

УДК 622.83:622.28

**Скипочка С. И.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Паламарчук Т. А.**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Бобро Н.Т.**, магистр,  
**Прохорец Л. В.**, канд. техн. наук  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

**Скіпочка С. І.**, д-р техн. наук, професор,  
**Паламарчук Т. А.**, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,  
**Бобро Н.Т.**, магістр,  
**Прохорец Л. В.**, канд. техн. наук  
(ИГТМ НАН України)

## **ВПЛИВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ГЕОТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

**Skipochka S.I.**, D.Sc. (Tech.), Professor,  
**Palamarchuk T.A.**, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,  
**Bobro N.T.**, M.Sc. (Tech.),  
**Prohorec L.V.**, PhD. (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)

## **INTERDEPENDENCE BETWEEN INTENSIFICATION OF GEOMECHANICAL PROCESSES AND GEOTECHNICAL PARAMETERS OF THE ROCKS**

**Аннотация.** Предмет исследований – геотехнические параметры массива горных пород. Выполнен анализ исследований, посвященных влиянию интенсификации геомеханических процессов на геотехнические параметры массива горных пород. На основании выполненных исследований влияния интенсификации горных работ на функционирование геомеханической системы «массив горных пород – крепи и охранные конструкции» установлены следующие закономерности поведения массива горных пород при возрастании скорости его обнажения: в трансверсально-изотропном вязко-упругом трещиноватом массиве горных пород длина консоли, нависающей над выработанным пространством лавы, прямо пропорциональна ее мощности и модулю упругости пород, обратно пропорциональна глубине проведения горных работ, вязким свойствам угленородного массива и степени его неоднородности и возрастает по близкому к линейному закону при увеличении скорости подвигания очистного забоя; величина критического шага посадки кровли увеличивается с ростом предела прочности горных пород на растяжение по параболическому закону; приращение нагрузки на штрековую крепь на участке защемления кровли лавы (сопряжении лава-штрек) прямо пропорционально мощности кровли, приращению длины свободно нависающей консоли кровли и скорости подвигания очистного забоя.

**Ключевые слова:** интенсификация, геомеханические процессы, геотехнические параметры, массив горных пород.

В настоящее время интерес к вопросам влияния интенсификации горных работ на напряженно-деформированное состояние угленосного массива не уменьшается, а наоборот, возрастает. При этом, следует отметить, что при исследованиях этого вопроса по-прежнему применяются как теоретические, так и экспериментальные методы [1].

Из первой группы в практике геомеханики наибольшее применение нашли методы, базирующиеся на прямых измерениях напряжений, действующих в массиве, и деформаций горных пород, а также геофизические методы, основанные на изучении влияния свойств и состояния массива на параметры естественных или искусственно созданных физических полей.

Так, в работе [2] по геологическим данным, полученным на Яковлевском месторождении, была разработана пространственная геомеханическая модель. В ходе анализа напряженно-деформированного состояния были получены картины распределения горизонтальных напряжений и вертикальных смещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщи. Установлено, что зона очистных работ существенно влияет на распределение напряжений и перемещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщины. По результатам моделирования можно оценить возможность образования вертикальных водопроводящих трещин в рудной потолочине. Приведен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния на контуре и в окрестности одиночной выработки пологого и сводчатого очертаний при упругой и нелинейной диаграмме деформирования различных типов горных пород. Кроме того, определены параметры напряженно-деформированного состояния подкарьерного массива Коашвинского месторождения. Проведена оценка влияния карьерной выемки на распределение напряжений и деформаций. Исследование выполнено с помощью численного моделирования методом конечных элементов.

С помощью использования математического моделирования получено также решение задачи о напряженном состоянии горных пород, формирующемся в процессе отработки горизонтально залегающего рудного тела с восходящим порядком образования закладочного массива. Для учета последовательности ведения очистных и закладочных работ применен разработанный в ИГД СО РАН метод, основанный на однократном вычислении матрицы жесткости расчетной системы [3]. В работе [4] предложен алгоритм расчета напряженного состояния кровли в зоне временного опорного давления очистного забоя при отработке угольных и соляных месторождений. Решение данной задачи осуществляется также методами математического моделирования, что связано прежде всего с тем, что крупномасштабные натурные измерения требуют больших затрат, и возникают проблемы при их технической реализации. Приведена классификация особенностей трещиноватых массивов и особенности напряженно-деформированного состояния массивов каждой группы. Рассмотрен также вопрос о нагружении, деформировании и разрушении угля в зоне предельного напряженного состояния. При решении задачи, приведенной в работе [5], использовалась программа ANSYS. Установлено, что горизонтальные и вертикальные напряжения и деформации имеют максимальные значения на концах наруше-

ния. Однако и напряжения и нарушения зависят от нахождения забоя горных работ по отношению нарушения.

