

УДК 622.83

*А.К. НОСАЧ (канд. техн. наук)*

*Н.А. РЯЗАНЦЕВ (канд. техн. наук)*

*Б.А. КОДУНОВ (канд. техн. наук)*

*В.И. ВАЩЕНКО (канд. геол.-мин. наук)*

*Н.А. РЯЗАНЦЕВА (инженер)*

*Красноармейский индустриальный институт Донецкого национального технического университета*

## **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА В ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКЕ**

Рассмотрены методы исследования напряженно-деформированного состояния горного массива, показано влияние современных представлений о горном массиве на выбор методов решения задач горной механики.

**массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, методы исследования, анализ**

### **Постановка задачи в общем виде.**

Успешное решение технологических проблем горного производства во многом определяется адекватностью наших представлений о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород и физических процессах, происходящих в нем. Между тем, практика последних десятилетий показывает, что традиционные представления о напряженном состоянии нетронутого массива, о поведении горных пород в неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений, а также используемые для решения задач механики горных пород методы, оказались во многом несостоятельными.

На ряде шахт Красноармейского региона отказ от первоначальных проектных решений, основанных на традиционных геомеханических представлениях, и связанных со способом подготовки, системами разработки пластов, местом расположения и формой выработок, способами их охраны, увязкой работ на смежных пластах, оказался весьма полезным и оправданным. Особенно это касается шахт с глубиной разработки более 900 - 1000 м.

Особенно продуктивной в последние годы оказалась идея представления о горных породах как о блочных, иерархически организо-

ванных многомасштабных системах, а также о неравнокомпонентном напряженном состоянии, учитывающем тектонические силы.

В данной работе предпринята попытка оценить перспективы использования классических методов исследования напряженно-деформированного состояния горного массива вокруг горных выработок, и показать влияние современных представлений о горном массиве и поведении горных пород на выбор методов решения задач горной механики.

### **Анализ последних достижений и публикаций, связанных с решением данного вопроса.**

Применительно к подземной добыче полезных ископаемых основные задачи геомеханики связаны с оценкой напряженно-деформированного состояния породных массивов, ослабленных искусственными полостями, и расчетами на длительную прочность несущих элементов систем разработки, охранных сооружений и крепи горных выработок. Основопологающим при этом является правильность представлений о естественном напряженно-деформированном состоянии нетронутого массива.

В 1951 г. на Международной конференции по горному давлению в Бельгии были сформулированы представления, что земная кора находится в равновесном состоянии и единственной причиной напряжений в горных породах является гравитационная сила. Напряжения, даже если они изменяются под действием каких-либо факторов, со временем релаксируют, выравниваются. Указанной точки зрения придерживались известные зарубежные и отечественные геомеханики: Г. Эверлинг, О. Якоби, Р. Феннер, М. Протодяконов, А. Динник, Л. Шевяков, П. Цимбаревич, В. Слесарев, К. Руппенейт, В. Давидянц и др. [1, 2].

Согласно этим представлениям вертикальная составляющая поля напряжений является максимальной и равна весу вышележащих пород ( $\gamma H$ ), а горизонтальные составляющие равны между собой, являются реактивными и формируются за счет бокового распора ( $\lambda \gamma H$ ). Здесь  $\lambda = \nu / (1 - \nu)$  – коэффициент бокового распора,  $\nu$  – коэффициент поперечной деформации пород,  $\gamma$  – объемный вес пород,  $H$  – глубина разработки. Основываясь на этих представлениях и классических методах механики твердого деформируемого тела, быстро развивались аналитические методы механики горных пород. Фундаментальную роль здесь сыграли работы С. Михлина, Г. Баренблата, С. Христиановича и др. [3, 4]. Ряд исследователей и сегодня при решении задач геомеханики опираются на гравитационную гипотезу.

Задача решается, как правило, в упругой постановке для сплошного изотропного тела, с целью выявления влияния на напряженно-деформированное состояние размеров и формы выработки. При этом считается, что контур выработки нагружен напряжениями, численно равными напряжениям нетронутого массива в центре выработки. Коэффициенты концентрации напряжений на контуре выработки в зависимости от соотношения компонент напряжений в нетронутом массиве и размеров выработки могут принимать довольно большие значения. В этом случае гравитационная гипотеза не может объяснить величин напряжений, превышающих прочность пород в объемном поле сжимающих напряжений. Учет анизотропии, нелинейной упругости и пластичности пород приводит к более равномерному распределению напряжений вокруг выработки и снижает их значения, т.е. упругая постановка дает некоторый запас по напряжениям в результатах вычислений.

