

ПРО ВПЛИВ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВНИЙ СТАН В ОКОЛІ ЗАМКОВОЇ ЧАСТИНИ АНКЕРНОГО ШПУРА

В работе рассмотрено численное решение пространственной задачи теории упругости для полуплоскости по определению напряженно-деформированного состояния в окрестности замковой части шпура с установленным металлополимерным анкером. Замковая часть анкера нагружена осевой растягивающей силой, массив горных пород в окрестности закрепления анкера находится под действием боковой составляющей гравитационных сил. С применением МКЭ определялась зона влияния свободной поверхности на напряженно-деформированное состояние массива горных пород в окрестности шпура. Полученные графики демонстрируют распределение напряжений и перемещений в окрестности замковой части шпура.

ON FREE SURFACE INFLUENCE ON STRESS-STRAIN ROCK STATE NEAR BOREHOLE BOLT LOCK

The paper is devoted to numerical space elastostatic half plate task to define stress-strain state near borehole lock part with fixed resin-metal bolt. Lock anchor part is subjected to tensile axes force and rock near anchor borehole is under hydrostatic pressure. Free surface influence zone on stress-strain rock state near anchor borehole was determined with FEM approach. Obtained strain state results are demonstrated there distributions for anchor lock part.

Актуальність. В складних гірничогеологічних умовах на вугільних шахтах України виявили високу ефективність анкери з попереднім навантаженням [1]. Визначення впливу попереднього навантаження є актуальною задачею не тільки у практичному аспекті його застосування, але й у теоретичному. Для коректного розв'язання задачі про вплив попереднього навантаження вона повинна бути сформульована як змішана задача теорії пружності для півплощини. Рішення задачі у такій постановці має серйозні складнощі, які не завжди можна побороти. Достатньо розробленою і менш складнішою задачею є просторова задача теорії пружності для достатньо довгого отвору [2-3]. Виникає проблема виявлення меж застосування цієї простішої задачі замість змішаної задачі теорії пружності. Таким чином, проблема визначення впливу вільної поверхні на напружено деформований стан встановленого анкера є актуальною і безумовно підлягає ретельному вивченню.

Дія анкеру на поверхню шпура, у загальному випадку, еквівалентна дії нормальних та дотичних напружень, викликаних реакцією масиву на встановлений анкер. Величини нормальних та дотичних напружень можуть бути різними за величиною і можуть бути зумовленими як процесами довантаження при подальшому просуванні забою виробки, або процесами втрати міцності порід поблизу анкера.

Умовно схема закріплення окремого анкера зображена на рис. 1. в гірській породі (1) виконується свердловина радіусом r_0 , на деякій частині якої анкер (2) кріпиться за допомогою спеціальної фіксуєної суміші (3). довжина ділянки, на якій фіксується анкер – $2l$. для створення умов відсутності розшарування шарів породи у околі забою та для підготовки анкерної штанги до негайного сприйняття навантаження, анкер попередньо навантажують осьовим зусиллям P . внутрішній тиск у замковій частині анкера є реакцією штанги анкера на боковий тиск $\lambda \gamma h$.

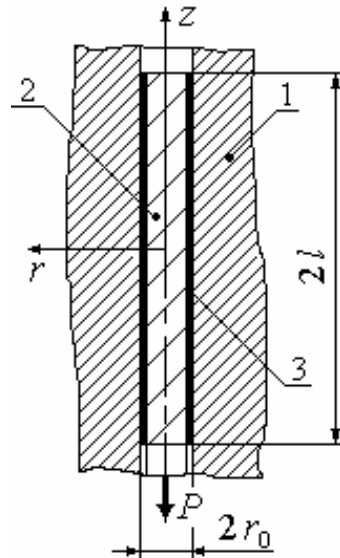


Рис. 1 - До постановки задачі про навантаження частини свердловини встановленим анкером

Будемо вважати, що середовище є однорідним та ізотропним, а закріплення анкера здійснюється у глибині шпура на відстані від вільної поверхні, що значно перевищує його діаметр. Ці спрощення дають змогу розглядати модель середовища як пружний простір з достатньо довгим циліндричним отвором [2-3].