Методом численного моделирования исследовано напряженное состояние комплекса очистных выработок рудника «Карнасурт», отрабатывающего мало-мощные пологопадающие рудные залежи системами с открытым очистным пространством без обрушения и закладки выработок. Моделирование выполнено при гравитационном и гравитационно-тектоническом напряженном состоянии массива. Установлено, что устойчивость большепролетных очистных выработок рудника обеспечивается, главным образом, за счет действия больших тектонических напряжений субгоризонтального направления [6]. В работе [7] решается прикладная задача по установлению механизма и закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния массива с учетом взаимодействия выработок, использование которых повышает безопасность и эффективность горных работ. В результате исследования установлены предельные зоны влияния карьера и подземных выработок в зависимости от глубины горных разработок и расположения камер, минимальная потолочина, при которой образуется провал и коэффициент запаса устойчивости. А.Д. Дубиновой выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг забоя с целью прогноза обрушения основной кровли и исследовано напряженно-деформированное состояние геосреды вокруг очистной горной выработки при разных скоростях подвигания забоя. Для описания скоростной чувствительности среды использована упруговязкопластическая модель [8]. В работе [9] проведено аналитическое изучение напряженного состояния приконтурного массива в условиях комбинированной разработки месторождений открытым и подземным способами, с выработками различной формы.

Для условий отработки рудных месторождений выполнена разработка модели для прогноза напряженно-деформированного состояния подработанного скального массива горных пород [10].

Путем решения объемной задачи теории упругости, построения зон нарушения сплошности и на основе специально введенных показателей нарушенности проведена оценка техногенной нарушенности массива с регулярной прочностной анизотропией, вмещающего сопрягающиеся горизонтальные горные выработки квадратного поперечного сечения [11].

Показано, что с использованием компьютерной программы FLAC разработана трехмерная геологическая модель тоннеля. Результаты вычислений показали, что напряжения в окружающей скальной породе перераспределяются после проходки в тоннеле. Отмечается, что концентрация напряжений наблюдается в зоне основания и свода тоннеля. Пластичная зона массы окружающей скальной породы возрастает при снижении сцепления, но на нее оказывает небольшое влияние угол внутреннего трения. Подчеркивается, что знание распределения в породе напряжений и деформаций при разработке полным профилем поможет прогнозировать напряженно-деформированное состояние породы и распределение пластичной зоны [12].

Выполнено аналитическое исследование напряженного состояния породно-

го массива в окрестности горной выработки, имеющей произвольное поперечное сечение и закрепленной анкерной крепью. Задача решена с учетом срезающих усилий, возникающих в анкерах [13].

Вторая группа методов базируется на фундаментальных положениях механики горных пород и заключается в решении систем дифференциальных либо алгебраических (при использовании численных методов) уравнений при заданных граничных условиях.

Согласно классификации А.А. Кораблева и И.А. Турчанинова, механические методы разделены на косвенные, активные и пассивные. Они служат для определения полных и дополнительных напряжений и реализуются на практике в трех вариантах: метод разгрузки, метод буровых скважин и метод разности давлений.

Представлены результаты многолетних (1988-2008 гг.) натуральных инструментальных наблюдений за изменениями напряженного состояния тубинговой крепи шахтного ствола в процессе ведения горных работ. Выявлены закономерности снижения экстремальных значений замеренных напряжений, обусловленные взаимными перемещениями структурных блоков окружающего массива скальных пород в условиях его запредельного деформирования. Обоснованы эффективные методы управления горным давлением при строительстве выработок в высоконапряженных скальных породных массивах [14].

Для условий рудника «Интернациональный» АК «АЛРОСА» выполнен анализ формирования напряженно-деформированного состояния в окрестности наклонного съезда, расположенного в зоне влияния очистной выемки. Установлены особенности распределения напряжений в приконтурной части съезда в зависимости от условий его размещения относительно контура рудной залежи и развития очистных работ [15].

Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния горного массива при отработке кимберлитовой трубки «Интернациональная» сплошной слоевой системой разработки с оставлением рудного целика и формированием закладочного массива – искусственной кровли, под которой ведутся очистные работы с нисходящим порядком выемки [16]. В работе [17] приведены результаты исследования влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на устойчивость подготовительных выработок. Выявлены зависимости, оценивающие влияние формы поперечного сечения на зону неупругих деформаций и предложена методика определения критерия эффективности.

В.В. Башковым с сотрудниками проведены экспериментальные исследования по оценке геомеханического состояния массива горных пород на Абаканском месторождении при отработке сближенных рудных участков. Установлено, что на перераспределение зон концентрации напряжений в массиве оказывает влияние выработанное пространство рядом расположенных участков [18]. Выполнена оценка изменения напряженно-деформированного состояния горных пород по результатам экспериментальных исследований [19]. Автором установлены зависимости и получены корреляционные связи между изменением напряженно-деформированного состояния массива на различных глубинах и

стадиях отработки опорного блока-целика одновременно на четырех горизонтах по простиранию.