Основными численными методами при определении напряжений и деформаций на контуре выработки являются методы конечных разностей и конечных элементов [5, 6].

Наиболее простым приближенным методом является метод конечных разностей или, иначе, метод сеток. Общий принцип метода состоит в том, что дифференциальные уравнения, связывающие компоненты тензора напряжений и деформаций, заменяют некоторыми уравнениями в конечных разностях, которые получают путем замены в нем производных и других дифференциальных операций их приближенными выражениями через разностные отношения или значения функций в отдельных точках по заранее выбранной сетке. Поскольку метод конечных разностей является лишь приемом решения дифференциальных уравнений, ему в полной мере свойственны недостатки, присущие определению напряженно-деформированного состояния методами плоской теории упругости.

Метод конечных элементов основан на идее аппроксимации непрерывной функции давления, перемещения и т.д. дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе плоских или пространственных подобластей, называемых конечными элементами. При этом, в отличие от метода конечных разностей, соблюдается ясная физическая трактовка решаемых задач. Необходимость определения свойств каждого элемента в отдельности дает возможность учитывать неоднородность свойств деформируемой области, а также рассчитывать области сколь угодно сложной конфигурации. Отдельным вопросом является степень адекватности решаемой математической модели ее физическому

прототипу. Все это возлагается на плечи инженера-расчетчика, поэтому результат имеет в какой то степени субъективный характер.

Другим направлением численных методов решения задач о напряженно-деформированном состоянии среды являются методы граничных элементов, в которых решение уравнения удовлетворяется на границе исследуемой области. Все методы граничных интегральных уравнений используют принцип суперпозиции и поэтому применимы или к полностью линейным системам, или к тем, которые линейны относительно приращений либо могут быть аппроксимированы таковыми. Данный метод уменьшает размерность исходной задачи на единицу, при этом время решения задачи, при близкой точности, уменьшается, по сравнению с методом конечных элементов, в 4-10 раз. Поэтому для большинства практических задач метод граничных элементов обладает очень существенными преимуществами по сравнению с методами конечных элементов.

Вариационно-разностный метод использует широко известное положение теории упругости о том, что полная потенциальная энергия деформируемой системы может быть определена как разность между работой внешних нагрузок и внутренних сил (энергии деформации). При этом энергию упругого деформирования и работу внешних нагрузок выражают через компоненты тензора деформаций и перемещений. Искомые перемещения являются те значения, которые приводят выражение полной потенциальной энергии к минимуму. Для нахождения перемещений рассматриваемую область расчета покрывают сеткой, разбивающей ее на треугольные или четырехугольные ячейки. Контур области аппроксимируют конечным числом прямолинейных отрезков, причем напряжения, деформации и массовые силы считают линейно распределенными по площади ячеек, а компоненты вектора смещений относят к узлам сетки. В конечном итоге получают систему линейных алгебраических уравнений относительно перемещений, в которой вид свободных членов зависит от граничных условий и от массовых сил. По найденным значениям перемещений вычисляют компоненты тензора напряжений в отдельных точках рассматриваемой области. Поскольку выражения для потенциальной энергии в каждой ячейке составляют независимо от других ячеек, а затем все значения суммируют и минимизируют по всем неизвестным перемещениям, значения постоянных величин модуля сдвига и коэффициента Пуассона в соседних ячейках могут быть различными, что открывает неограниченные возможности для учета неоднородности свойств массива [7, 8].

Для решения ряда конкретных задач возможно успешное применение упрощенных способов определения напряжений и перемещений, основанных на привлечении специальных гипотез и предположений. Уподобляя механизм деформирования кровли очистных выработок деформированию плоской плиты или балки-стенки, функции напряжений и перемещений представляют в виде бесконечных гипербола-тригонометрических рядов [1]. Такой метод решения задач теории упругости также является приближенным, его точность зависит от числа членов ряда.

Решение задач геомеханики основывается, как правило, на детерминированных моделях. Это обстоятельство предполагает существенную идеализацию исследуемых объектов. Реальный же породный массив обладает значительной неоднородностью, а конфигурация и размеры выработок отличаются от моделируемых. Это вынуждает усложнять исходные модели, увеличивая число факторов, предположительно влияющих на изучаемый параметр. Исследования показывают, что предельное число факторов, которое может быть учтено в модели поддающейся анализу, не превышает четырех [9]. В действительности же таких факторов гораздо больше, а их влияние носит случайный характер. Эта особенность приводит к тому, что расчеты на прочность в геомеханике, основанные на детерминированных представлениях, отличаются довольно низкой надежностью, повысить которую ряд авторов пытаются, перейдя к вероятностно-статистическим представлениям о природе изучаемых объектов [10]. Теория случайных функций и ее методы позволяют расширить возможности аналитических методов при расчетах подземных сооружений и сделать получаемую при этом информацию более полной и эффективной.

