

ГОРНОЕ ДЕЛО

МРНТИ 52.13.19

Р.К. Игизбаев¹, М.К. Игизбаев¹, К.Б. Игизбаев¹

¹Разработка полезных ископаемых и возобновляемые источники энергии. Проектирование, г. Алматы, Казахстан.

БЕЗОПАСНОЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ОСВОЕНИЕ НЕДР ЗЕМЛИ ГЛУБОКИМИ КАРЬЕРАМИ

Аннотация. Изложены результаты решения проблем, полученные с помощью применения новой технологии, позволяющей достигать отработку месторождений глубокими карьерами до 2000 м и более, за счет увеличения углов откосов бортов карьера, на основе результатов созданной теории и способов прогнозирования геомеханических катастроф. Также рассмотрены вопросы комбинированной разработки оставшихся запасов проектных потерь, подземным способом. Технология позволяет обеспечить максимальную степень безопасности ведения горных работ, значительно увеличить полноту выемки полезных ископаемых, за счет сокращения проектных и эксплуатационных потерь полезных ископаемых на карьерах до 20-25%, и при комбинированной разработке до 12-15% от общего объема разведанных балансовых запасов месторождения, значительно сократить себестоимость добычи 1т полезных ископаемых, и др.

Ключевые слова: Откос, уступ, борт, прогноз, превенция, сетка скольжения, геомеханическая катастрофа, проектные и эксплуатационные потери.

• • •

Түйіндіме. Тау-кен ғылымы мен практикасы тарихында тұңғыш рет, авторлар жасаған теорияға сүйене отырып, 2000м немесе одан да терең карьерлермен қазып алуға мүмкіндік беретін жаңа технологияны қолдана отырып, авторлар алған проблемаларды шешу нәтижелері ұсынылды мансап өрістерінің дамыған кеңістігінде геомеханикалық апаттарды болжау және алдын алу әдістері. Жоба шығындарының қалған резервтерін жерасты әдісі бойынша бірлесіп игеру мәселелері қарастырылады. Авторлар ұсынған технология карьерлердегі пайдалы қазбалардың жобалық және өндірістік ысыраптарын 20-25% дейін және комбинированным әдіспен 12-15% дейін төмендету арқылы кен қауіпсіздігінің максималды дәрежесін қамтамасыз етуге, өндірудің толықтығын едәуір арттыруға мүмкіндік береді. кен орнының жалпы зерттелген баланстық қорының, 1т пайдалы қазбаларды өндіру құнын едәуір төмендетуге және т.б.

Түйінді сөздер: баурай, кемер, жағдау, болжау, болдырмау, сырғу торы, геомеханикалық апат.

Источник финансирования исследований. Работа выполнена в порядке частной инициативы и является частной собственностью авторов.

Abstract. For the first time in the history of mining science and practice, the results of solving problems obtained by the authors using a new technology for the development of mineral deposits, allowing them to achieve deep mining up to 2000m and more, are presented. Increasing the depth of the quarry is carried out by increasing the angles of slopes of the sides of the quarry, based on the results of their theory and methods for predicting and preventing geomechanical disasters in the developed spaces of quarry fields. The issues of combined development of the remaining reserves of project losses by underground method are also considered. The technology proposed by the authors allows to ensure: the maximum degree of safety of mining operations; significantly increase the completeness of the extraction of minerals, by reducing the design and operational losses of minerals in quarries to 20-25%, and with combined development to 12-15%, of the total explored balance reserves of the field; significantly reduce the cost of production of 1 tons of minerals; and etc.

Keywords: Slope, ledge, side, forecast, prevention, slip grid, geomechanical disaster, design and operational losses.

Введение. Интенсивная добыча полезных ископаемых, которая имеет место в настоящее время в горнодобывающей практике, ведет к интенсивному истощению разведанных балансовых запасов полезных ископаемых, которые являются не возобновляемыми минеральными ресурсами. Решение проблемы восполнения минерально-сырьевых ресурсов возможно следующими путями. В одном случае, это выделение значительных финансовых средств на поиск и разведку новых месторождений и введения их в эксплуатацию. В другом случае, это наиболее полное извлечение уже ранее разведанных балансовых запасов полезных ископаемых, с обеспечением максимально возможного безопасного способа выемки полезных ископаемых из недр земли, что в свою очередь, зависит от уровня современного проектирования систем подземной и открытой разработки. Современное проектирование этапов и стадий, основных и вспомогательных технологических процессов открытой и подземной систем разработок, основаны на введении в расчеты усредненных физико-механических свойств горных пород, однородных математических моделей важнейших критериев геометрических, физико-механических моделей, полей разрабатываемых пространств недр земли, и др., и выполняются они на устаревших ныне, научных концепциях. Применительно к открытым горным работам, одним из важнейших параметров отработки являются углы откосов бортов карьеров, которые также рассчитываются на основе усредненных показателей физико-механических свойств горных пород и однородных математических моделях. И как правило, углы откосов бортов карьеров согласно этим расчетам [1-5] а также ре-

комендуемым по нормативным документам: инструкциям, ЕПБ, LOP, и др. документам [6-10], на горнодобывающих предприятиях варьируют в пределах 29° - 60° , при этом, нерабочие откосы бортов карьеров, допускается применять на основе проведения научно-исследовательских работ. Принципиальных отличий при расчете углов откосов бортов карьеров по этим методикам – нет. Преимущественно, имеющие фактические значения углов откосов бортов карьеров на действующих горнодобывающих предприятиях варьируют в вышеуказанных пределах и подтверждаются исследованиями [11, 12]. Применением таких проектов (типовых технических проектов) имеем карьеры с малыми значениями их глубин, малых значений углов откосов бортов, проявлений геомеханических катастроф, увеличенных объемов вскрышных работ, и др. И это мировой опыт проектирования открытых горных работ, их этапов, а также основных и вспомогательных технологических процессов. При разработке мощных геологических тел твердых полезных ископаемых и таких значениях углов откосов бортов карьера, проектные потери полезных ископаемых, в бортах карьера и по его глубине, будут в среднем составлять до 72%, а эксплуатационные потери формируются в процессе отработки месторождений, вследствие однородных и/или гетерогенных геомеханических катастроф и их показатели необходимо рассчитывать индивидуально, на каждом отдельно взятом месторождении. Так, на Верхнекамских месторождениях – одних из лучших в мире – в недрах теряется 60-70% и более балансовых запасов [13].

Максимально возможная глубина разработки месторождений открытым способом, при углах откосах бортов карьера, в пределах 29° и прогрессивного в настоящее время угла 55° , средней ширине карьера по верху составляющей до 2,42 км, должна составлять, соответственно, 600 м и 1500 м. Однако, в практике разработки месторождений открытым способом, вследствие применения результатов типовых технических проектов и происхождения однородных и/или гетерогенных геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей, карьеров с соответствующими вышеуказанным глубинам – нет.