Разработана методика исследований геомеханического состояния рудопородного массива в динамике развития очистной выемки богатых медно-никелевых руд залежи С-1 в особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях глубокого рудника «Скалистый» Заполярного филиала ОАО «ГМК «Норильский никель». Напряженное состояние массива исследовано методом дискования керн скважин. Результаты исследований являются основой для проектирования технологий и направлений ведения очистных работ, а также выполнения профилактических защитных мер при разработке залежей на больших глубинах в сложных геомеханических условиях [20].

На основе экспериментальных и аналитических исследований выполнен прогноз напряженно-деформированного состояния горного массива Тишинского месторождения при отработке на глубоких горизонтах. Произведена оценка состояния основных вскрывающих выработок, расположенных в бортах Тишинского карьера [21].

Изучены влияния различных факторов на изменение напряженно-деформированное состояние вокруг выработки в зоне влияния лавы при компьютерном моделировании для условий Донецкого бассейна [22].

Из анализа экспериментальных методов исследований следует, что, с учетом неоднозначности трактовки результатов геофизических измерений, для обеспечения требуемой достоверности необходимо применять комплекс из двух и более методов с желательным подкреплением достоверности полученных механическими методами результатов.

Известно, что основные проблемы геомеханического характера, возникающие при высоких скоростях подвигания фронта очистных работ, обусловлены увеличением длины породной консоли основной кровли, нависающей над выработанным пространством лавы. Из этих соображений считаем необходимым и достаточным получить аналитические зависимости, связывающие параметры этой консоли с параметрами лавы и скоростью ее подвигания.

Кроме того, следует учитывать, что массив горных пород представляет собой анизотропную многокомпонентную среду, возникшую в результате многообразия длительных геологических процессов и нарушенную горными выработками, вызвавшими перераспределение напряжений, трещинообразование и расслоение массива. Например, в условиях угольных шахт Донбасса породный массив представляет собой систему чередующихся слоев, состоящих из пачек песчаников, глинистых и песчанистых сланцев, известняков и других пород мощностью от нескольких сантиметров до десятков метров. Поэтому математическую модель целесообразно представлять в виде трансверсально-изотропной среды. Это, во-первых, максимально приближает модель к реальным условиям, во-вторых, закономерности геомеханических процессов, протекающих в слоистых толщах, позволяют понять характер изменения этих процессов и в других типах массивов горных пород.

Основными физическими процессами, сопровождающими проведение очи-

стных работ, являются деформации и разрушение кровли, возникновение зон аномального напряженно-деформированного состояния (зоны опорного давления, концентрации и рассеивания напряжений над краевыми зонами), а также восстановление деформаций сжатия в породах подстилающей толщи. Именно с этих позиций разработана математическая модель геомеханических процессов в зоне очистных работ при высоких скоростях подвигания лавы, позволившая установить закономерности поведения углепородного массива при возрастании скорости его обнажения.

В частности, получена зависимость изменения длины нависающей консоли основной кровли от скорости подвигания забоя для случая вязко-упругой среды

$$l_0 \approx \frac{2h}{\pi\lambda H} \cdot \frac{z(\lambda_i^*)}{f(\lambda_i^*)\zeta\left(\left(1 - \frac{V_{\text{л}}^2 \bar{\rho}}{\lambda_i^*}\right), \lambda_i^*\right)}, \quad (1)$$

где  $h$  – толщина угольного пласта;  $H$  – глубина залегания угольного пласта;  $\lambda$  – коэффициент бокового распора;  $V_{\text{л}}$  – скорость движения очистного забоя;  $\lambda_i^*$  – эффективный модуль упругости трансверсальной вязко-упругой изотропной среды (вязкость учитывается путем введения интегро-дифференциальных параметров [8]);  $z$ ,  $f$ ,  $\zeta$  – функции параметров среды;  $\bar{\rho}$  – плотность среды;  $\bar{\rho} = \rho_1(1 - k) + k\rho_2$ ;  $k$  – пористость среды;  $\rho_1$  – плотность сухой непористой фазы;  $\rho_2$  – плотность заполнителя [1].

Анализ приведенной зависимости позволяет сделать вывод, что с увеличением скорости подвигания забоя размер консоли нависающей кровли возрастает по закону, близкому к линейному (рис. 1).

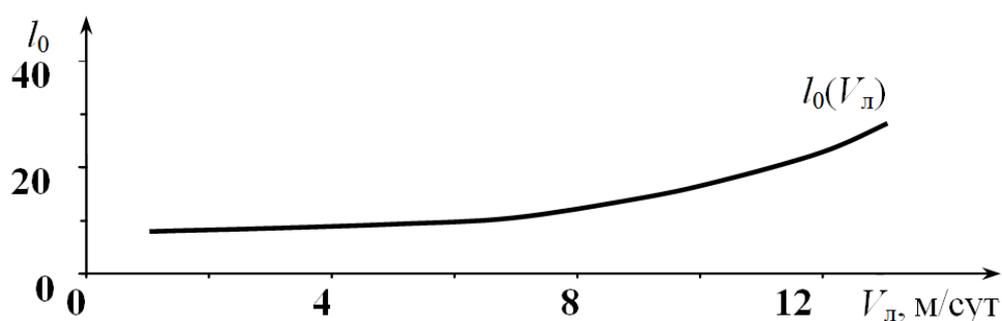


Рисунок 1 - Характер изменения длины нависающей консоли от скорости подвигания очистного забоя

При этом, чем выше модуль упругости вмещающих пород и ниже степень их неоднородности и трещиноватости, тем больше длина консоли.

При скорости подвигания очистного забоя, равной нулю, для случая изотропного массива формула (1) переходит в формулу (2)

$$l_0 = \frac{E^* h}{\pi r H (1 - \nu^{*2})}, \quad (2)$$

где  $E^*$  – модуль упругости;  $\nu^*$  – коэффициент Пуассона вязко-упругого массива.

Это уравнение имеет вид, аналогичный уравнению, полученному ранее для изотропной среды. Однако, в данном случае, в указанное уравнение входят эффективные упругие параметры трансверсально-изотропного (слоистого) породного массива.

После достижения определенных размеров в породах практически любой категории устойчивости происходит обрушение консоли основной кровли, нависающей над выработанной частью лавы. Шаг обрушения этой консоли является определяющим параметром при выборе оптимальных скоростей подвигания фронта очистных работ.

В результате теоретических исследований нами установлено, что величина приращения критического шага посадки кровли изменяется с ростом предела прочности горных пород по параболическому закону и возрастает с увеличением угла залегания пласта и скорости подвигания очистного забоя (рис. 2).

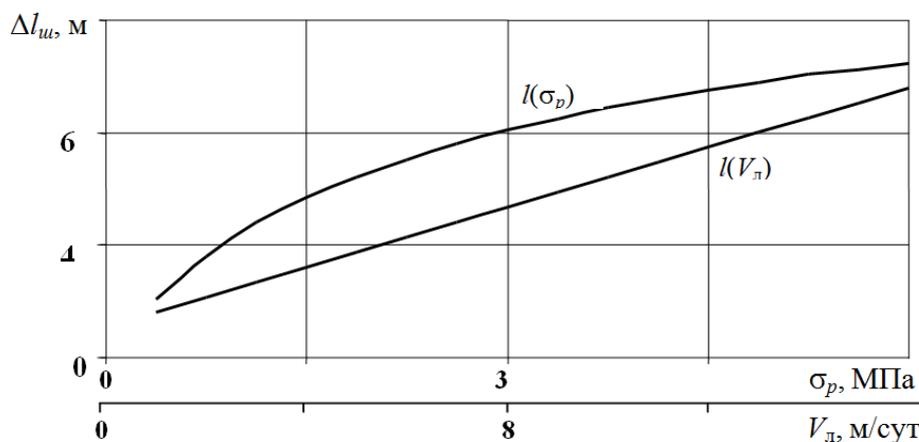


Рисунок 2 - Зависимости приращения критического шага посадки от предела прочности пород кровли на растяжение и скорости подвигания очистного забоя

Возрастание скорости подвигания фронта очистных работ и вызванное этим увеличение размеров консоли основной кровли, зависящей над выработанным пространством лавы, ухудшает и условия поддержания выемочных штреков, особенно в области их сопряжений с лавой.

Для определения величины приращения давления на штрековую крепь в зоне сопряжения с лавой, вызванного увеличением длины породной консоли, выполнена оценка изменения величины нагрузки на участке ее защемления.

Воспользовавшись допущениями приближенной теории об основных и второстепенных напряжениях и деформациях, запишем дифференциальное уравнение для упругой поверхности изогнутой пластинки в виде [1]:

$$\frac{E^* h_{II}^3}{12(1-\nu^{*2})} \left( \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} \right) = q, \quad (3)$$

где  $E^*$  – эффективный модуль Юнга;  $h_{II}$  – толщина плиты, соответствующая мощности основной кровли ( $h_k$ );  $\nu^*$  – эффективный коэффициент Пуассона плиты;  $u$  – смещение;  $q$  – интенсивность равномерно распределенной нагрузки.

В результате решения поставленной задачи об определении зависимости приращения нагрузки на участке защемления кровли лавы от мощности кровли и увеличения длины консоли, получена зависимость, график которой представлен на рис. 3, 4.

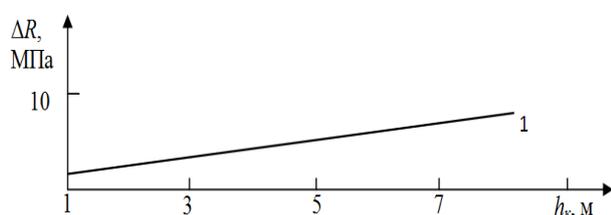


Рисунок 3 - Зависимость приращения нагрузки на участке защемления кровли лавы от мощности кровли

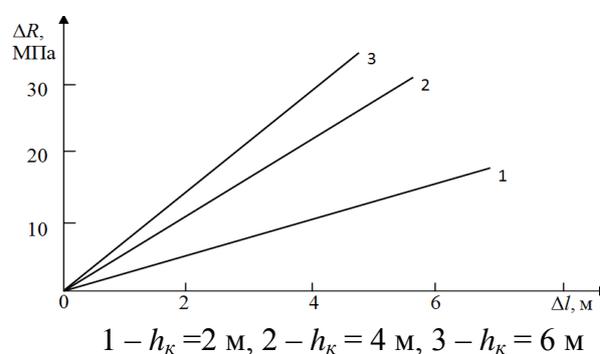


Рисунок 4 - Зависимость приращения нагрузки на участке защемления кровли лавы от увеличения длины консоли

Таким образом, установлено что:

- в трансверсально-изотропном вязко-упругом трещиноватом массиве горных пород длина консоли, нависающей над выработанным пространством лавы, прямо пропорциональна ее мощности и модулю упругости пород, обратно пропорциональна глубине проведения горных работ, вязким свойствам углепородного массива и степени неоднородности массива и возрастает по близкому к линейному закону при увеличении скорости подвигания очистного забоя;

- величина критического шага посадки кровли увеличивается с ростом предела прочности горных пород на растяжение по параболическому закону;

- приращение нагрузки на штрековую крепь на участке защемления кровли лавы (сопряжении лава-штрек) прямо пропорционально мощности кровли, приращению длины свободно нависающей консоли кровли и скорости подвигания очистного забоя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скипочка, С.И. Элементы геомеханики углепородного массива при высоких скоростях подвигания лав / С.И. Скипочка, Б.М. Усаченко, В.И. Куклин. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2006. – 248 с.
2. Протосеня, А.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния рудного массива в зоне влияния очистных работ / А.Г. Протосеня, К.Г. Синякин // Зап. Горн. ин-та. - 2011. – 189. - С. 240-243.
3. Поляков, Д.А. О перераспределении напряжений в породном и закладочном массивах при раз-

витии очистных работ / Д.А. Поляков // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: Труды Всероссийской конференции, посвященной 80-летию академика М.В. Курлени. - Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. - Т. 1. - С. 505-509.

4. Исследование напряженного состояния кровли в зоне опорного давления при отработке угольных и соляных месторождений / А.П. Господариков, Л.А. Беспалов, С.В. Васильев, М.А. Зацепин // Нелинейные проблемы механики и физики деформируемого твердого тела. Труды 4 (Северо-Западной региональной) Конференции молодых ученых научной школы академика В. В. Новожилова "Нелинейные проблемы механики и физики деформируемого твердого тела". - СПб: Соло, 2005. - Вып. 9. - С. 3-9.

5. Wang, Lian-guo. Numerical simulation of coal floor fault activation influenced by mining / Lian-guo Wang, Xie-xing Miao // J. China Univ. Mining and Technol. Engl. Ed. - 2006. - 16. - N 4. - P. 385-388.

6. Ловчиков, А.В. Напряженное состояние горных пород вблизи очистных выработок на руднике «Карнасурт» / А.В. Ловчиков, С.Н. Савченко // Вести МГТУ (Мурманск), 2013. - 16. - №4. - С. 741-747.

7. Сейтмуратов, А.Ж. Методика расчета напряженно-деформированного состояния горного массива вокруг открытых и подземных выработок / А.Ж. Сейтмуратов, У. Умбетов, И.У. Махамбаева // Sci. and world. - 2014. - №3. - Ч. 1. - С. 200-207.

8. Дубинова, А.Д. Численный анализ изменения напряженно-деформированного состояния при продвижении горной выработки перед обрушением основной кровли / А.Д. Дубинова, И. Ю. Смолин // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики: 2 Всероссийская молодежная научная конференция, посвященная 50-летию физико-технического факультета Томского государственного университета. - Томск, 2012. - С. 176-179.

9. Раджабов, А.О. Исследование напряженного состояния приконтурного массива в условиях комбинированной разработки месторождения открыто-подземным способом / А.О. Раджабов, В.Р. Рахимов // Горн. инф.-анал. бюл. - 2013. - №6. - С. 136-139.

10. Акопян, К.Л. Разработка модели для прогноза напряженно-деформированного состояния подработанного скального массива горных пород при разработке рудных месторождений / К.Л. Акопян, А.С. Панов // 5 Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле»: Материалы конференции. - М.: РГГРУ, 2010. - С. 209.

11. Черданцев, Н.В. Геомеханическое состояние анизотропного по прочности массива горных пород в окрестности сопрягающихся выработок / Н.В. Черданцев, В.Т. Преслер, В. Ю. Изаксон // Физ.-техн. прол. разраб. полез. ископаемых. - 2010 - №2. - С. 62-68.

12. Zhi-xin, Yan. Напряженно-деформированное состояние горной породы при тоннелепроходке // Yan Zhi-xin, Guo Bin, Fan Shu-fang, Gao Le // J. Wuhan Univ. Technol. - 2013. - 35. - №2. - P. 108-112.

13. Влияние скоростей анизотропного массива горных пород со сложной структурой на точность локации акустической эмиссии / В.И. Мирошников, И.Ю. Рассказов, Б.Г. Саксин, П.В. Аникин // ГИАБ. - 2010. - № 4. - С. 125-135.

14. Балек, А.Е. Об эффекте улучшения напряженно-деформированного состояния крепи под влиянием горных работ / А.Е. Балек // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: Труды 3 Международной конференции, Екатеринбург, 19-21 мая, 2010. Екатеринбург: УГГГА. - 2010. - С. 163-170.

15. Барышников, В.Д. Особенности формирования напряженно-деформированного состояния горных выработок в зоне влияния очистных работ / В.Д. Барышников, Л.Н. Гахова // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: Труды Всероссийской конференции, посвященной 80-летию академика М.В. Курлени (с участием иностранных ученых), Новосибирск, 3-6 окт., 2011. Т. 1. Новосибирск: ИГД СО РАН. - 2011. - С. 281-285.

16. Айнбиндер, И.И. Геомеханическая оценка напряженно-деформированного состояния обрабатываемого массива при выемке запасов в отметках -380/-560 м на руднике «Интернациональный» / И.И. Айнбиндер, О.В. Овчаренко, П.Г. Пацкевич // ГИАБ. - 2014. - №1. - С. 83-90.

17. Ткачев, В.А. Исследование влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на зону неупругих деформаций подготовительных выработок / В.А. Ткачев, Ю.А. Павлинова, В.Е. Толкачев // Перспективы развития Восточного Донбасса: Материалы 4 Международной и 62 Всероссийской научно-практической конференции, Шахты, апрель. 2013. Новочеркасск. - 2013. - С. 39-41.

18. Башков, В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород при отработке блоков в сближенных рудных телах Абаканского месторождения / В.И. Башков, А.А. Еременко, А.А. Котляров // Горн. инф.-анал. бюл. - 2013. - №8. - С. 5-8.

19. Синкевич, Н.И. Методика количественного прогнозирования параметров геомеханических процессов в массивах горных пород при обратном порядке отработки рудных залежей / Н.И. Синкевич // ГИАБ. – 2009. - №12. - С. 17-21.

20. Исследование геомеханического состояния рудопородного массива в поле рудника «Скалистый» / В.Н. Карелин, В.П. Марысюк, Ю.Н. Наговицын [и др.] // Горный журнал. – 2010. - №6. - С. 63-65.

21. Ашихмин, С.Г. Геомеханическая оценка состояния ответственных сооружений Тишинского рудника при отработке глубоких горизонтов / С.Г. Ашихмин, Д.В. Шустов, А.И. Фандеев // ФТПРПИ. – 2013. – № 2. – С. 43-52.

22. Касьян, С.И. Влияние факторов на напряженно-деформированное состояние вокруг подготовительной выработки в зоне влияния лавы / С.И. Касьян // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – 2014. – Вып. 42. – С. 75-80.

#### REFERENCES

1. Skipochka, S.I., Usachenko, B.M. and Kuklin, V. Yu. (2006), *Elementy geomechaniki ugleporodnogo massiva pri vysokikh skorostyakh podviganiya lav* [Elements of geomechanics coal rock mass at high advance rates of lava], PE "Lira Ltd", Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Protosenya, A.G. and Sinyakin, K.G. (2011), "Simulation of stress-strain state of the ore massif in the zone of influence of clearing works", *Zapiski Gornogo Instituta*, no.189, pp. 240-243.

3. Polyakov, D.A. (2011), "About redistribution of stresses in the rock and filling mass with the development of sewage treatment works", *Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie nedr Zemli: Trudy Vserossiyskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu akademika M.V. Kurleni* [Geodynamics and stressed state of the Earth's interior: Proceedings of the All-Russia conference on the 80th anniversary of academician M.V. Kurleni], Novosibirsk, Russia, T. 1, pp. 505-509.

4. Gospodarikov, A.P., Bepalov, L.A., Vasiliev, S.V. and Zacepin, M.A. (2005), "Investigation of the state of stress in the roof bearing pressure zone when mining coal and salt deposits", *Nelineynye problem mekhaniki i fiziki deformiruemogo tverdogo tela* [Nonlinear problems of mechanics and physics of deformable solids], 4 (Severo-Zapadnaya regionalnaya) Konferentsiya molodykh uchenykh nauchnoy shkoly akademika V.V. Novozhilova "Nelineynye problem mekhaniki i fiziki deformiruemogo tverdogo tela". [4 (North-West regional) Conference of Young Scientists of the scientific school of Academician Novozhilov "Nonlinear problems of mechanics and physics of deformable solids"], St. Petersburg, Russia, vol. 9, pp. 3-9.

5. Wang, Lian-guo and Xie-xing, Miao (2006), "Numerical simulation of coal floor fault activation influenced by mining", *J. China Univ. Mining and Technol. Engl. Ed.*, no. 4, pp. 385-388.

6. Lovchikov, A.V. and Savchenko, S.N. (2013), "Stress state of rocks near the water treatment at the mine workings "Karnasurt", *Vesti MGTU*, no. 4, pp. 741-747.

7. Seytmuratov, A.Z., Umbetov, W. and Mahambaeva, I.U. (2014), "The methodology of calculation of stress-strain state of the rock mass around the open pit and underground workings", *Science and world*, no. 3, Part 1, pp. 200-207.

8. Dubinova, A.D. and Smolin, I.Yu. (2012), "Numerical analysis of stress-strain state at moving excavation before the collapse of the main roof", *Aktualnye problem sovremennoy mekhaniki sploshnykh sred I nebesnoy mekhaniki: 2 Vserossiyskaya molodezhnaya konferentsiya, posvyashchennaya 50-letiyu fiziko-tehnicheskogo fakulteta Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Actual problems of modern continuum mechanics and celestial mechanics: 2 All-Russian Youth Scientific Conference dedicated to the 50th anniversary of the Physical-Technical Faculty of the Tomsk State University]. Tomsk, Russia, pp. 176-179.

9. Radzhabov, S.A. and Rakhimov, V.R. (2013), "Research of the stress condition of marginal rock massif under the combined development of the field of open-underground way", *Mining informational and analytical bulletin*, no. 6, pp. 136-139.

10. Akopyan, K.L. and Panov, A.S. (2010), "Development of a model for prediction of stress-strain state to earn a rocky massif of rocks in the development of mineral deposits", *Materialy konferentsii* [Conference Proceedings], 5 *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Molodye – naukam o Zemle"* [5 International scientific conference of students, graduate students and young scientists "Youth - Geoscience", Moscow, Russia, pp. 209.

11. Cherdantsev, N.V., Presler, V.T. and Isakson, V.Y. (2010), "Geomechanical state of anisotropic strength of the rock mass in the vicinity of the mating openings", *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, no. 2, pp. 62-68.

12. Zhi-xin, Yan, Guo, Bin, Fan, Shu-fang and Gao, Le (2013), "Stress-strain state of rock at tonnele-drifting", *J. Wuhan Univ. Technol.*, 35, no. 2, pp. 108-112.

13. Miroshnikov, V.I., Rasskazov, I.Y., Saxin, B.G. and Anikin, P.V. (2010), "The effect of the anisotropic velocity of the rock massif with complex structure on the accuracy of location of acoustic emission", *Mining informational and analytical bulletin*, no 4, pp. 125-135.
14. Balek, A.E. (2010), "The effect of improving the stress-strain state of the lining under the influence of mining operations", *Trudy 3 Mezhdunarodnoy konferentsii* [Proceedings of the 3rd International Conference], *Proektirovaniye, stroitelstvo i ekspluatatsiya kompleksov podzemnykh sooruzheniy* [Design, construction and operation of complex underground structures:], Yekaterinburg, 19-21 May, 2010, Yekaterinburg, Russia, pp. 163-170.
15. Baryshnikov, V.D. and Gakhova, L.N. (2011), "Features of the formation of stress-strained state of mining in the area of influence of clearing works", *Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie nedr Zemli: Trudy Vserossiyskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu akademika M.V. Kurleni* [Geodynamics and stressed state of the Earth's interior: Proceedings of the All-Russia conference on the 80th anniversary of academician M.V. Kurleni], Novosibirsk, Russia, October 3-6 2011, T. 1, pp. 281-285.
16. Ainbinder, I.I., Ovcharenko, O.V. and Paskevich, P.G. (2014), "Geomechanical assessment of stress-strain state are working on an array with a recess stocks elevations -380 / -560 m at the mine "International", *Mining informational and analytical bulletin*, no. 1, pp. 83-90.
17. Tkachev, V.A., Pavlinova, Y.A. and Tolkachev, V.E. (2013), "Research of influence of geological and mining factors in the zone of inelastic deformation of development workings", *Materialy 4 Mezhdunarodnoy i 62 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Articles 4 and 62 of the International All-Russian scientific-practical conference], *Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa* [Prospects of East Donbass], Novochoerkassk, Russia, April 2013, pp. 39-41.
18. Bashkov, V.I. Eremenko, A.A. and Kotlyarov, A.A. (2013), "Evaluation of stress-strain state of the rock massif in mining blocks in the contiguous ore bodies Abakan deposit", *Mining informational and analytical bulletin*, no. 8, pp. 5-8.
19. Sinkevich, N.I. (2009), "The technique of quantitative forecasting parameters of geomechanical processes in the rock massif in the reverse order of mining ore deposits", *Mining informational and analytical bulletin*, no. 12, pp. 17-21.
20. Karelin, V.N., Marysyuk, V.P., Nagovicyn, Yu.N., Wilczynski, V.B. and Zvezdkin, V.A. (2010), "Investigation of geomechanical condition ore and rock array in the field of mine "Skalistyi", *Mining Journal*, no. 6, pp. 63-65.
21. Ashihmin, S.G., Shustov, D.V. and Fandeev, A.I. (2013), "Geomechanical assessment of critical facilities Tishinsk mine in mining deep horizons", *Fiziko-technicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, no. 2, pp. 43-52.
22. Kasyan, S. (2014), "Influence factors on the stress-strain state around development working in the area of lava", *Sbornik nauchnykh trudov DonGTU*, vol. 42, pp. 75-80.