Термодинамический метод основывается на том, что исследуемый массив горных пород рассматривается как термодинамическая система. Ее состояние определяется всеми физическими величинами, характеризующими макроскопические свойства. Рассматриваемая система способна обмениваться с внешними по отношению к ней телами и полями энергией в формах работы и теплоты. Термодинамический метод, базируясь на фундаментальных законах науки, позволяет довольно точно установить оптимальные размеры и форму устойчивого обнажения массива на любой глубине в конкретных горно-геологических условиях залегания. В общем случае задача сводится к последовательному определению потенциальных напряжений в нетронутом массиве, физических свойств горных пород в условиях их естественного залегания, напряженного состояния пород вокруг выработок. Главным недостатком метода является отсутствие алгоритмов и

программ, громоздкость расчетов, что ограничивает практическое его применение.

Среди рассматриваемых методов необходимо выделить метод, основанный на закономерностях деформаций горных пород [11, 12], позволяющий получить общую картину напряженно деформированного состояния горного массива в области сдвижения по значениям векторов перемещений частиц под влиянием горных работ. Данный метод достаточно перспективен и требует дальнейшего развития.

Анализ методов исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород позволяет сделать вывод о том, что на сегодня не существует универсальных методов и универсальных вычислительных комплексов для решения задач этого класса, которые могли бы иметь практическое значение и необходимую точность. Теоретические методы позволяют лишь приближенно определить абсолютные значения напряжений в горном массиве. Уровень адаптации моделей таков, что они не дают приемлемых для практической деятельности результатов по определению параметров конструктивных элементов систем разработки, размеров и формы выработок в конкретных горно-геологических условиях того или иного месторождения с увеличением глубины разработки. В связи с этим, необходим индивидуальный подход к решению каждой отдельной задачи. В этом случае возможно и необходимо для достижения наилучшего результата применение комбинированного метода исследования, который включает натурные наблюдения и измерения, аналитические и численные методы расчета напряжений и деформаций. Тем более что натурные методы являются одними из первых, которыми овладело человечество.

Натурные методы дают возможность получить наиболее точную информацию о напряженно-деформированном состоянии породных массивов. Эти методы неравнозначны по своим возможностям. Они отличаются большой базой измерений, трудоемкостью, точностью и теоретическим обоснованием. Общий недостаток натурных измерений – большая стоимость их реализации.

В 60-70-х годах прошедшего столетия экспериментальные методы исследования напряженно-деформированного состояния в условиях их естественного залегания применялись очень широко. Использовались три вида методов [13-15]. Первые базировались на измерении деформаций, а напряжения рассчитывались по формулам теории упругости (метод разгрузки, компенсационной нагрузки, измерения деформаций скважин). Вторые основывались на измерении давлений в устанавливаемых в массиве приборах и определении по ним напряже-

ний расчетом или на основании тарировки (метод разности давлений, упругих включений). Третьи определяли ряд физических характеристик массива горных пород геофизическими методами, и расчете по ним напряжений с помощью различных корреляционных зависимостей (акустический, ультразвуковой, радиометрический и др.). Геофизические методы являются косвенными и об абсолютной величине деформаций или напряжений в массиве, измеренных этими методами, пока говорить сложно.

Систематические измерения естественных напряжений на различных месторождениях привели к неожиданным открытиям. Вертикальная компонента напряжений оказалась в 1,1...3,7 раза выше геостатической, а горизонтальная – в 3,1 - 19 раз. Дальнейшие исследования показали, что, действительно, в областях размером 100...2000 км действуют устойчивые региональные тектонические напряжения в горизонтальном направлении, величина которых для Донбасса не превышает 10 - 12 МПа [14, 15]. В то же время замеренные напряжения подвержены значительным колебаниям на небольших участках и достигают 100 МПа и более [16 - 18]. Кроме того, однозначно установлено, что поле напряжений является неравнокомпонентным. Таким образом, большие величины напряжений и их изменчивость требуют объяснения и расчетов.