При подземной разработке месторождений, наиболее распространенной являются системы с открытым выработанным пространством, в частности, камерно-целиксовая, которая характеризуется относительно низкой себестоимостью, высокой производительностью, и удельный вес которой, составляет 25% в общей структуре способов подземной добычи полезных ископаемых. При разработке камерно-целиксовыми системами разработки, проектные потери достигают до 25-30 % от разведанных балансовых запасов в

изолированных целиках, и достигают 40% и более, при оставлении сплошных целиков. При применении изолированных целиков из оставшихся 75-70% балансовых запасов, вследствие происхождения гомогенных геомеханических катастроф, эксплуатационные потери достигают 50% и более на многих месторождениях. Тогда эксплуатационные потери балансовых запасов, составляют 35-37 % от общих разведанных запасов. Суммарное значение проектных и эксплуатационных потерь при оставлении изолированных целиков, составляют 62,5-65 %. При оставлении сплошных целиков, из оставшихся общих 60% балансовых запасов, вследствие происхождения гомогенных геомеханических катастроф, на многих месторождениях эксплуатационные потери балансовых запасов достигают 50% и более, и составляет 30% от общих балансовых запасов полезных ископаемых. Тогда общие потери, при оставлении сплошных целиков, составляют 70% от балансовых запасов. То есть, из разведанных балансовых запасов полезных ископаемых, выемке подвергаются (37,5-35) % в изолированных целиках, и 30% в сплошных целиках.

Месторождения твердых полезных ископаемых отрабатываемые открытым способом, имеют глубины простираения разведанных балансовых запасов полезных ископаемых на глубины 2 км и более: месторождения Кузбасса, месторождения железных руд Курской магнитной аномалии, рудник Удачный, глубина карьера $H_k=640$ м, ширина карьера по верху $B=2$ км (Россия); месторождения железных руд Тургайского прогиба, месторождения Каратауских фосфоритов (Республика Казахстан); меднорудные месторождения, рудник Бингем (США) $H_k=1200$ м, ширина по верху $B=4$ км; карьеры – Эскондида Пит $B=2,7$ км и $H_k=645$ м и Эскондида Норт (Чили), месторождение Грасберг, $H_k=550$ м и многие др. При этом достаточно значительная часть разведанных балансовых запасов полезных ископаемых, оставляемые в недрах земли проектантами, списываются в проектные потери. Этими проектами предусматриваются, что оставшиеся по глубине и в бортах карьера разведанные балансовые запасы полезных ископаемых будут отработаны подземным способом. То есть, эти запасы в виду несовершенства выполняемых типовых технических проектов списываются фактически в безвозвратные проектные потери, потому как, вследствие отсутствия безопасной технологии подземной отработки полезных ископаемых оставшихся после открытой разработки, эти месторождения консервируются. Генпроектировщики типовых технических проектов не рассматривают вопросы дальнейшей безопасной разработки консервируемых месторождений подземным способом, а также их экономической целесообразности.

Как видно, никакой речи не может быть о рациональном использовании недр земли, если при открытых и подземных горных работах в недрах земли, списываются в проектные и эксплуатационные потери до 72% и 65-70%, от общего объема разведанных балансовых запасов полезных ископаемых, вследствие применения результатов типовых технических проектов.

Проведение геолого-разведочных работ по поиску новых месторождений, это актуальная в настоящее время проблема. Резервы по возврату в добычу полезных ископаемых, в первую очередь, необходимо производить на горнодобывающих предприятиях, со значительным уменьшением проектных и эксплуатационных потерь и обеспечением высокой безопасности ведения горных работ, с увеличением глубины разработки, за счёт увеличения углов откосов бортов карьеров, путем внедрения предлагаемых авторами технологий.

При проектировании этапов и стадий, основных и вспомогательных технологических процессов, единичных параметров систем отработки месторождения, их конкретных мест заложения, с учетом ориентировок их, необходимо учитывать кусочно-непрерывный характер изменений геометрических, структурно-тектонических форм, а также обусловленных ими физических полей, поверхностей линий скольжений литологических разностей слагающих месторождение, и др., и на основании этого, необходимо значительно увеличивать глубину разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом, за счет увеличения углов откосов бортов карьеров. Увеличение углов откосов бортов карьеров должны быть выполнены с учетом того, что оптимизация конструкций бортов карьеров должна базироваться на учете реальных физико-механических свойств слагающих его литологических разностей, нарушенности массивов горных пород и гидрогеологических условий, а также технологии разработки, что и является целью достижения применения технологии авторов. В этом случае будет обеспечена максимально возможная полнота выемки разведанных балансовых запасов полезных ископаемых, с обеспечением максимальной степени безопасности его отработки.

Объектами, на которых возможно применение предлагаемых авторами технологий, могут быть: новые, вновь проектируемые, действующие, находящиеся на стадии консервации, законсервированные месторождения полезных ископаемых, на которых списываются или ранее были списаны в безвозвратные проектные и эксплуатационные потери значительные объемы разведанных балансовых запасов полезных ископаемых и которые представляют экономический интерес для их дальнейшей разработки.

Основные факторы оказывающие влияние на устойчивость бортов откосов карьера и причины возникновения гомотенных геомеханических катастроф. На устойчивость откосов уступов и бортов откосов карьера влияют следующие основные факторы: вредное воздействие подземных вод на породы слагающие борт карьера; вредное воздействие проводимых массовых взрывов; отсутствие реальных математических моделей между формами разрабатываемых участков пространств недр земли к их физико-механическим свойствам (геомеханический фактор). В статье авторы рассматривают геомеханический фактор, являющийся основным, при обеспечении прочности (устойчивости) откосов уступов и бортов откосов карьера и решается он применением разработанных авторами способов прогнозирования и превенции гомотенных и/или гетерогенных геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей, и принятием на основании этого, наиболее оптимальных схем вскрытия, системы разработки, направлений развития фронтов горных работ, с определением осей понижения горных работ, ликвидации искусственно созданных и управляемых опасных очагов обрушений, и др., с целью исключения этих негативных проявлений.

Цель данных научно-технических мер – обеспечение максимальной безопасности ведения горных работ, максимально возможной полноты выемки, снижения себестоимости добычи 1 т, при открытой, подземной и комбинированной системах разработки.

Методы исследований. Методы математической теории топоповерхности; Методы математической геотектоники [14]. Разработанные авторами на основе сочетания перечисленных выше двух методов, а также методов Механики деформируемых сред (Теории упругости и Теории пластичности) – методов новой ветви науки Механики месторождений полезных ископаемых [15-20]. Научной основой созданной авторами теории и способов прогнозирования и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных и шахтных полей, а также включающей комбинированную систему разработки, служила разработанная научным руководителем, кандидатом технических наук К.Б. Игизбаевым: «Геоструктурной теории прочности и их хрупко, а также псевдопластического разрушений конструкций систем подземной и открытой эксплуатации месторождений полезных ископаемых, сложенных множествами криволинейно-анизотропных геологических тел полезных ископаемых и вмещающих пород».

Результаты исследования. Многолетними исследованиями авторов и ведущих специалистов геомехаников во всем Мире выявлено отсутствие технологий на основании которых возможно

выполнить прогнозирование и превенцию геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных и шахтных полей. Авторами открыт закон хрупкого, а также псевдопластического разрушений анизотропных скальных массивов горных пород, при внесении в них конструкций открытой или подземной систем разработок. Разработана и апробирована теория прочности криволинейно-анизотропных скальных массивов горных пород, тогда как в настоящее время существует только лишь теория прочности для изотропных тел. Предлагаемые технологии не имеют мировых аналогов и являются пионерскими, а также не нуждаются в проведении дополнительных экспертиз на их техническую осуществимость.

Для понимания сути технологии авторов, введем следующие понятия и определения. К понятию глубокий карьер относятся карьеры имеющие глубину 1200 м и более, и принят он авторами, на основании существующего в настоящее время самого глубокого карьера «Бингем». **Линии скольжений** – следы максимальных касательных напряжений, которые характеризуют наиболее прочное (устойчивое), естественное состояние выработанного пространства. **Углы естественных откосов** выработанных пространств скальных и полускальных горных пород, при открытой и подземной системах разработки, определяются максимальными величинами углов падений одной из систем линий скольжений, являющимися следами максимальных касательных напряжений, либо в сторону выработанного пространства, либо в сторону нетронутого массива горных пород и ограничиваются поверхностями подошвы и кровли горных выработок. В зависимости от этого, для условий открытой разработки, углы естественных откосов уступов скальных и полускальных горных пород могут принимать значения величин углов откосов в пределах $(45-90)^{\circ}$, а также могут принимать и отрицательные значения углов естественных откосов выработанных пространств. Они характеризуют собой наиболее прочное (устойчивое) естественное состояние выработанного пространства, и приводят окружающее его пространство в равновесно-устойчивое положение. Для условий открытых горных работ, совокупность множеств значений естественных углов откосов уступов различных литологических разностей скальных и полускальных горных пород, определяют естественные углы откосов бортов карьера. Углы естественных откосов выработанных пространств рыхлых отложений определяются прочностью (устойчивостью) подстилающих их массивов скальных и полускальных горных пород. Для условий подземной разработки – угол естественного откоса целика и кровли камер.

Описание технологии. Прочность (устойчивость) выработанного пространства при открытой или подземной системе разработок не определяются единичными замерами физико-механических свойств горных пород или же их усредненного значения, а также применениями в расчетах однородных математических моделей, которые применяются при моделировании бортов откосов карьеров, а определяются направлениями и ориентациями поверхностей линий скольжений (сетки скольжений), или же, что то же самое, следами максимальных касательных напряжений, разрабатываемых авторами, относительно самого выработанного пространства и массивов нетронутых горных пород, конкретно слагающих месторождение тектонических структурных форм, и которые ограничиваются линиями подошвы и кровли конструкций систем открытой и подземной разработок. Изменение направлений и ориентаций линий скольжений в массиве горных пород относительно выработанных пространств и нетронутых массивов, характеризуют изменение прочностных и деформационных свойств горных пород, вследствие чего расчеты авторов основываются не на усредненных или же единичных замерах значений физико-механических свойств горных пород, а учитывают направления, значения и изменения вышеуказанных свойств массивов горных пород, которые и определяют прочность (устойчивость) конструкций выработанных пространств, при внесении их в пространство недр подвергаемых очистной выемке.

Прочность (устойчивость) выработанных пространств карьерных полей определяется объединением совокупности множеств естественных углов откосов уступов, которые представляют генеральную поверхность устойчивости выработанных пространств карьерных полей, и в свою очередь, они определяют углы естественных откосов бортов карьера. Разработан метод их расчета в планах и разрезах горных работ, который представляет отображения их в виде сеток скольжений. (Рисунки 1-3). После построения сетки скольжений, построение естественных устойчивых углов откосов уступов и естественных устойчивых углов бортов откосов карьера, будет сводиться к простому подбору их из множества разно ориентированно построенных линий скольжений, как рудных, так и породных литологических разностей. Естественные углы откосов уступов согласно расчетно-определенных линий скольжений, после принятия технических мер, связанных с определением осей понижений и направлений развития фронтов горных работ и др., будут принимать преимущественно углы равные 90° , и при всем своем желании, придать этому углу меньшее значение, не приведет к желаемому результату.

На рисунке 1 приведена разработанная сетка скольжения построенная на основе геологических материалов одного из железорудных месторождений, с указанием опасных очагов обрушений - (1-14), соответствующих ведению горных работ на основе типового технического проекта, с расположением капитальной траншеи, в данном случае, по центру карьера и понижением горных работ по оси I-I, а также направлениями развития фронтов горных работ в двух направлениях - западном и восточном. В данном случае, незнание конфигураций и пространственных дислокаций опасных очагов обрушений, законов их разрушений, а также ведения горных работ по типовому техническому проекту, повлечет за собой проявления геомеханических катастроф, с разрушением уже оформленных контуров карьерного поля, вследствие несоответствия вновь получаемых форм выработанных пространств согласно типового проекта. Геомеханические катастрофы будут сопровождаться совершениями сдвиговых деформаций вышележащих горизонтов с разрушением рабочих площадок, а также их откосов уступов, и бортов откосов карьера. Это повлечет за собой затраты на восстановление и разноску вышележащих горизонтов, внесения изменений в контуры проектного карьерного поля, изменения проектных глубин карьера и уменьшения углов откосов уступов и бортов откосов карьера.

