

$$U_k | 0,02H_k 2 2,867, \text{ мм, при } R = 92,3 \%$$

– величина деформацій у бік висячого боку

$$U_k | 0,03H_k 4 8,533, \text{ мм, при } R = 96,4 \%$$

**Висновки.** За результатами першого етапу моделювання, величина деформації в масиві висячого та лежачого боків і у похилого днища в бік висячого боку неоднакова. У масиві висячого боку процес деформування розвивається у вигляді відшарування невеликих розмірів шарів масиву й утворення тріщин, в масиві лежачого боку – у вигляді відколювання окремих шарів масиву, що сповзають у простір очисної камери, а в масиві біля похилого днища у бік висячого боку – у вигляді утворення тріщин.

За результатами другого етапу моделювання, величина деформації масиву навколо первинної очисної камери залежить від моделювання глибини місця її закладення. Збільшення глибини моделювання камери на 100 м призводить до деформації масиву моделі: у бік висячого боку на 3 мм, у бік лежачого боку на 3 мм і у похилого днища в бік висячого боку на 1–2 мм. Результати моделювання деформації  $U_k$  у прилеглому масиві камер зі збільшенням глибин закладення  $H_k$  можуть бути описані лінійними залежностями.

#### Список літератури

1. Кононенко М.М. Обґрунтування раціональних параметрів кріплення нарізних виробок у зонах впливу очисних камер на великих глибинах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 – Дніпропетровськ, 2009. – 19 с.
2. Изучение проявлений горного давления на моделях / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, А.А. Филипова и др. – М.: Углетехиздат, 1959. – 239 с.

Изложена методика физического моделирования предельно допустимых напряжений вокруг очистных

камер с помощью эквивалентных материалов. Представлен характер деформации модели вокруг первичных очистных камер с учетом примыкания буровых ортов. Установлены основные области деформации и трещинообразования массива вокруг камер. Приведены результаты разрушения массива модели при исследовании глубины заложения очистных камер. Установлено, что увеличение глубины заложения камер приводит к возрастанию деформации массива модели в висячем и лежачем боках, а также у наклонного днища в сторону висячего бока от камер. Выявлены эмпирические зависимости величины деформации от глубины заложения очистных камер.

**Ключевые слова:** *физическое моделирование, эквивалентный материал, модель камеры, величина деформации, глубина заложения*

Technique of physical modeling of maximum permissible stresses around the extraction cameras by means of equivalent materials has been described. Character of deformation of model round fundamental mining cameras taking into account an adjunction of drilling orts is presented. The basic areas of deformation and cracking of the massif around cameras have been established. Results of the massif model destruction was set when researching of mining cameras depth location. It has been established, that the increase in cameras depth location leads to increase of the massif model deformation in hanging and lying sides, and also at the inclined bottom towards hanging wall from cameras. Empirical dependences between the size of deformation and the mining cameras depth location have been revealed.

**Keywords:** *physical modeling, equivalent material, chamber model, deformation size, depth of location*

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.А. Ковалевською 23.03.10

УДК 622.831.001

© Фомичов В.В., Зубер Р.В., Сівак Г.П., 2010

В.В. Фомичов, Р.В. Зубер, Г.П. Сівак

## ОСОБЛИВОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ АНКЕРА І ПОРІД ГІРСЬКОГО МАСИВУ

V.V. Fomichov, R.V. Zuber, G.P. Spivak

### FEATURES OF COMPUTING DESIGN OF INTERACTION OF ANCHOR AND ROCK OF MOUNTAIN MASSIF

Широке застосування анкерів при підтримці виробок вимагає пошуку оптимальних показників анкерного кріплення в різних умовах експлуатації. При постановці обчислювального експерименту необхідно моделювати анкер і умови його сполучення. Для оцінки впливу параметрів моделі анкера на результат були виконані тестові розрахунки. Результати розрахунків дозволили отримати низку закономірностей впливу різних параметрів моделі анкера на загальну картину розподілу напружень.