Постановка задачі. При розв'язку поставленої задачі (рис. 1) в роботі [2] робилося припущення, що закріплення анкера здійснюється у глибині шпура на відстані від вільної поверхні, що значно перевищує його діаметр. Виникає питання, що розуміти під словом «значно»? Існує принцип Сен-Венана, який дозволяє послабити граничні умови і використати це рішення замість початкового. Відстань впливу цієї заміни визначають відстанню, що є порівнянна з поперечним розміром невеликої частини навантаженої поверхні тіла. Спробуємо скористатися такою заміною початкової задачі і оцінити зону впливу цієї заміни. Тобто знайдемо відстань до вільної поверхні, для якої буде справедливим знайдений розв'язок в [2]. Оскільки задача не може бути розв'язана аналітично задачу було розглянуто чисельно - методом кінцевих елементів(МКЕ). Замкова частина анкера знаходиться на відстані 2 м від місця де розрахункова модель має закріплення, розміри зони гірської породи, у якій зроблено шпур, представлено циліндром діаметром 4 м (рис. 2). Схема розбиття моделі на кінцеві елементи представлена на рис.3.

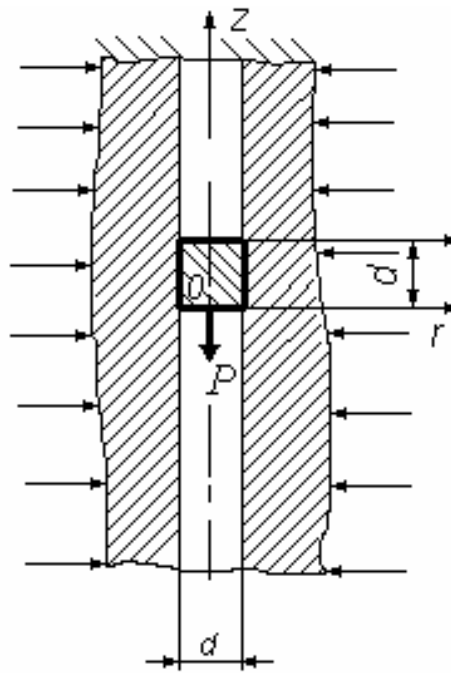


Рис. 2. Схема навантаження, що використовується для МКЕ

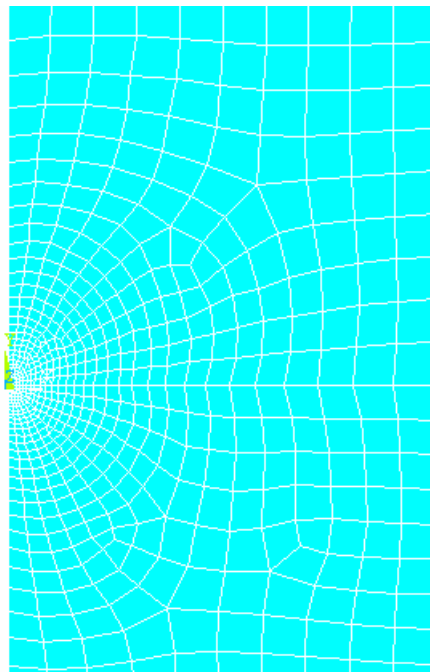


Рис 3. Кінцево-елементне представлення задачі

В якості критеріїв, за допомогою яких ведеться розрахунок і порівняння впливу відстані від вільної поверхні до замкової частини анкера, можна вибрати інтенсивності деформацій та напружень. І дійсно, оскільки інтенсивності деформацій і напружень не залежать від вибору системи координат і являються

інтегральними показниками напружено-деформованого стану, то їх напевне можна вважати критеріями для порівняння впливу вільної поверхні.

Інтенсивністю деформацій і напружень використовуємо у вигляді[4].

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}.$$

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + \frac{3}{2}(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}.$$

Розв'язок задачі. Розрахунки виконувались за такими даними:

діаметр шпура - 0,032 м; довжина зафіксованої частини шпура – 0,032 м; модуль пружності гірської породи - 9 ГПа; коефіцієнт поперечної деформації – 0,25, модуль пружності анкера - 120 ГПа; коефіцієнт поперечної деформації анкера – 0,3. Величина бокової складової від дії гірських порід приймалася рівною $\lambda\gamma H = 1,25 \cdot 10^7$ Па, при $\lambda = 0,5$, $\gamma = 2,5$ т/м³, $H = 1000$ м. Сила попереднього навантаження анкерної штанги дорівнює 5 т.

Розглянемо розподіл напружень, деформацій та переміщень для випадків 2d, 10d, 50d. Розглянемо, як змінюються ці компоненти на поверхні шпура та вглибину від неї. Відстань 2d вибрано з практичних міркувань.

Розподіл радіальних напружень σ_r та осьових напружень σ_z на поверхні шпура матиме вигляд.

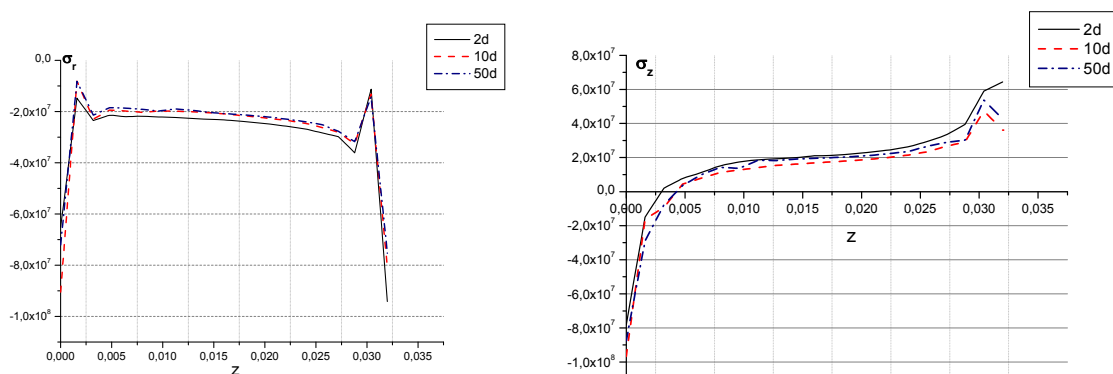


Рис. 4 - Залежність радіальних напружень σ_r та осьових напружень σ_z на поверхні шпура

Приведені нижче графіки демонструють розподіл окружних напружень σ_ϕ та дотичних напружень τ_{rz} на поверхні шпура

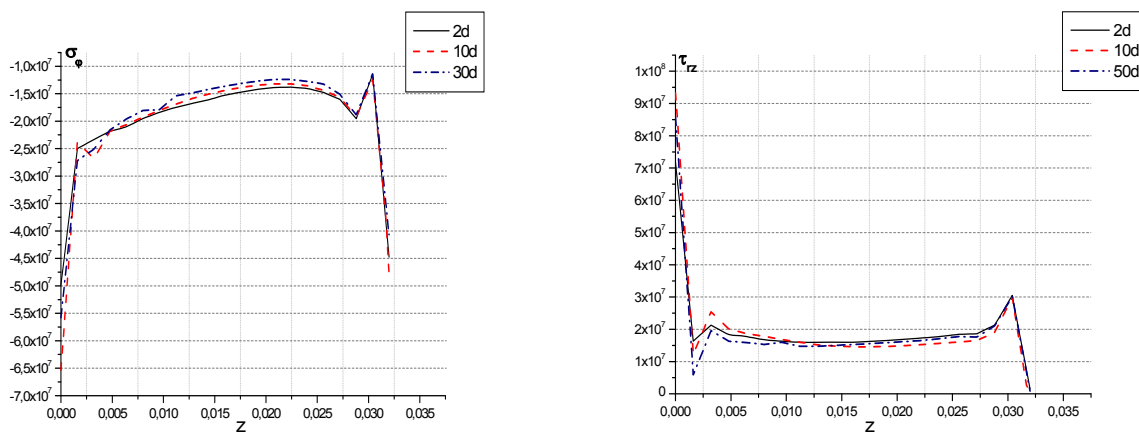


Рис. 5 - Залежність окружних напружень σ_ϕ та дотичних напружень τ_{rz} на поверхні шпура