Рассмотрим разработку данного месторождения полезных ископаемых на основе типовых технических проектов, с углами откосов бортов карьеров $\alpha=29^\circ$, прогрессивного в настоящее время угла $\alpha=55^\circ$, их средневзвешенного значения $\alpha=42^\circ$, на максимально возможные глубины отработки месторождения, $H_k = 600\text{м}$, $H_k = 1000\text{ м}$, $H_k = 1500\text{м}$, при ширине карьера по верху равной 2420м. (Рисунок 2) При этом авторы изначально закладывают в расчеты, условия исключаящие геомеханические катастрофы на карьерах, путем применения способов прогнозирования и превенции геомеханических катастроф разработанных по предлагаемой технологии, с углами откосов бортов карьера равных $\alpha=29^\circ$, $\alpha=55^\circ$, их средневзвешенного значения $\alpha=42^\circ$, разработанных по типовым техническим проектам, и как следствие, отсутствия эксплуатационных потерь полезных ископаемых. Данное условие авторы допускают из предположения, что мы не знаем, какие технические меры предпримет инженерный персонал горнодобывающего предприятия, на котором произойдут геомеханические катастрофы, но в любом случае, данное условие, значительно улучшает технико-экономические показатели, выполненные по типовым техническим проектам. На рисунке 2 предлагается схема вскрытия данного карьерного поля разрезными траншеями по линиям: I, II, III, IV, V, VI,

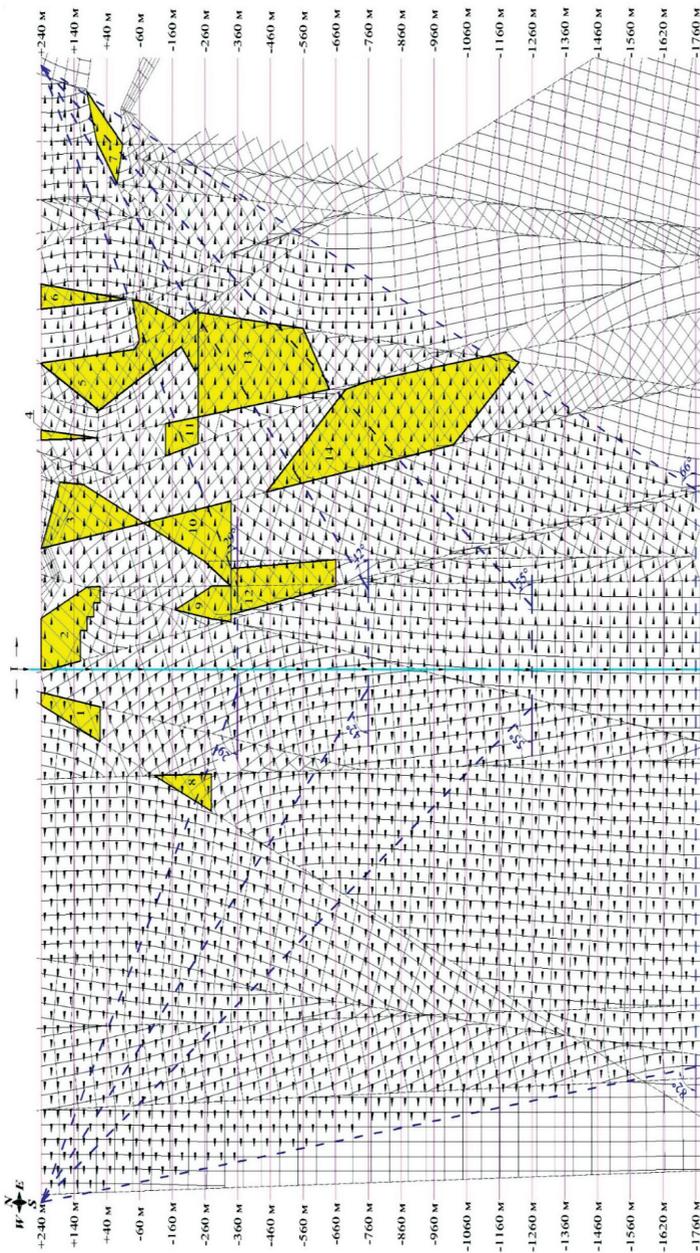
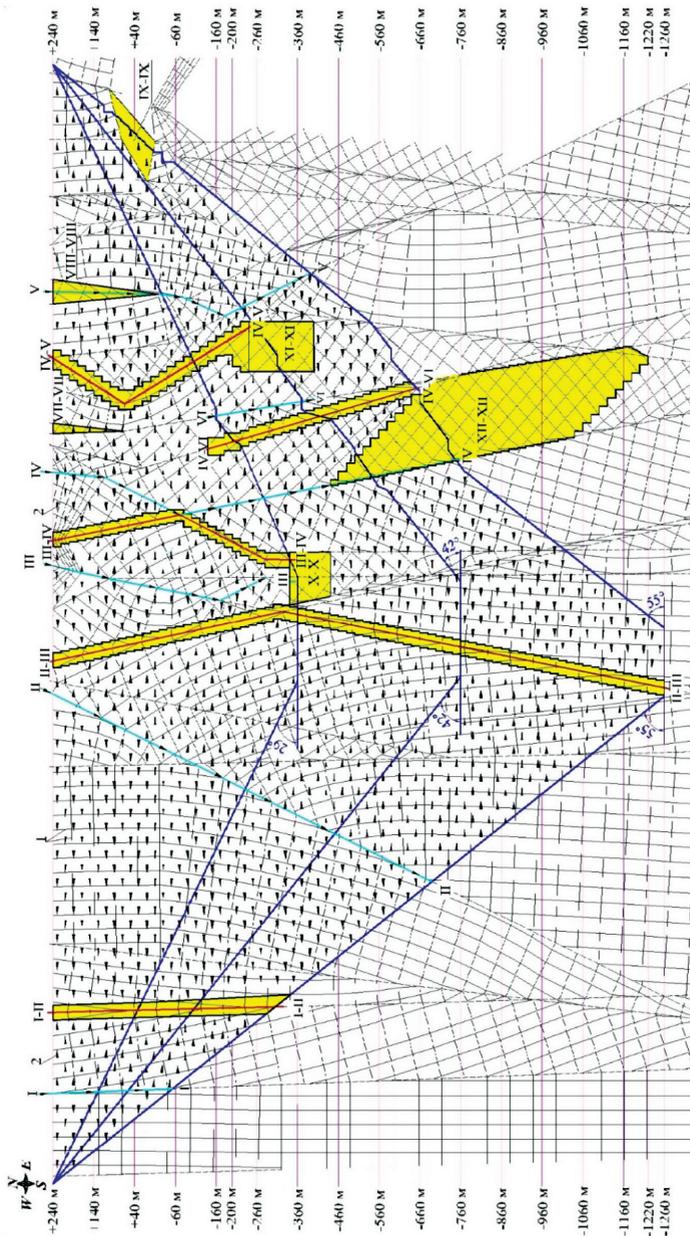


Рисунок 1 - Конфигурация и пространственные дислокации опасных очагов обрушений (1-14), имеющие место при разработке месторождения согласно типового проекта с осью понижения горных работ по центру месторождения, по линии I-I, и развитии направлений фронтов горных работ в западном и восточном направлениях, на проектные глубины, с углами откосов бортов карьера, $\alpha=29^\circ$, $\alpha=55^\circ$, и их средневзвешенного значения $\alpha=42^\circ$, а также разработанных по данной технологии $\alpha_n=82^\circ$ и $\alpha_p=66^\circ$.

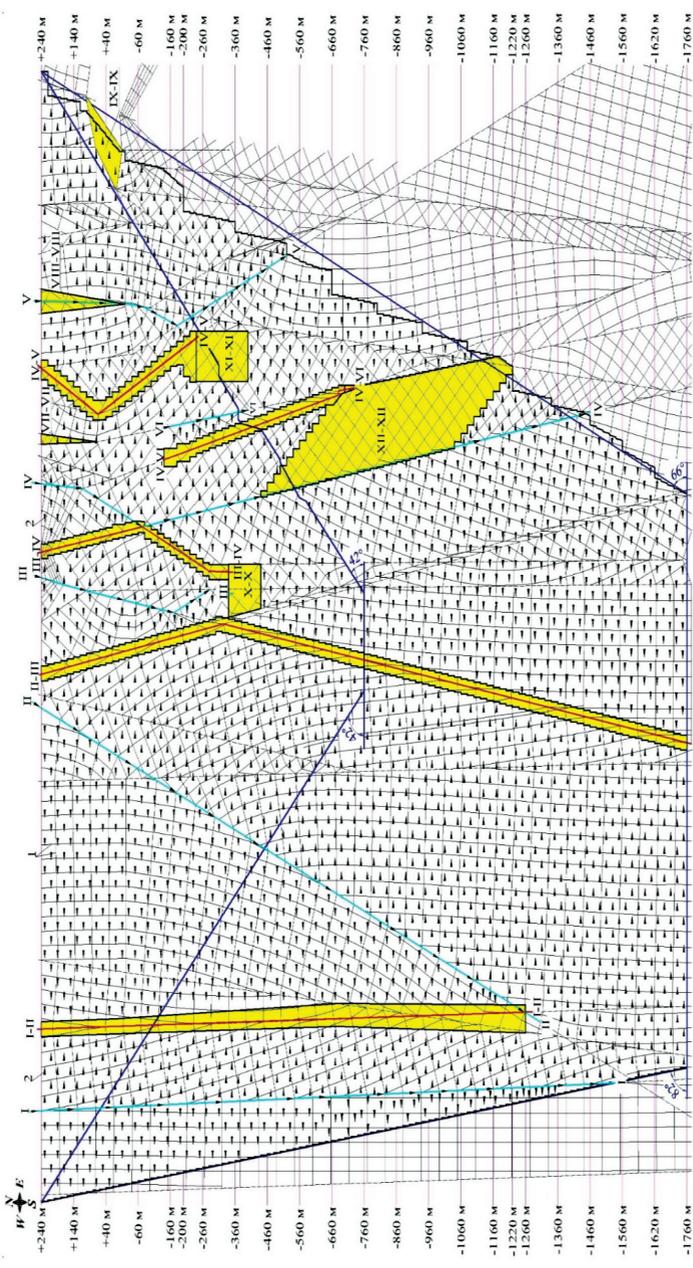
с указанием их глубин и направлений развития горных работ, которые в конечном счете будут формироваться в одну капитальную траншею, по технологии авторов. Ликвидация опасных очагов (X-X), (XI-XI), (XII-XII), возможна двумя способами. В областях оформления конечных контуров, для углов бортов карьеров 29° , 42° и 55° , необходима отработка их с подступной выемкой, с высотой уступа 10м, а в остальных случаях их единовременным погоризонтным взрыванием. Кроме того, отбойка этих опасных очагов обрушений требует разработки специальных проектов проведения буровзрывных работ, в целях исключения подбоя рабочей площадки, а также откоса уступа вышележащих горизонтов. Результатами этого, являются применение технических мер по предлагаемой технологии, которые предусматриваются на восточных бортах карьеров с углами равных $\alpha=29^{\circ}$, $\alpha=55^{\circ}$, $\alpha=42^{\circ}$, по предотвращению геомеханических катастроф на отметках, соответственно, гор.: (-160м)-(-220м), (-340м)-(-360м); гор.: (-240м)-(-440м), (-500м)-(-580м); гор.: (+90м)-(-10м), (-420м)-(-710м).

На рисунке 3 предлагается схема вскрытия данного карьерного поля разрезными траншеями и понижениями горных работ по линиям: I, II, III, IV, V, VI, с указанием их глубин и направлений развития фронтов горных работ, которые в конечном счете будут формироваться в одну капитальную траншею. Именно при такой схеме понижения горных работ и совокупности соответствующих им схем направлений развития фронтов горных работ, последовательности отработки геолого-структурных блоков, будут исключены гомогенные и/или гетерогенные геомеханические катастрофы в выработанных пространствах карьерных полей. При отработке данного месторождения, по технологии авторов, опасные очаги (X-X), (XI-XI), (XII-XII), полностью включены в контур карьерного поля и подлежат их отработке, без оставления этих опасных очагов обрушений в прибортовой части карьерного поля. На рисунках 2,3. приведены технические меры, когда изменениями схем вскрытий, систем разработки и направлений развития фронтов горных работ, эти опасные очаги преобразуются в безопасные. Разрабатываются искусственные, управляемые опасные очаги: (I-II)-(I-II), (II-III)-(II-III), (III-IV)-(III-IV), (IV-V)-(IV-V), (IV-VI)-(IV-VI), (VII-VII), (VIII-VIII), (IX-IX), (X-X), (XI-XI), (XII-XII), которые легко ликвидируются путем их единовременного погоризонтного взрывания. Углы естественных откосов уступов, при разработанных направлениями развития горных работ, будут преимущественно составлять углы равные 90° .

Построенная сетка скольжений позволяет использовать ее по применимости различных высот уступов. Данное месторождение можно отработать с высотой уступа 40 м или же применением вы-



1 – линии скольжений; 2 – направления развитий фронтов горных работ: I-I, II-II, III-III, IV-IV, V-V, VI-VI – оси понижений горных работ на участках: I, II, III, IV, V, VI; (I-II)-(I-II), (II-III)-(II-III), (III-IV)-(III-IV), (IV-V)-(IV-V), (V-VI)-(V-VI), VII-VII, VIII-VIII, IX-IX, X-X, XI-XI, XII-XII – искусственные, управляемые опасные очаги обрушений, разработанные по технологии авторов. Рисунок 2 - Предлагаемые технические меры, с применением которых будут исключены гомогенные и/или гетерогенные геомеханические катастрофы по результатам типовых проектов, с расчетными значениями углов откосов бортов карьеров: $\alpha=29^\circ$, $\alpha=55^\circ$, и их средневзвешенного значения $\alpha=42^\circ$.

