяемый парк геодезических инструментов в данном виде мониторинга являются разработкой фирмы Sokkia. Мониторинг с использованием GPS-технологии по профильным линиям наблюдательной станции проводился по реперам, где отсутствуют помехи для прохождения спутникового радиосигнала. В данной ситуации помехи создавали участки с высокими деревьями, что делает невозможным точного определения координат реперов методом спутниковой геодезии. Применение GPS-технологии позволяет определить по каждому наблюдаемому реперу величину и направление горизонтального смещения вектора в определённый период времени. При выполнении исследований на месторождении с помощью GPS-технологии было задействовано четыре двухчастотных приёмника GePos RD24 фирмы Sokkia. Камеральная обработка результатов измерений производилась с использованием пакетов фирменного программного обеспечения GPSurvey и TGOOffice, программного комплекса

**Рис. 1. Фактические и нормативные углы сдвига на Естюнинском месторождении:** 1 - нормативный угол; 2 - фактический угол сдвига по разрезу IX; 3 - фактический угол сдвига по разрезу XI; 4 - фактический угол сдвига по разрезу XII



Gamit, а также дополнительного пакета программ разработанных ИГД УрО РАН.

По результатам наблюдений, выполненным по обоим участкам наблюдательной станции традиционным методом за весь период наблюдений равный 95 месяцам, было установлено, что фактическая граница мульды сдвига находится за пределами профильных линий. Кроме того, на дневной поверхности, подконтрольной профильной линии, заложенной по простиранию рудного тела, наблюдается хаотическое появление локальных зон сдвига в границах общей мульды сдвига. На западном участке наблюдательной станции, где ведётся интенсивная добыча, наблюдается плавное приращение величины мульды сдвига. Но при этом в разные временные периоды наблюдения по всем профильным линиям фиксируется концентрация максимальных величин горизонтальных деформаций практически на одних и тех же участках. На рис. 1 показан разрез, где демонстрируется сложившаяся ситуация развития процесса сдвига от выработанного пространства по восточному участку наблюдательной станции, на котором наглядно демонстрируется отставание процесса сдвига от горных работ. На западном участке дневной поверхности наблюдаются незначительные параметры процесса сдвига в связи с незначительными объёмами выработанного пространства. По результатам наблюдений за весь период на восточном участке месторождения от границ выработанного пространства и до интервала реперов, где были инструментально определены величины критических деформаций земной поверхности в соответствии с требованиями предъявляемые «Инструкцией...» [1], был отстроен угол, характеризующий границу опасных деформаций на дневной поверхности по каждой из трёх

профильных линий. Нормативный угол, характеризующий границу опасных деформаций для данного месторождения, в соответствии с «Правилами...» [2] равен  $65^{\circ}$ . По результатам мониторинга с использованием GPS-технологии между первой (2001 г.) и второй (2004 г.) сериями наблюдений были определены длины и направления горизонтальных смещений GPS-векторов каждого наблюдаемого репера. На рис. 2 наглядно продемонстрировано общее направление горизонтального сдвига реперов наблюдательной станции в сторону зоны обрушения. Кроме того, по величинам GPS-векторов хорошо просматривается, что величина горизонтального смещения у реперов 08, 10 и 01 находящихся в зоне критических деформаций больше, чем у остальных реперов.

Проведённый комплекс исследований в режиме мониторинга позволяет провести анализ развития процесса сдвига на Естюнинском месторождении. Сложившаяся ситуация на месторождении характеризуется отставанием фактической зоны опасных деформаций, определённой по результатам инструментальных наблюдений, относительно границы зоны критических деформаций, отстроенных от выработанного пространства по нормативным углам для данного месторождения. Объясняются это, прежде всего, крепостью вмещающих пород, а также согласного угла падения рудных тел и вмещающих пород. В то же время, наблюдается опережение фактической границы мульды сдвига на дневной поверхности от расчётной, отстроенной по нормативным углам от границ выработанного пространства. Основной причиной такого опережения является сочетание техногенных факторов, вызвавших перераспределение вторичных напряжений в

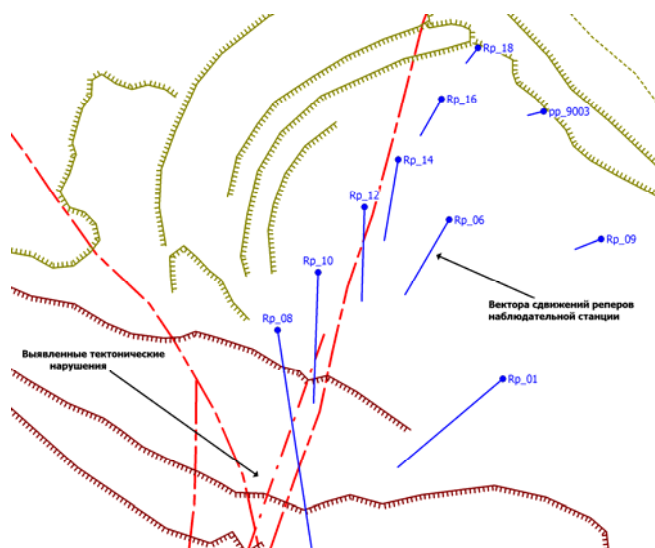


Рис. 2. Схема горизонтальных сдвижений GPS-векторов по реперам наблюдательной станции восточного участка за период с 2001 по 2004 гг.

горном массиве, с естественно-тектоническими напряжениями, которые концентрируются на границах выработанного пространства, в днищах добычных блоков, целиках, межпородных швах и зонах ослабления и проявляются в виде серьёзных геодинамических явлений. Геодинамические явления, зарегистрированные службой горных ударов ГОКа, подразделяются на микроудары, горные удары и тектонические землетрясения, что также является дополнительным источником реализации перераспределения напряжений.

На основе проведённых исследований можно сделать следующие заключения:

- по результатам экспериментальных работ за геодинамической активностью в верхней

части земной коры на Естюнинском месторождении можно с уверенностью сказать, что на данном месторождении есть место как естественно-тектоническим движениям, так и движением техногенного характера. Преобладание одного вида над другим зависит от места расположения исследуемого участка относительно территории подверженной воздействию горных работ;

- выполненный комплекс работ за развитием процесса сдвижения с использованием двух различных методик в режиме мониторинга обеспечивает полный контроль за развитием деформации на земной поверхности;

- превышение фактических углов сдвижения, полученных по результатам инструментальных наблюдений над нормативными пока не является основанием для корректировки углов сдвижения, так как размеры выработанного пространства не превышают глубины разработки и процесс сдвижения пока не получил своего полного развития;

- на современном этапе развития процесса сдвижения проблема охраны объектов от разработки пока не вошла в критическую фазу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. МЦМ СССР. Горное управление: Введ. 03.07. 86. – Разраб. ВНИМИ, НИПИгорцветмет. – М.: Недра. 1988. -111с.

2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на месторождении руд чёрных металлов Урала и Казахстана. Утв. Минметом СССР 02.03. 90. Согл. Госпроматомнадзором СССР 21.06. 90. и Госгортехнадзором Каз.ССР 14.04.90. Свердловск, ИГД МЧМ СССР. -64с.

## Коротко об авторах

Ручкин В.И. – научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург.