

УДК 622.834(477.6)

*В.Г. Ларченко, Донбаський державний технічний університет*

*С.Є. Короткова, Донбаський державний технічний університет*

*О.А. Тищенко, Донбаський державний технічний університет*

## **ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРУШЕННЯ Й ДЕФОРМАЦІЙ МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

В.Г. Ларченко, С.Є. Короткова, О.А. Тищенко

Теоретичні дослідження зрушення й деформацій масиву гірських порід

Приведені результати теоретичних досліджень розрахунку зрушення та деформацій п'ятишарової товщі гірських порід у напрямку, перпендикулярному лінії очисного вибою. Отримані результати досліджень адекватні результатам натурних спостережень.

*Ключові слова:* зрушення, деформація, масив, гірські породи.

В.Г. Ларченко, С.Е. Короткова, Е.А. Тищенко

Теоретические исследования сдвижений и деформаций массива горных пород

Приведены результаты теоретических исследований расчета сдвижений и деформаций пятислойной толщи горных пород в направлении, перпендикулярном линии очистного забоя. Полученные результаты исследований адекватны результатам натурных наблюдений.

*Ключевые слова:* сдвижение, деформация, массив, горные породы.

Одними з важливіших завдань гірничої справи є дослідження напружено-деформованого стану й визначення тиску масиву порід навколо гірських виробок. Але через велику різноманітність фізико-механічних та структурних властивостей порід, умов проведення й експлуатації гірських виробок, наявність у товщі гірничо-геологічних порушень (зсувів, скидів тощо) виникає складність у виборі універсальної механічної моделі роботи масиву, а також алгоритму й розрахункової схеми.

Зараз при розрахунках зрушення й деформацій цілком можливо використовувати відомі методи розрахунку плит або балок, тому що зрушення

й деформації підробленого масиву виявляються у вигляді послідовного прогинання окремих шарів. Але таке рішення повинне враховувати виникнення бічного розпору при прогинанні шарів, яке повинне перешкоджати можливості зрушення по площинах нашарувань при похилому й крутому заляганні пластів. Проте в певних умовах такі зрушення можливі і створюють найбільш небезпечні деформації земної поверхні й споруд, що підробляються.

Тому дослідження геомеханічної суті умов зрушення й деформацій гірських порід по нашаруванню з одночасним рішенням практичних завдань у конкретних гірничо-геологічних умовах є актуальними при первинній підробці земної поверхні.

Розрахункова схема механічної моделі гірських порід з круглою горизонтальною виробкою розглядалася вперше А.Н. Динніком, Г.Н. Савіним та Б.Г. Моргалевським [1]. Реальний гірський масив моделювався невагомим середовищем, для якого на нескінченності задані значення  $\gamma h$ . Завдання вирішувалося для суцільного, пружного, однорідного середовища методами теорії функції комплексного змінного.

Такий підхід застосовний у разі, коли спочатку в невагомому й ненавантаженому масиві „утворюється” виробка, а потім відбувається навантаження масиву порід гравітаційними силами. Насправді гірська виробка проводиться в раніше навантаженому масиві, деформації якого від дії гравітаційних сил уже відбулися. У масиві незрушеним гірничими роботами існує природне поле напружень. При проведенні очисної виробки вугілля з її контуру забирається. Але ж це вугілля впливало на навколишній масив. Якщо замінити дію вугілля, що забирається, напруженнями, докладеними по контуру виробки та рівними компонентам природного поля напружень, то напружений стан навколишнього масиву не зміниться.

Тому можливі два підходи до розрахунку напружено-деформованого стану гірського масиву навколо гірських виробок [2]. Перший з них включає розрахунок поля напруги, що залишається, і поля переміщень, що залишається, по схемі А.Н. Динніка з подальшим відніманням з поля переміщень компонент

природного поля переміщень. При іншому підході спочатку визначаються компоненти природного поля напруги, а потім по компенсуючому навантаженню визначаються компоненти тимчасових полів напруги і переміщень. Необхідно відзначити, що приведені міркування відносяться до однорідного масиву, що лінійно деформується.

Необхідно провести дослідження напружено-деформованого стану масиву гірських порід, що складається з двох різних шарів порід (чверткових відкладень і кам'яновугільної товщі), розбитих на п'ять шарів, паралельних покрівлі пласта, над очисною виробкою, а також розробити алгоритм і виконати розрахунок зсувів і деформацій масиву гірничих порід.

Для розрахунку зрушень і деформацій порід нами прийнята область, що складається з двох різних шарів, паралельних покрівлі пласта, над виробкою в зоні плавного прогинання, і шарів, що залягають у ґрунті очисної виробки. Деформації порід ґрунту в цій статті не розглядаються. Для дослідження напружено-деформованого стану вище розміщеної товщі в першому наближенні вважаються справедливими гіпотези, використовувані в теорії вигину балок.

Внутрішні зусилля в шарах приводяться до моментів, що вигинають, поперечних і подовжніх сил. Між шарами діє нормальна й дотична напруга, яка виражається через зусилля в шарах за допомогою рівнянь рівноваги. Рівняння спільності деформацій різних шарів отримуємо, використовуючи гіпотези, аналогічні прийнятим у роботі [3].

Ці гіпотези в застосуванні до вивчення напружено-деформованого стану навколо гірничих виробок формулюються наступним чином. Перша гіпотеза: різниця прогинань двох сусідніх шарів компенсується розтягуванням або стисненням у поперечному напрямі цих шарів. Це можна записати так:

$$y_i - y_{i+1} = \frac{3}{8} \left( \frac{h_i}{E_i} + \frac{h_{i+1}}{E_{i+1}} \right) \sigma_{y_i}, \quad (1)$$

де  $h_i$  і  $h_{i+1}$  – потужності даних суміжних шарів;  $E_i$  і  $E_{i+1}$  – модулі подовжньої пружності цих шарів;  $\sigma_{y_i}$  – напруга, що відриває.

Друга гіпотеза: різниця подовжніх деформацій на стику двох шарів компенсується зрушенням прилеглих волокон контактуючих шарів. Або в аналітичному вигляді

$$\int (\varepsilon_{xi} - \varepsilon_{xi+1}) dx = \frac{1}{3} \left( \frac{h_i}{G_i} + \frac{h_{i+1}}{G_{i+1}} \right) \tau_{xyi}, \quad (2)$$

де  $G_i$  і  $G_{i+1}$  – модулі пружності при зсуві;  $\varepsilon_i$  і  $\varepsilon_{i+1}$  – відносні подовжні деформації волокон на стику шарів,  $\tau_{xyi}$  - напруга, що зсуває.

Алгоритм розрахунку зрушення й деформацій масиву гірничих порід має таку структуру.

Товщу порід покрівлі представимо у вигляді п'яти шарів як різних, так і однакових властивостей. Система рівнянь буде різною для ділянок над виробкою і для прилеглих ділянок. Внутрішні зусилля в кожному шарі приводяться до подовжньої і поперечної сил, а також до моменту, що вигинає. На відміну від раніше прийнятих розрахункових схем увесь шар розглядається як шарувата плита на пружній підставі в умовах циліндрового вигину. Спостерігається спільна робота масиву над виробкою й масиву над ділянками, прилеглими до виробки.

Для одного шару на іншій зводяться до напруження, що зсуває  $\tau_{xy}$  і що відриває  $\sigma_{yi}$ .

У раніше проведених дослідженнях [4] у розрахунковій схемі приймалася двошарова модель масиву гірських порід, що добре описує якісну картину напружено-деформованого стану гірських порід навколо очисної виробки. Але ця картина ще відрізняється від результатів натурних спостережень [5] через відмінність розрахункової міцності порід, неврахованих пластичних деформацій і повзучості чверткових відкладень. У нинішній роботі були продовжені дослідження, шари порід, що досліджуються, також представлені шаром глини потужністю 50 м і пісковіку шаруватого потужністю 100 м, проте при розрахунку нижній шар пісковіку завтовшки 30 м виключався з роботи (зона обвалення порід і зона з наявністю перпендикулярних нашаруванню

водопровідних тріщин), товща, що залишилася, ділилася на три однакових шаруючи, а верхній шар чверткових відкладень ділився на два шаруючи.

Явища повзучості, що відбуваються, були враховані зниженням модулів пружності: модуль пружності глинистих відкладень понижений у 12 разів, пісковнику – у 8 разів, що дозволило наблизити результати розрахунків до натурних спостережень [5].

За отриманими результатами були побудовані графіки осідань нижнього шару й поверхні (рис. 1б), а також графік горизонтальних деформацій поверхні (рис. 1а), при цьому використовувалися граничні кути та кути повних зрушень, характерні саме для Західного Донбасу [6; 7].

Отримані результати досліджень адекватні результатам натурних спостережень, що дає впевненість у правильності вибору підходу, алгоритму й методики до розрахунку стану, що напружено деформується, а також зрушень і деформацій масиву гірських порід над очисною виробкою в головному перетині мульди зсуву.

Використання цієї методики надалі дозволить установити потужність міцних шарів гірських порід, при якій ці породи в змозі тривалий час стримувати процес зрушення, утворюючи порожнини розшарування (порожнини Вебера), що заповнюються газом або водою, які при утворенні тріщин можуть створювати небезпечні по вибуху й затопленню умови над очисною виробкою. Також з'явиться можливість уточнити механізм деформації шарів і встановити залежність визначуваних параметрів процесу зсуву гірських порід від коефіцієнта міцності шарів товщі, що підробляється.

### **Література**

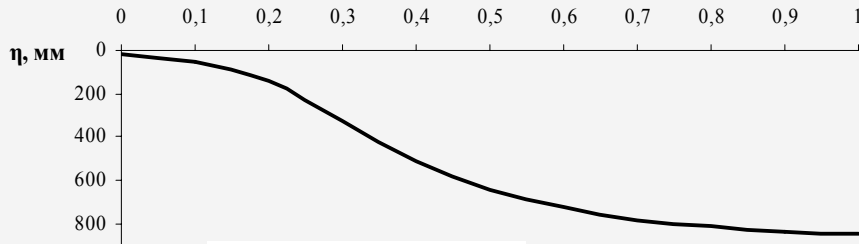
1. **Дынник А. Н.** Распределение напряжений вокруг подземной выработки / А. Н. Дынник, Г. Н. Савин, Б. Г. Моргалевский // Тр. совещания по управлению горным давлением. – М. : АН СССР, 1938. – 360 с.

2. **Ершов Л. Б.** Механика горных пород / Л. Б. Ершов, Л. К. Либерман, К. Б. Нейман. – М. : Недра, 1987. – 192 с.

**а) Графік горизонтальних деформацій земної поверхні**



**Графік осідань земної поверхні**



**б) Графік осідань нижнього шару**

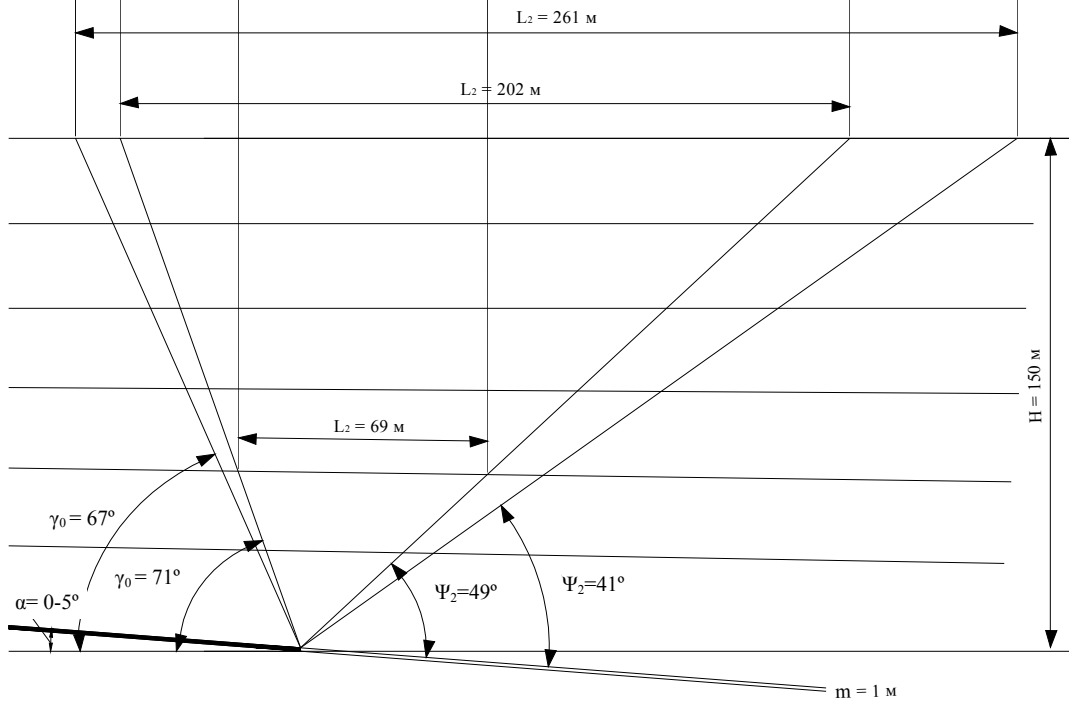
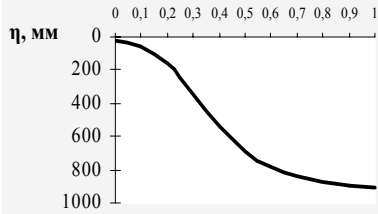


Рис.1. Графіки осідань і горизонтальних деформацій:  
а) земної поверхні; б) нижнього шару

3 **Короткова С. Е.** Особенности постановки задачи концентрации напряжений в клеевом соединении с жестким швом дифференциально-разностным методом // Сопротивление материалов и теория сооружений. – К. : КНУБА, 2000. – Вып. 67. – С. 104–110.

4. **Ларченко В. Г.** Расчет напряжений и деформаций толщи горных пород, покрытых мощными четвертичными отложениями / В. Г. Ларченко, С. Е. Короткова // сб. науч. тр. ДонГТУ. – Вып. 20. – Алчевск : ДонГТУ, 2005. – С. 139–150.

5. **Ларченко В. Г.** Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности : В. Г. Ларченко // Вестн. МАНЭБ. – 1998. – № 4(12). – С. 39–41.

6. **Ларченко В. Г.** Вертикальные сдвиги и деформации горных пород над движущимся очистным забоем / В. Г. Ларченко, И. Г. Лисица // Изв. вузов. Горный журнал. – 1984. – № 4. – С. 6–8.

7. **Ларченко В. Г.** Закономерности горизонтальных сдвигов и деформаций земной поверхности над движущимся очистным забоем / В. Г. Ларченко // Разработка месторождений полезных ископаемых : Респ. межвед. техн. сб. – Киев : Техника, 1984. – Вып. 79. – С. 67–73.

V.G. Larchenko, S.E. Korotkova, E.A. Tishenkova

Theoretical researches of moving and deformations of array of mountain breeds.

The results of theoretical researches of shifting and deformation calculations of five-layer thickness of rock in the direction which is perpendicular to the line mining face are presented in this article. The taken data of researches are similar to the results in-situ measurements.

*Key words:* shifting, deformation, massif, mining rock.

Відомості про авторів

**Ларченко Віталій Григорович** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри „Маркшейдерія, геологія і геодезія” Донбаського державного технічного університету.

**Короткова Світлана Юхимівна** – кандидат технічних наук, професор кафедри „Теоретична і будівельна механіка” Донбаського державного технічного університету.

*Тишенкова Олена Анатоліївна* – аспірант кафедри „Маркшейдерія, геологія і геодезія” Донбаського державного технічного університету.