### **Формулировка цели работы.**

В настоящее время считается, что тектонические напряжения расчитать невозможно, поскольку о природе их мало что известно. Поэтому, прежде всего, требует объяснения наличие, как в вертикальном, так и в горизонтальном субширотном и субмеридиональном направлении активных сил и выяснения их природы. Кроме того, необходимо объяснить наличие в локальных объемах величин напряжений, превышающих прочность пород в объемном напряженном состоянии.

### **Материалы исследований.**

В работе [19] показано, что наличие активных горизонтальных сил в субширотном и субмеридиональном направлении обусловлено силами Кориолиса, приливными силами, силами объемного расширения восходящих потоков и др., которые обуславливают субширотную тектоническую составляющую поля напряжений для Донбасса порядка 10 МПа. В меридиональном направлении действуют, в основном, полюсобежная сила Этвеша (порядка  $10^{-4}$  МПа) и реактивные силы бокового распора.

Кроме того, Земля как физический объект представляет собой автоколебательную систему. Собственные колебания Земли делятся на два класса: крутильные или тороидальные колебания, вектор смещения которых перпендикулярны радиусу Земли, и сфероидальные колебания, вектор смещения которых имеет составляющие и по радиусу, и по азимутальным направлениям. Собственные колебания являются стоячими волнами. При этом крутильные колебания являются результатом интерференции двух бегущих волн Лява равной амплитуды, а сфероидальные – волн Рэлея.

К основным следствиям колебаний в геосферах относятся вибромеханические, виброреологические и вибромеханохимические эффекты: преобразование сухого трения в вязкое; направленный массоперенос; резонанс; автоколебания; тиксотропность; механохимическая активация физических и химических процессов и др.

Частота собственных колебаний (резонансная частота) Земли в целом, отдельных геосфер и слоев может быть определена из зависимости [20]

$$f_0 = V_{sh} / h ; \quad (1)$$

где  $V_{sh}$  - скорость поперечных волн,  $V_{sh} = 2500$  м/с;

$h$  – характерный размер объекта, м.

Для Земли в целом расчетная собственная частота колебаний составляет  $2 \times 10^{-4}$  Гц, а период 85 мин, для поверхностных слоев пород –  $1,4 \times 10^{-4}$  Гц ( $T=2$  часа), собственная частота слоя мощностью 1 м – 2,5 кГц. Наблюдаемые резонансные частоты верхних слоев земной коры  $0,716 \times 10^{-4}$  и  $1,64 \times 10^{-4}$  Гц.

Каждый слой породы является монохроматором. Эффект монохроматора состоит в том, что в слое толщиной  $h$  укладывается целое число полуволн

$$h = n\lambda/2 = nV_{mh}/2f_{mh}; \quad (2)$$

где  $n = 1, 2, 3 \dots$  - любое целое число;

$\lambda$  – длина волны, м;

$V_{mh}$  – скорость волн поперек слоя, м/с;

$f_{mh}$  – частота монохроматора, Гц.

Эффект резонанса (АРП) – это момент совпадения собственной частоты колебательной системы с частотой внешнего воздействия. Эффект АРП и эффект монохроматора наблюдается в режиме стоячих волн, потому скорость поперечных волн это фазовая скорость. Амплитуда колебаний планетарных пульсаций вследствие резонансных яв-



лений может достигать  $\Delta \ell_{\text{мак}} = 10$  см. Напряжения в горных породах при распространении колебаний составляют [21]

$$\tau = \rho \omega V_{\text{sh}} \Delta \ell_{\text{мак}} \cos(\omega t + y_2); \quad (3)$$

где  $\omega = 2\pi f_0$  – угловая частота колебаний;

При резонансных явлениях напряжения могут достигать десятков и сотен мегапаскаль.

Таким образом, вследствие воздействия гравитационных, приливных, ротационных и тектонических сил в горном массиве распространяются деформационные волны различных частот и амплитуд. При отражении волн от границ раздела слоев и структурных блоков, вследствие интерференции и резонансных явлений возникают значительные концентрации деформации и напряжений, приуроченных к этим границам.

В статической постановке, как показано в [22], при плоской задаче коэффициент концентрации вертикальных напряжений на границе слоев  $k_B$  составляет

$$k_B = 1 + 2 \frac{m^2}{b^2} \left(1 - \frac{E}{E_*}\right); \quad (4)$$

Коэффициент концентрации горизонтальных напряжений  $k_T$

$$k_T = 1 + \frac{m^2 + b^2}{b^2} \left(1 - \frac{E\nu_*}{E_*\nu}\right); \quad (5)$$

где  $m$  – мощность слоя, м;

$b$  – размер структурного блока по простиранию или падению,

$b = (3-4) m$ ;

$E$  и  $E_*$  – модули упругости соответственно менее жесткого и более жесткого слоев, МПа;

$\nu$  и  $\nu_*$  – коэффициенты поперечной деформации этих слоев.

Учитывая, что и в вертикальном, и в широтном, и в меридиональном направлении действуют активные силы и силы бокового распора, компоненты объемного поля напряжений в горном массиве можно записать в виде

$$\sigma_B = k_B \gamma H + \lambda k_T (\sigma_T + \sigma_{\text{et}}); \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{ш}} = k_T \sigma_T + \lambda (k_B \gamma H + k_T \sigma_{\text{et}}); \quad (7)$$

$$\sigma_M = k_T \sigma_{\text{et}} + \lambda (k_B \gamma H + k_T \sigma_T). \quad (8)$$

Здесь под тектоническими силами, действующими в широтном направлении, понимается совокупность собственно тектонических сил, ротационных сил (сил Кориолиса) и приливных сил. Их суммарная величина для Донбасса оценивается около 10 МПа. В меридиональном направлении основной активной силой является полюсобежная сила Этвеша, величина которой составляет  $10^{-4}$  МПа.

Максимальный коэффициент концентрации вертикальных напряжений при отличии модулей упругости на порядок (граница раздела уголь-песчаник) составляет  $k_v = 1,2$ ; горизонтальных напряжений -  $k_r = 11$ .

Подставляя принятые исходные данные, оцениваем величину расчетных напряжений для границы раздела уголь-песчаник, и сравниваем их с замеренными на шахте им. А.А. Скочинского (табл.1).

*Таблица 1*

*Данные расчета и замера компонент поля напряжений*

Глубина работ, м	Расчетные по гипотезе Динника		Расчетные по предлагаемой методике			Замеренные напряжения	
	$\sigma_v$ , МПа	$\sigma_r$ , МПа	$\sigma_v$ , МПа	$\sigma_{ш}$ , МПа	$\sigma_m$ , МПа	$\sigma_v$ , МПа	$\sigma_r$ , МПа
905	22,6	4,9...5,7	55	117	34	28...78	31,5...97

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что средняя замеренная величина вертикальных напряжений практически совпадает с расчетной, замеренные минимальные горизонтальные напряжения хорошо согласуются с расчетной меридиональной составляющей, а максимальные – с широтной.

Вводя коррективы в представления об исходном напряженном состоянии массива горных пород, и учитывая коэффициенты концентрации напряжений, полученные для ряда задач численными методами, получаем в горном массиве, нарушенном горными работами, напряжения, соизмеримые с прочностью пород в объемном неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений и более. Это позволяет объяснить разрушение горных пород вблизи контура выработок и краевой части массива, возникновение аномальных геодинамических явлений и т.п.

Для объяснения процессов в сильно неравновесных системах используются методы синергетики [23-25]. Синергетика открывает новые принципы изучения многослойного массива горных пород, дает знание о том, как надлежащим образом оперировать со сложными

системами, каковыми являются породные слои, и как эффективно управлять состоянием горного массива. Малые, но правильно организованные – резонансные воздействия на сложные системы чрезвычайно эффективны. Синергетика раскрывает закономерности и условия протекания быстрых, лавинообразных процессов и процессов нелинейного самоорганизующегося роста, каковыми являются горные удары, внезапные выбросы и др.

### **Выводы.**

В результате анализа существующих теоретических и экспериментальных методов исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород установлено, что в большинстве случаев используются численные методы теории упругости, пластичности, ползучести (методы конечных разностей, граничных и конечных элементов). Основным недостатком указанных методов является то, что с их помощью невозможно точно определить начальное напряженное состояние ненарушенного массива, оказывающее решающее влияние на величины и направление действия фактических напряжений вокруг образованных выработок, а также сложность выбора начальных и граничных условий.

К современным методам моделирования физических процессов в земных недрах относятся синергетические, энергетические и энтропийные, кроме того, авторы считают целесообразным использовать методы, разработанные при исследовании процесса сдвижения горных пород и земной поверхности.

Опираясь на эти методы и учитывая современные представления о напряженном состоянии нетронутого горного массива, можно существенно приблизиться к практическому использованию результатов исследования напряженно-деформированного состояния вокруг горных выработок.

### **Библиографический список**

1. Руппенейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород. М.: Углетехиздат, 1954.- 384 с.
2. Долгих М.А., Руппенейт К.В. К вопросу о разработке инженерной теории давления горных пород. – В кн.: Вопросы горного давления. Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1963.- С.22-31.
3. Михлин С.Г. О распределении напряжений в полуплоскости с эллиптическим вырезом //Тр. Сейсмол.ин-та АН СССР. – М.: 1934.- С.47-51.

4. Бренблатт Г.И., Христианович С.А. Об обрушении кровли в горных выработках. Изв. АН СССР, ОТН, 1955, №11.
5. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987.
6. Розин Л.А. Задачи теории упругости и численные методы их решения. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.
7. Жуков В.В., Чернов Е.В., Довгенко В.И. Напряженно-деформированное состояние слоистого массива. – Л.: Наука, 1973.- 132с.
8. Барашков В.Н. Алгоритм реализации задач теории упругости и пластичности вариационно-разностным методом. Томск: НИИ ПММ при ТГУ, 1993.- С.23-28.
9. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф.- М.: Мир, 1984.-Т.1.- 320с.; Т.2.- 350с.
10. Шашенко О.М., Тулуб С.Б., Сдвижкова О.О. Некоторые задачи статистической геомеханики. – К.: Универ. изд.-во «Пульсар», 2002. -304с.
11. Земисев В.Н. Расчеты деформаций горного массива / В.Н. Земисев. – М.: Недра, 1973. – 144 с.
12. Кодунов Б.А. Метод прогнозирования сдвижений горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений/ Б.А. Кодунов // Уголь.- 1991.-№2. - С.54-56.
13. Измерение напряжений в массиве горных пород.- Новосибирск: Наука, 1970.- 232с.
14. Техника контроля напряжений и деформаций в горных породах.- Л.: Наука, 1978. – 232с.
15. Исследование напряжений в выбросоопасных породах глубоких шахт Донбасса /А.И. Кульбачный, Н.Е. Волошин, И.В. Недашковский и др. – ШС.-1967.- №8.- С.8-11.
16. Короновский Н.В. Напряженное состояние земной коры. Сороковский образовательный журнал, 1997, №1.- С.50-56.
17. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. – Новосибирск: Наука, 1989.- 148с.
18. Кропоткин П.Н. Тектонические напряжения в земной коре. //Геотектоника, 1996.- №2.- С.3-5.
19. Рязанцев Н.А., Рязанцева Н.А. Современные представления о напряженном состоянии горного массива. В сб. матер. наук.-практ.конф. «Проблеми гірничої технології», Красноармійськ: КІІ ДонНТУ, 2010.- С.54-61.

20. Гликман А.Г. Планета Земля как совокупность колебательных систем и техногенные и природные землетрясения как следствие их. Санкт-Петербург, НТФ «Геофизика», 2010.- 16с.
21. Рязанцев Н.А., Носач О.К. Физика горных пород и процессов в вопросах и ответах. Красноармейск, КФ ДонГТУ, 1999.- 174 с.
22. Шамонин В.А. Концентрации напряжений на границах рудных зерен и во вмещающей среде при взрывном нагружении. //Разработка и обогащение твердых полезных ископаемых.- М.: Недра, 1981.- С.108-113.
23. Лавриненко В.Ф., Лысак В.И. Экспериментальное изучение механических и температурных напряжений вокруг выработок //Разработка рудных месторождений (киев).- 1986.-№42.- С.8-14.
24. Макаров П.В., Смолин И.Ю., Евтушенко Е.П. и др. Сценарии эволюции горного массива над выработкой. /Физическая мезомеханика, 2009.-№12.- С.75-82.
25. Назимко И.В. Термодинамический анализ вариаций деформационных свойств горной породы. Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2010, №7.- С.98-112.

*Надійшла до редколегії 30.08.2011*

**О.К. Носач, М.О. Рязанцев, Б.О. Кодунов, В.І. Ващенко,  
Н.А. Рязанцева**

Розглянуто методи дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву, показано вплив сучасних уявлень стосовно гірничого масиву на вибір методів рішення задач гірничої механіки.

**масив гірських порід, напружено-деформований стан, методи дослідження, аналіз**

**A.K. Nosach, N.A. Ryazantsev, B.A. Kodunov, V.I. Vaschenko,  
N.A. Ryazantseva**

The methods of investigation of the stress-strain state of rock mass, shows the influence of modern ideas about the rock mass to the selection of methods for solving problems of rock mechanics.

**rock mass, pre-stressed state, research methods, analysis**