**Ключові слова:** *анкер, напружено-деформований стан, розрахункова схема, поза межний стан, повні переміщення*

На даний момент на більшості підприємств гірничодобувної галузі України широкого використання під час проведення гірничих виробок набуло рамно-

анкерне кріплення. Зокрема, для підтримки пластових виробок на шахтах ВАТ „Павлоградвугілля“ застосовують рамне кріпленням КШПУ з профілем СВП та

сталеві анкери довжиною до 2,5 м, які закріплюються в гірському масиві за допомогою швидкотвердіючих полімерних сумішей. При цьому даний вид кріплення використовується для підтримки пройдених виробок у різноманітних гірничо-геологічних умовах.

Натурні спостереження, проведені в шахтах ВАТ „Павлоградвугілля“, показали, що основою успішного застосування рамно-анкерного кріплення є оптимальне розташування анкерів по контуру виробки. Пошук такого оптимального рішення можливий трьома шляхами: натурним, лабораторним і обчислювальним експериментами.

Обчислювальний експеримент, з багатьох причин, є найбільш важливим [1]. По-перше, при натурних експериментах неможливо отриманий матеріал досліджень переносити у інші геотехнічні умови, а час проведення дослідження неможливо скоротити. По-друге, лабораторні експерименти саме для варіантів рамно-анкерного кріплення володіють високою трудомісткістю, й адекватність моделей може бути знижена за рахунок помилок, виникаючих при наданні початкових умов у постановці експерименту. Тобто, для забезпечення адекватності одного дослідження часто доводиться вдаватися до експерименту на декількох моделях, створюваних окремо. Таким чином, на відміну від натурального експерименту, лабораторний дає можливість досить швидко отримати результат для різноманітних гірничо-геологічних умов, але вимагає при цьому витрати значних зусиль для підготовки моделі та формування початкових умов.

При проведенні обчислювальних експериментів основною проблемою є вибір адекватної фізичної моделі, на основі якої виконуються розрахунки [2].

Складні розрахункові моделі, що складаються з великої кількості різноманітних об'єктів, вимагають від дослідника визначення умов взаємодії цих об'єктів.

Розрахунок моделі взаємодії рамно-анкерного кріплення та приконтурного гірського масиву для умов пластової виробки шахти „Ювілейна“ показав, що розподіл напружень в анкерах та прилеглих до них порід певною мірою залежить від поточних гірничотехнічних умов (рис. 1).

У наведеному зображенні (рис. 1) бачимо, що механізм роботи анкерів навіть у межах однієї розрахункової моделі може значно відрізнятись. У верхній частині анкера затискаються більш міцним алевролітом, а розподіл напружень у нижній частині анкерів обумовлюється не тільки характеристиками міцності навколишніх менш міцних аргілітів, але і їх місцем розташування. Віддалений від центрального анкера, на відміну від інших анкерів, сприймає значні напруження в зоні безпосередньо прилеглої до контуру виробки. Така картина не характерна і викликана конкретною комбінацією розташування анкерів і гірничо-геологічних характеристик вміщувального гірського масиву.

Під час проведення низки розрахунків, стало актуальним питання про вплив на їх результат характеристик моделі анкера [2, 3]. Тому було проведено обчислювальний експеримент для аналізу впливу на розподіл напружень у гірській породі двох параметрів анкерного кріплення – ступеня натягу анкера і величини площі опорної шайби. Задача розв'язана в пружно-пластичній постановці для 25 комбінацій змінних величин.

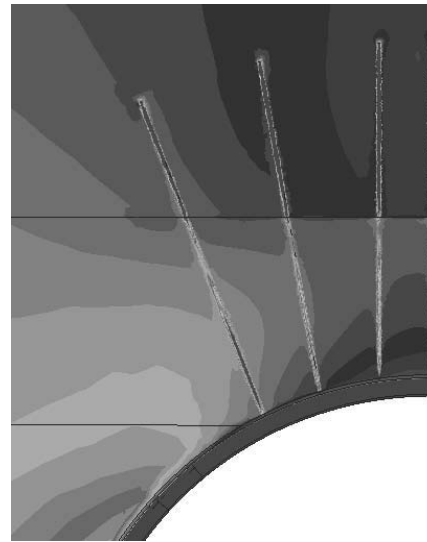


Рис. 1. Фрагмент епюри наведених напружень рамно-анкерного кріплення та прилеглому гірському масиву

При вивченні впливу розрахункових параметрів окремого анкера на розподіл напружень в породі була розроблена наступна розрахункова схема: прямокутний породний блок спирається на два жорсткі опорні майданчики, між якими виникає прогин шириною 4 м. По осі симетрії, що проходить через центр мас блока, розташовується шпур довжиною 2,4 м, в який вміщується анкер, на вільному кінці якого моделюється, у вигляді жорстко закріпленого диска, опорна шайба.

Під час обчислювального експерименту змінювався діаметр опорної шайби від 120 до 240 мм і, моделюючи ступінь попереднього натягу анкера, опорну шайбу вдавлювали в породний блок на глибину від 0 до 40 мм.

На першому етапі обчислювального експерименту для заданих параметрів розрахункової схеми, без анкера і шпуру, було отримано розподіл напружень в блоці алевроліту (рис. 2).

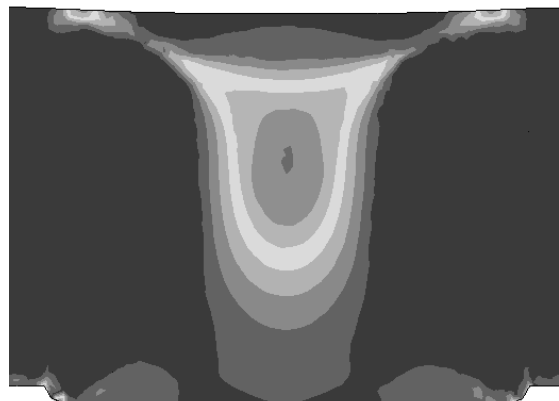


Рис. 2. Епюра наведених напружень і переміщень породного блоку без анкера

Як видно, за вибраної величини гірського тиску, модель породи переходить в позамежний стан з формуванням зони пониженого напруження в середній частині навантаженого блока.

Подальше зростання деформацій призводить до втрати цілісності розрахункової моделі, що не дозво-

ляє виконувати аналіз отриманих результатів в рамках механіки суцільного середовища. Однак, отримані в ході розрахунків величини інтенсивності росту напружень дозволяють зробити висновки про ефективність застосування анкерного кріплення. Про що буде сказано нижче.

Подана епюра напружень (рис. 2) стала еталоном для порівняння результатів, одержаних за різноманітних комбінацій механічних характеристик моделі анкера.

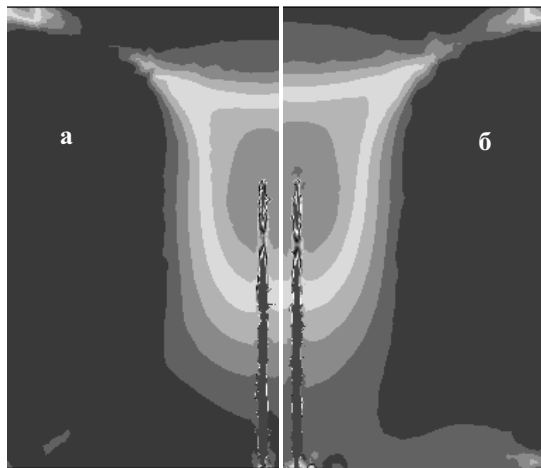


Рис. 3. Епюри наведених напружень в породному блоці при мінімальному (а) і при максимальному (б) діаметрі опорної шайби

На першому етапі розглянемо вплив площі опорної шайби на картину і величину напружень, що виникають в породному блоці. При одних і тих же значеннях попереднього натягу анкера збільшення площі опорної шайби призводить до зниження величини напружень в нижній „прогонній“ частині породного блока. Однак ці напруження мають різну абсолютну величину. Чим вище величина попереднього натягу анкера, тим більше на розподіл напружень впливає розмір площі опорної шайби анкера.

Вище (рис. 3) наведені найбільш характерні епюри наведених напружень, отриманих при відсутності попереднього натягу анкера. Порівняння цих епюр показує характер зміни напружено-деформованого стану гірської породи.

Для варіанта з найменшою площею опорної шайби (рис. 3, а) було отримано розподіл напружень, що якісно і кількісно поступається результатам, отриманим при розрахунку породного блока без анкера (рис. 2). Це єдиний результат розрахунків, що показав негативну динаміку в розподілі напружень щодо еталону. І його легко пояснити – негативний вплив шпуну на міцність породного блока не компенсується встановленням анкера через малі контактні зусилля, задані при постановці обчислювального експерименту.

З іншого боку, зростання розміру площі опорної шайби в два рази якісно змінює картину розподілу напружень (рис. 3, б) не тільки в нижній частині прогину породного блока, але і в його центральній частині, охоплюючи зону до 85% від загальної висоти блока. При цьому кількісні показники напружено-деформованого стану залишаються в межах еталона.

При аналізі всього діапазону розрахунків, була виявлена наступна особливість залежності повних переміщень в системі від величини площі опорної шайби анкера до переходу в граничний стан, відхилення значень максимальних переміщень від еталонного становили не більше 5% у порівнянні з обчислювальною похибкою, а після переходу в позамежний стан – відхилення збільшувалися на порядок і склали від 25 до 55%, залежно від величини первинного натягу анкера.

Як найбільш показові розглянемо епюри повних переміщень в розрахунковій моделі, отримані для середньої величини площі опорної шайби анкера. Ці епюри відповідають моменту перед переходом елементів еталонної розрахункової моделі від позамежного стану суцільного середовища до руйнування.

На рис. 4, у лівій частині, наведені фрагменти епюр нижньої частини породного блока, що вміщують межу лівої опорної площини та вільно завислої частини розрахункової моделі. Ця межа добре помітна, оскільки саме до неї сходяться всі ізолінії. У правій частині рис. 4 наведені легенди цих епюр.

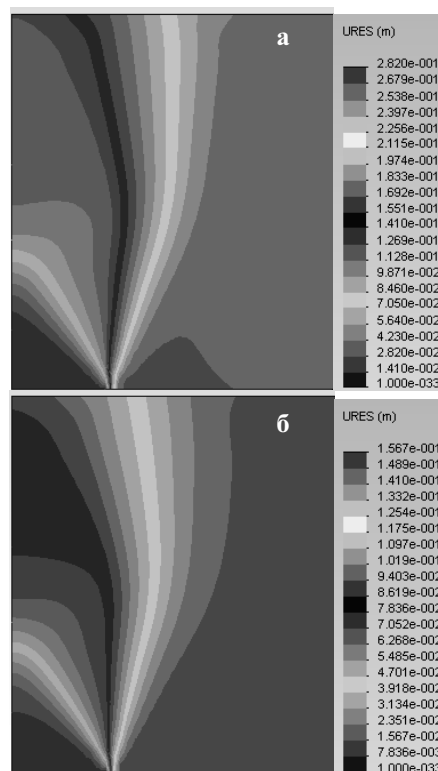


Рис. 4. Епюри повних переміщень в породному блоці без попереднього (а) і з максимально змодельованою величиною натягу анкера (б)

Порівнюючи значення в легендах епюр переміщень (рис. 4), відразу можна зробити висновок про зниження величини абсолютних переміщень зі збільшенням величини попереднього натягу анкера. Для кожної з фіксованих величин площі опорної шайби анкера і різних значень попереднього натягу, були отримані залежності, близькі до лінійних, розбіжності між якими не перевищили 7%.

При значній величині попереднього натягу анкера (рис. 4, б), в „прогонній“ частині породного блока спо-

стерігається рівномірний розподіл абсолютних значень повних переміщень. Тобто, пролітна частина успішно чинить опір прикладеним до неї навантаженням.

Коли попередній натяг анкера відсутній або має незначну величину (рис. 4, а), тоді в нижній області „пролітній“ частини моделі, що межує з кордоном опорного майданчика, виникає зона підвищених переміщень. Ця зона показує, що на поверхні досліджуваного породного блока утворюються умови для інтенсивного тріщинотворення.

Тепер розглянемо вплив попереднього натягу анкера на розподіл напружень у породному блоці (рис. 5).

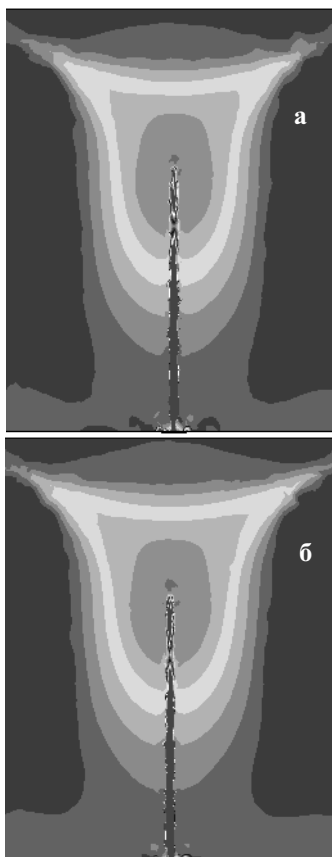


Рис. 5. Епюри наведених напружень в породному блоці без (а), з середнім (б) і максимальним (в) попереднім натягом анкера

Основною особливістю зміни епюр наведених напружень є зростання зони знижених напружень в центральній частині породного блока. При цьому легко виявляються дві тенденції: перша – при малих величинах попереднього натягу анкера відбувається інтенсивне зростання зони знижених напружень в нижній „прогонній“ частині породного блока; друга – при великих величинах попереднього натягу анкера, відбувається інтенсивне зростання напружень в зоні дна шпуру.

Таким чином, попередній натяг анкера впливає на формування епюр напружень в породному блоці нелінійно, а оптимальне значення натягу слід знаходити з суперпозиції двох нелінійних функцій.

Зі зростанням зовнішнього навантаження навколо опорної шайби анкера, в блоці породи формується поглиблення (ефект штапу) [4]. За своїми геометри-

чними характеристиками воно нагадує аналогічні утворення, що спостерігаються в зонах взаємодії елементів кріплення і гірського масиву на шахтах „Ювілейна“ та „Степова“ ВАТ „Павлоградвугілля“. За умови присутності подібного ефекту в результатах розрахунків, можна говорити про високий рівень відповідності вибраної розрахункової моделі і натурних умов експлуатації анкерною кріплення.

#### Висновки:

– при моделюванні взаємодії анкера і слабких порід результати вказують на підвищення міцності системи „анкер-породний блок“, відносно звичайного породного блока, при переході її елементів у позамежний стан;

– величина попереднього натягу анкера є основним показником, що впливає на величину переміщень в прогонній частині моделі породного блока;

– зміна розміру опорної шайби анкера значно впливає на величину і розподіл напружень в гірській породі тільки за попереднього натягу анкера.

#### Список літератури

1. Ковалевская И.А., Поротников В.В., Фомичев В.В. Анализ подходов к разработке методов расчета параметров упрочнения вмещающих горную выработку слабых пород анкерами // Научный вестник НГУ. – 2005. – №8. – С. 80–81.
2. Обоснование и исследование пространственной геомеханической модели сдвижения вокруг пластовой выработки тонкослоистого массива слабых пород / Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович А.Г., Фомичев В.В. // Вісті Донецького гірничого ін-ту, 2009. – №1. – С. 183–190.
3. Симанович А.Г., Фомичев В.В. Исследование зоны предельного состояния пород вокруг выработки в мелкослоистом горном массиве // Матер. междунар. конф. „Форум гірників – 2006“, Том 1. – Днепропетровск: НГУ, 2006. – С. 34–39.
4. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга II. Предельное и запредельное состояние системы „порода–крепь“ / Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович А.Г., Фомичев В.В. – Днепропетровск: Системные технологии, 2007. – Ч. II. – 198 с.

Широкое применение анкеров при поддержании выработок требует поиска оптимальных показателей анкерного крепления в различных условиях эксплуатации. При постановке вычислительного эксперимента необходимо моделировать анкер и условия его сопряжения. Для оценки влияния параметров модели анкера на результат были выполнены тестовые расчеты. Результаты расчетов позволили получить ряд закономерностей влияния различных параметров модели анкера на общую картину распределения напряжений.

**Ключевые слова:** анкер, напряженно-деформированное состояние, расчетная схема, запредельное состояние, полные перемещения

Wide application of anchors for maintenance of mine tunnel requires searching of optimum indexes of the anchor fastening in various external environments. By carrying out a computing experiment it is necessary to design an anchor and terms of its interface. Test calculations were executed in order to estimate influence of model of anchor parameters on the result. The result of calculations has made it possible to get a number of regularities

of influencing of different parameters of model of anchor on the general picture of stress distribution.

**Keywords:** anchor, stress-strain state, calculation scheme, supraliminal condition, total displacement

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Кузьменком 25.01.10

УДК 622.276

© Садовенко И.А., Инкин А.В., 2010

И.А. Садовенко, А.В. Инкин

## ДИНАМИКА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАСТА КОЛЛЕКТОРА ВОДОНОСНОГО ГАЗОХРАНИЛИЩА\*

I.A. Sadovenko, A.V. Inkin

### HYDROMECHANICAL CHANGES OF THE RESERVOIR WATER-BEARING GAS STORAGE COEFFICIENTS

Обоснован методический подход к численной оценке напряженно-деформированного состояния горного массива в процессе закачки газа в водоносные пласты. На его основе для условий Приднепровского гидрогеологического района оценены объемная деформация, изменения физико-механических и диффузионно-адсорбционных свойств пласта-коллектора. Полученные результаты позволят более точно учитывать фильтрационные свойства и эффективную емкость водоносных газохранилищ.

**Ключевые слова:** водоносное газохранилище, пласт-коллектор, объемная деформация

**Введение.** Одним из перспективных направлений развития газовой промышленности Украины является освоение новых и оптимизация использования действующих подземных хранилищ газа. В работе [1] уже была рассмотрена возможность их создания в водоносных пластах Приднепровского гидрогеологического района, однако влияние аккумуляции газа на напряженно-деформированное состояние (НДС) горных пород не изучалось. Наряду с этим, физические предпосылки и промышленный опыт работы газохранилищ в схожих условиях [2] требуют обоснования параметров деформации пласта-коллектора, а также оценки изменений его фильтрационных и диффузионно-адсорбционных свойств в результате закачки и отбора газа. Неадекватный учет этих процессов может привести к большим погрешностям при расчете гидродинамических параметров, от которых зависит стабильная эксплуатация газохранилища, поэтому их количественная оценка является важной научно-практической задачей.

**Физические основы модели.** До начала закачки газа водоносный пласт находится в статическом равновесии с окружающим его горным массивом (очевидно, что ламинарная природная фильтрация не существенна). При этом в водовмещающих породах постоянно действует нормальное напряжение  $\sigma$ , а вода в порах находится под давлением  $P$  (рис. 1). В результате нагнетания газа в пласт, из него будет вытесняться вода, а давление в порах – повышаться с  $P_1$  до  $P_2$ . Это приведет

к увеличению емкости пласта вследствие превышения давления газа над действующим нормальным напряжением, что сокращает объем частиц, составляющих скелет породы и увеличивает его поры. Вода, также, сжимается, поэтому емкость для закачки газа повышается. Определение результирующих объемных деформаций  $dV$  в данном случае возможно путем расчета действующих напряжений, равных разности  $\sigma - P$ .

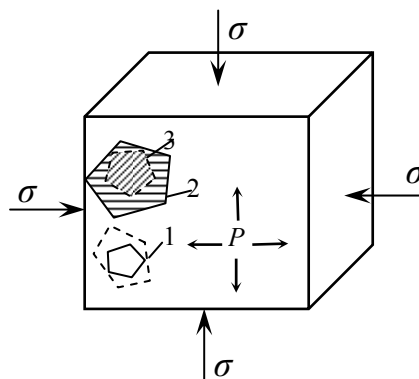


Рис. 1. Схема объемной деформации пласта-коллектора: 1 – поровое пространство; 2,3 – контур твердой фазы пласта соответственно до закачки газа и в процессе увеличения давления  $P$

\*Приведенные исследования выполнены при поддержке фонда гражданских исследований и развития CRDF США (грант № USB1-021-DP-07 Научно-образовательного центра НГУ).