### Об авторах

**Скипочка Сергей Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [skipochka@ukr.net](mailto:skipochka@ukr.net).

**Паламарчук Татьяна Андреевна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [tp208\\_2008@ukr.net](mailto:tp208_2008@ukr.net).

**Бобро Николай Трофимович**, магистр, инженер в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [office.igtm@nas.gov.ua](mailto:office.igtm@nas.gov.ua).

**Прохорец Лилия Викторовна**, кандидат технических наук, младший научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [liliya\\_prohorec@mail.ru](mailto:liliya_prohorec@mail.ru).

### About the authors

**Skipochka Sergei Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, [skipochka@ukr.net](mailto:skipochka@ukr.net).

**Palamarchuk Tatyana Andreevna**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Principal Researcher in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the

National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, [tp208\\_2008@ukr.net](mailto:tp208_2008@ukr.net) .

**Bobro Nicolay Trofimovich**, Master of Sciences, engineer in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, [office.igtm@nas.gov.ua](mailto:office.igtm@nas.gov.ua) .

**Prokhorets Liliia Victorivna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Junior Researcher in Rock Mechanics Department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepr, Ukraine, [liliya\\_prohorec@mail.ru](mailto:liliya_prohorec@mail.ru) .

**Анотація.** Предмет досліджень - геотехнічні параметри масиву гірських порід. Виконано аналіз досліджень, присвячених впливу інтенсифікації геомеханічних процесів на геотехнічні параметри масиву гірських порід. На підставі виконаних досліджень впливу інтенсифікації гірничих робіт на функціонування геомеханічної системи "масив гірських порід - кріплення та охоронні конструкції" встановлені наступні закономірності поведінки масиву гірських порід при зростанні швидкості його оголення: у трансверсально-ізотропному в'язко-пружному тріщинуватому масиві гірських порід довжина консолі, що нависає над виробленим простором лави, прямо пропорційна її потужності і модулю пружності порід, обернено пропорційна глибині проведення гірничих робіт, в'язким властивостям вуглепородного масиву і ступеню його неоднорідності та зростає за близьким до лінійного закону при збільшенні швидкості посування очисного вибою; величина критичного кроку посадки покрівлі збільшується зі зростанням межі міцності гірських порід на розтягання за параболічним законом; збільшення навантаження на штрекове кріплення на ділянці защемлення покрівлі лави (спряження лава-штрек) прямо пропорційно потужності покрівлі, збільшенню довжини вільно нависаючої консолі покрівлі і швидкості посування очисного вибою.

**Ключові слова:** інтенсифікація, геомеханічні процеси, геотехнічні параметри, масив гірських порід.

**Abstract.** Subject of this research is geotechnical parameters of the rocks. Different studies of impact of geomechanical process intensification on the rock geotechnical parameters were analyzed, and basing on the findings on impact of mining activity intensification on operation of geomechanical system "rocks - supports and safety structures", the following patterns of the rock behavior were established: in transversely isotropic visco-elastic fractured rocks, length of the console overhanging over the open area of the face is directly proportional to its capacity and rock elasticity modulus and is inversely proportional to the depth of mining operations, viscous properties of the coal-rock mass and degree of its heterogeneity, and increases, by close to linearly law, with increased rate of the face advance; value of the caving critical step increases parabolically with the growing rock tensile strength; road-support increment in the area of the face roof fixation (face-end) is directly proportional to the roof capacity, length increment of the freely overhanging roof console and rate of face advance.

**Keywords:** intensification, geomechanical processes, geotechnical parameters, rock massif.

*Статья поступила в редакцию 12.09.2016*

*Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Минеевым С.П.*