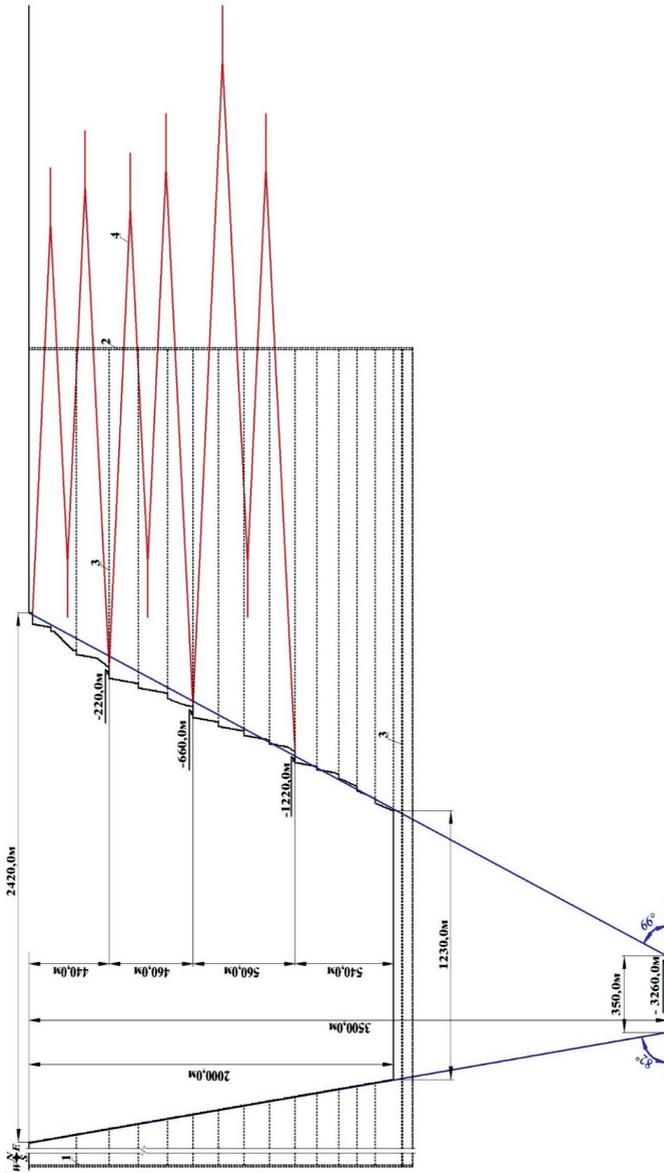


1 – линии скольжения; 2 – направления развития фронтов горных работ; I, II, III, IV-V, V-VI, VI-VI – оси понижений горных работ на участках: I, II, IV, V, VI; (I-II)-(I-II), (I-III)-(I-III), (II-III)-(II-III), (III-IV)-(III-IV), (IV-V)-(IV-V), (IV-VI)-(IV-VI), VII-VII, VIII-VIII, IX-IX, X-X, XI-XI, XII-XII – искусственные, управляемые опасные очаги обрушений, разработанные по технологии авторов.

Рисунок 3 - Предлагаемые технические меры, с применением которых будут исключены гомогенные и/или гетерогенные геомеханические катастрофы при разработке глубоких карьеров, с расчетными значениями углов откосов бортов карьеров: $\alpha_n = 82^\circ$, $\alpha_p = 66^\circ$.

соких уступов 50–60 м. Для отработки месторождений 40 м и 50–60 м уступами в настоящее время эксплуатируются экскаваторы, позволяющие отработку таких уступов без нарушений ЕПБ и ПТЭ, и др. Это в свою очередь, позволит: уменьшить сроки ввода в эксплуатацию горнодобывающего предприятия, путем обеспечения быстрого вскрытия и подготовки к выемке полезных ископаемых; сократить число циклов технологических процессов при добыче полезных ископаемых; увеличить скорость понижения горных работ; и др. Для обеспечения высокой производительности работ экскаваторов с высокими значениями максимальных высот черпания, достигающих 50–60 м, будут необходимы использования мощных автосамосвалов, бурового оборудования с большими диаметрами бурения и показателями глубин бурения, нежели имеющихся в настоящее время, и др. То есть, необходимо полное техническое перевооружение горного оборудования, что повлечет за собой развитие горной машиностроительной отрасли промышленности. Полученные технико-экономические результаты при разработке данного месторождения по типовым техническим проектам с углами откосов бортов карьеров равных $\alpha=29^\circ$, $\alpha=55^\circ$, их средневзвешенного значения равного $\alpha=42^\circ$, сравним с получаемыми показателями по технологии авторов, с углами откосов бортов карьера: нерабочего $\alpha_n=82^\circ$, и рабочего $\alpha_p=66^\circ$, которые приведены в таблицах 1–2. Теоретические основы прогнозирования и превенции геомеханических катастроф с обоснованием: схем вскрытия, системы разработки, выбора направлений развития фронтов горных работ, перечня технических мер по ликвидации проявлений последствий обрушений опасных очагов приведены в публикации [17].

При отработке месторождений глубокими карьерами будут возникать проблемы связанные: со вскрытием глубоких горизонтов, осушением месторождения и проветриванием глубоких горизонтов. Вскрытие глубоких горизонтов. Для обеспечения высокой производительности горнодобывающего предприятия, глубокие горизонты: -200м, -660м, -1220м будут вскрываться железнодорожными тоннелями (далее, ж/д тоннелями), с обустройствами на этих горизонтах 3–5 перегрузочных складов, с выходами их на дневную поверхность с отметкой +220м. Проходка ж/д тоннелей будет проводится после районирования трассы их строительства по степени прочности массивов горных пород, с минимальными затратами на обустройство железобетонного крепления тоннелей. Строительство ж/д тоннелей производится в три очереди. (Рисунок 4). Первая очередь строительства ж/д тоннелей с выходом на отметку -200м должна быть построена на момент понижения горных работ ниже отметки -200м, и также, соответственно, и для строительства тоннелей с выходами на горизонты -660м и -1220м. Ж/д тоннели будут построены



1 – западный ствол; 2 – восточный ствол; 3 – горизонтальные горные выработки; 4 – железнодорожные тоннели.

Рисунок 4 - Разработка месторождений глубоким карьером 2000 м и комбинированной подземной системой разработки, со вскрытием глубоких горизонтов железнодорожными тоннелями и обеспечением осушения подземным дренажным комплексом

отдельно для грузовых и порожних ж/д составов. Проходка порожних и грузовых ж/д тоннелей будет осуществляться с попутной добычей полезных ископаемых. По мере понижения горных работ, на каждом из вышеуказанных горизонтах будет оставлено по 1 перегрузочному складу, с целью транспортировки руды добываемой подземным способом, что позволит максимально увеличить производительность подземных горных работ и снизить себестоимость добычи подземным способом. Максимально возможная глубина отработки данного месторождения по технологии авторов достигает глубины до 3500м, при оставлении ширины карьера по верху 2420 м. **Опыт работы.** К.Б. Игизбаевым были внесены изменения в технический проект генерального проектировщика по расчету и обоснованию рациональной конструкции крепи ж/д тоннелей Сарбайского карьера, с сокращением сроков ввода их в эксплуатацию [18].

Решение **проблем осушения** предусматривается строительством и эксплуатацией кольцевого дренажного комплекса. **Опыт работы.** К.Б. Игизбаевым разработана теория и способ осушения сильно обводненных месторождений полезных ископаемых и были проведены положительные промышленные апробации, внедрения и получены положительные результаты, на предприятиях Соколовский подземный рудник, Качарское, Васильковское месторождения, уранового рудника Восточный. В свое время, научным руководителем К.Б.Игизбаевым, путем внесения изменений в проект осушения и системы разработки, выполненного Генеральным проектировщиком Соколовского подземного рудника, было предотвращено затопление рудника подземными водами, с изменением системы разработки. Экономический эффект при осушении Соколовского подземного рудника при внедрении технических мер разработанных Игизбаевым К. Б. составил 11 млн. долл. [19]. После начала отработки месторождения подземным способом, резко сократятся расходы на осушение месторождения, поскольку можно будет начать затопление нижних горизонтов, как карьера, так и отработанных подземных горных выработок. Проветривание карьера будет предусмотрено путем естественного и искусственного проветриваний. Оставшиеся проектные потери полезных ископаемых от общих разведанных балансовых запасов полезных ископаемых месторождения, после отработки его открытым способом, будет произведено путем его подземной выемки. После районирования шахтного поля по степени прочности, авторами будут выбраны наиболее оптимальные системы разработки. Предварительно, на основе имеющейся сетки скольжения рекомендуются основные системы разработки – камерно-целиковая, этажно-камерная система разработки с последующей закладкой выработанного пространства. При разработке технического проекта, выемка полезных

ископаемых подземным способом будет пополнена наиболее экономически целесообразными системами разработки, исходя из условий геологического строения рудного тела. Было разработано предпроектное решение отработки Акжалского месторождения подземным способом, с обоснованием выбора системы разработки и улучшением технико-экономических показателей, когда себестоимость добычи подземным способом сократилась по сравнению с открытой разработкой [20]. В таблицах 1, 2 приведены технико-экономические показатели получаемые при разработке месторождений полезных ископаемых глубокими карьерами и комбинированной подземной системой отработки, выполненные авторами, в сравнении с показателями получаемыми по типовым проектам.

Таблица 1 - Техничко-экономические показатели получаемые при разработке месторождений глубокими карьерами по предлагаемой технологии в сравнении с типовыми проектами

	Отработка карьера глубиной 2000 м. Углы бортов откосов: рабочий - 66°, не рабочий - 82°	Отработка карьера по типовым проектам, при различных углах бортов откосов		
		рабочий - 29°, не рабочий - 29° глубина 600 м	рабочий - 55° не рабочий - 55° глубина 1500 м	рабочий - 42° не рабочий - 42° глубина 1000 м
Объемы железной руды в контуре карьерного поля, при объеме запасов в 6000 млн.т, млн.т / %	4601 / 76,6%	1007 / 16,8 %	2497 / 41,61%	1669 / 27,81%
Объемы полезных ископаемых списываемых в безвозвратные проектные потери млн.т / %	1399 / 23,3%	4993 / 83,2%	3503 / 58,38%	4331 / 72,19%
Выручка от реализации железной руды с содержанием железа 60%, при стоимости 60 долл./т, млн. долл.	276060	60420	149820	100140
Затраты на добычу открытым способом, при себестоимости 15 долл./т, млн. долл.	69015	15105	37455	25035
Валовая прибыль от продажи руды, млн. долл. / %	207045 / 100%	45315 / 21,88%	112365 / 54,27%	75105 / 36,3%
Срок отработки рудных запасов, при производительности 50-75 млн.т/г, год	92,0 – 61,3	20,1 – 13,4	50,0 – 33,3	33,4 – 22,3

Таблица 2 - Технико-экономические показатели от внедрения предлагаемой технологии при разработке месторождений глубокими карьерами и отработки оставшихся объемов проектных потерь подземным способом

	Показатели
Объемы списанные в безвозвратные проектные потери от запасов в 6000, млн. т, при отработке по предлагаемой технологии, млн. т/%	1399 /23,3%
Объемы извлекаемые подземной системой разработки, с учетом проектных потерь - пройденных транспортных выработок, обеспечения прочности углов откосов бортов карьера, и др., составляющих 50%, млн. т	699
Выручка от продаж руд обрабатываемых подземным способом, с содержанием железа 60%, и стоимостью 60 долл./1т, млн. долл.	41970
Средняя себестоимость добычи добываемых по предлагаемой технологии подземным способом стоимостью 20 долл./1т млн. долл.	13990
Валовая прибыль от продаж добываемых по предлагаемым технологиям, млн. долл.	27980
Срок отработки запасов железных руд, по предлагаемым технологиям при добыче 3 млн.т/год, год	233
Общий объем добываемых полезных ископаемых при открытой и подземной разработке относительно разведанных запасов в 6000 млн. т, млн.т./%	5300 /88,34%
Объемы списываемых в безвозвратные проектные потери от объема в 6000 млн.т, млн. т/%	700 /11,66
Общая валовая прибыль от продаж 5300 млн. т, млн. долл.	235025
Общий срок отработки объемов в 5300 млн. т, открытым и подземным способами, год	325-294,3

Примечание. 1. Расчет валовой прибыли полезных ископаемых производится только лишь по его основному компоненту. При учете в расчетах сопутствующих компонентов, валовая прибыль в среднем увеличится на 20% и будет составлять 282030 млн. долл. 2. Сроки отработки оставшихся проектных потерь подземным способом можно значительно сократить путем одновременной совместной отработки месторождения. 3. Цена 1 т железной руды со средним содержанием железа 60%, на товарной бирже на 01.10.2019 г. составляла 60 долл. США.

Обсуждение результатов.

1. При разработке общих объемов разведанных балансовых **запасов полезных ископаемых**, составляющих 6 млрд.т, по типовым техническим проектам, при соответствующих средневзвешенным углам откосов бортов карьера $\alpha=42^\circ$:

- средневзвешенные добываемые объемы в контуре карьерного поля составляют - 27,81%;

- средневзвешенные проектные и эксплуатационные потери - 72,19%; (таблица 1.).

2. При предлагаемой технологии отработки месторождений полезных ископаемых глубокими карьерами, при углах откоса бортов карьера $82-66^{\circ}$:
- объемы добычи в контуре карьерного поля, достигают - 76,6%;
- проектные и эксплуатационные потери составляют – 23,4%; (таблица 1.).

При разработке месторождений глубокими карьерами по технологии авторов, проектные и эксплуатационные потери полезных ископаемых в сравнении с выполненными по типовым техническим проектам, согласно средневзвешенным углам откосов бортов карьера $\alpha=42^{\circ}$, сокращаются в 3 раза.

3. Общие объемы полезных ископаемых, добываемых по предлагаемой авторами технологии с применением глубоких карьеров и комбинированной системой разработки составляют – 88,34%. (таблица 2.).

4. Общие объемы проектных и эксплуатационных потерь полезных ископаемых по предлагаемой авторами технологии с применением глубоких карьеров и комбинированной системой разработки составляют – 11,66%. (таблица 2.).

Проектные и эксплуатационные потери при разработке месторождений твердых полезных ископаемых глубокими карьерами и комбинированной системой разработки выполняемых по данной технологии в сравнении с выполняемыми по типовым техническим проектам, согласно средневзвешенным углам откосов бортов карьера $\alpha=42^{\circ}$, сокращаются в 3,77 раза.

5. Основной причиной невозможности отработки месторождений глубокими карьерами до 2000 м и более, и значительных объемов проектных и эксплуатационных потерь полезных ископаемых, получаемых по результатам типовых технических проектов, до настоящего времени, являются невозможности прогнозирования и превенции, и в результате этого, происхождения гомогенных и/или гетерогенных геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных полей, вследствие отсутствия теорий и способов их прогнозирования и превенции. Этот пробел горной науки восполнен усилиями авторов, разработкой ими готовых к внедрению в производство предлагаемых технологий.

Выводы. Добыча природных ресурсов растет в связи с увеличением численности населения в мире. По оценкам специалистов, рост потребления минеральных ресурсов, как в количественном, так и в «ассортиментном» отношении возрастает примерно на 5% в год. В связи с постепенным истощением легкодоступных, неглубоко залегающих запасов полезных ископаемых, а также снижением финансирования геологоразведочных работ по поиску новых месторождений, и как следствие, снижения прироста сырьевых запасов, вынуждают горнодобывающие компании увеличивать глубину разработок на открытых и подземных горных работах, с целью увеличения полноты выемки и удовлетворения спроса на минеральное сырье. Новизна работы заключается в предложении теорий и способов прогнозирования и превенции геомеханических катастроф в выработанных пространствах карьерных и шахтных полей, позволяющих обеспечить полноту выемки разведанных ба-

лансовых запасов, при разработке месторождений открытым способом и разработки оставшихся проектных потерь комбинированным подземным способом, значительного продления сроков службы предприятий. Технология отработки месторождений глубокими карьерами до 2000 м, за счёт увеличения углов откосов бортов карьера до 66-82°, и, последующей комбинированной подземной разработки проектных потерь полезных ископаемых оставшихся после открытых горных работ, выполненных по результатам районирования карьерных и шахтных полей по степени прочности, позволят сократить проектные и эксплуатационные потери, до значений, соответственно, 20-25% и до 12-15%, от общих объемов.

Список литературы

- 1 Пустовойтова Т.К., Кагермазова С.В. Инженерно-геологическое обеспечение прогноза устойчивости бортов карьеров // Маркшейдерское дело в социалистических странах. - Т. II. - Л.: ВНИМИ, 1988. - С. 250 - 256.
- 2 Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. - М.: Недра, 1976. - 271 с.
- 3 Афанасьев Б.Г. Методика расчета устойчивости откосов с крутопадающей слоистостью. - Л.: ВНИМИ, 1982. - 10 с. / Деп. в ЦНИЭИуголь, 15.06.82., № 2391.
- 4 Сапожников В.Т., Афанасьев Б.Г. Приближенный способ определения параметров устойчивых откосов в массиве с крутопадающей слоистостью // Сдвигение и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород: Сб. науч. тр. - Л.: ВНИМИ, 1982. - С. 35 - 39.
- 5 Мочалов А.М. Оценка устойчивости бортов карьеров по наблюдаемым деформациям // Совершенствование методов расчета сдвижений и деформаций горных пород, сооружений и бортов разрезов при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях: Сб. науч. тр. - Л.: ВНИМИ, 1985. - С. 42 - 52.
- 6 ПБ 03-498-02 Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, Утверждены Госгортехнадзором России – М.: Госгортехнадзор России, 2003. – 146 с.
- 7 Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. - Л.: ВНИМИ, 1972. - 166 с.
- 8 Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах, С.-Пб, ВНИМИ, 1998. – 207 с
- 9 Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. - Л.: ВНИМИ, 1987. - 118.
- 10 Джон Рид, Питер Стейси. Руководство по проектированию бортов карьеров / Австралия, 2011

11 Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Долгонос В.Н., Радей К., Станькова. Мониторинг состояния откосов уступов и бортов карьеров монография /Чешская Республика.: Здибы, 2015.- 350с.

12 Ракишев Б.Р., Ковров А.С., Кожантов А. У., Сейтулы К. Проблема оползней на карьерах // мат.междун. конф. Форум горняков, Днепропетровск, НГУ, 2015 – С. 3 – 9.

13 Методическое руководство по определению, оценке, нормированию и учету показателей полноты и качества разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук Москва, 2012.

14 Гзовский М.В. Математика в геотектонике, Москва, Недра, 1971. – 240с.

15 Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б. Разработка превентивных мер по предупреждению геомеханических катастроф в открытых выработанных пространствах шахт // Комплексное использование минерального сырья – 2008. - №2. – С.3-13.

16 Игизбаев К.Б., Игизбаев М.К., Магер А.Н., Игизбаев Р.К. Происхождение, прогноз и превенция гетерогенных геомеханических катастроф в угольных шахтах» // Мировая наука – 2017. - №7 (7) – С.117-134.

17 Игизбаев Р.К., Игизбаев К.Б., Игизбаев М.К. Прогнозирование и превенция гомогенных геомеханических катастроф на эксплуатационных карьерах (новая технология) // Новости Науки Казахстана – 2019.- №1 (139) – С. 58-84.

18 Игизбаев К.Б., Мунасыпов Х.Н., Гай Г.Ф., Булдаков А.Ф. Рациональная конструкция постоянной крепи тоннелей Сарбайского карьера Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного комбината // Шахтное строительство. – 1983. - №10. –С.11-14.

19 Игизбаев К.Б., Байжанова К.С. Фльтрация подземных вод в тонком пласте к несовершенным колодцам // Вестник Академии Наук Казахской ССР. – 1991. - №10. – С.55-62.

20 Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Игизбаев К.Б., Бахмагамбетов Б., Кабетенов Т., Сабирова Л.Б. Экспресс восполнение выбывающей мощности эксплуатационного карьера (На примере Центрального карьера Акжальского рудника // Комплексное использование минерального сырья – 2010. - №6. – С.3-15.

Игизбаев Р.К. - горный инженер, e-mail: h2oenergy19@mail.ru.

Игизбаев К.Б. - доцент, кандидат технических наук, горный инженер, e-mail: h2oenergy19@mail.ru.

Игизбаев М.К. - горный инженер, e-mail: h2oenergy@m