На рис. 6 представлено розподіл інтенсивності напружень σ_i

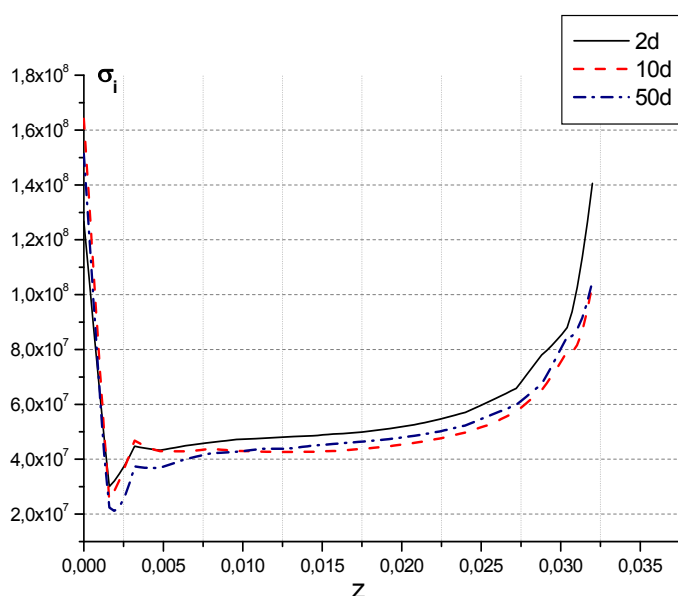


Рис. 6 - Залежність величини інтенсивності напружень σ_i на поверхні шпура

Розподіл переміщень на поверхні шпура зображено на рисунках приведених нижче.

Радіальні переміщення u_r та осьових переміщень u_z на поверхні шпура зображено на рис. 7.

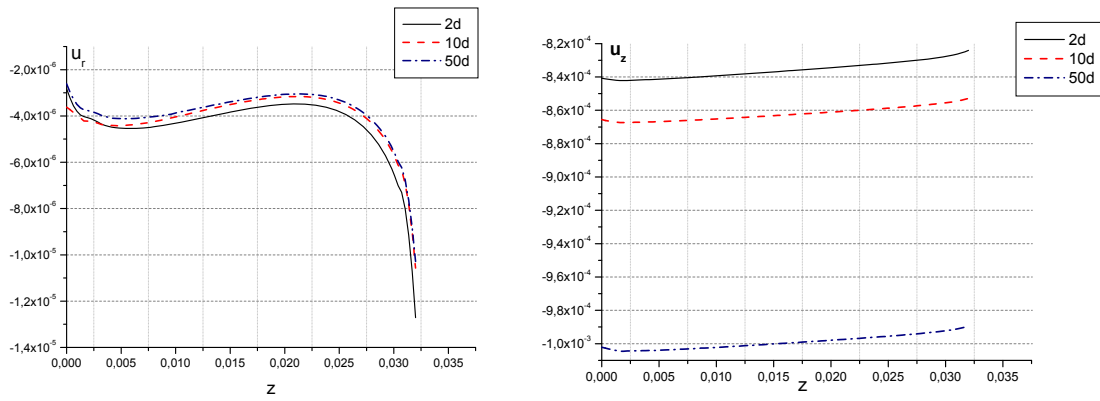


Рис. 7 - Залежність величини радіальних переміщень u_r та осьових переміщень u_z на поверхні шпура.

Графік на рис. 8 демонструє залежність інтенсивності деформацій ϵ_i на поверхні шпура.

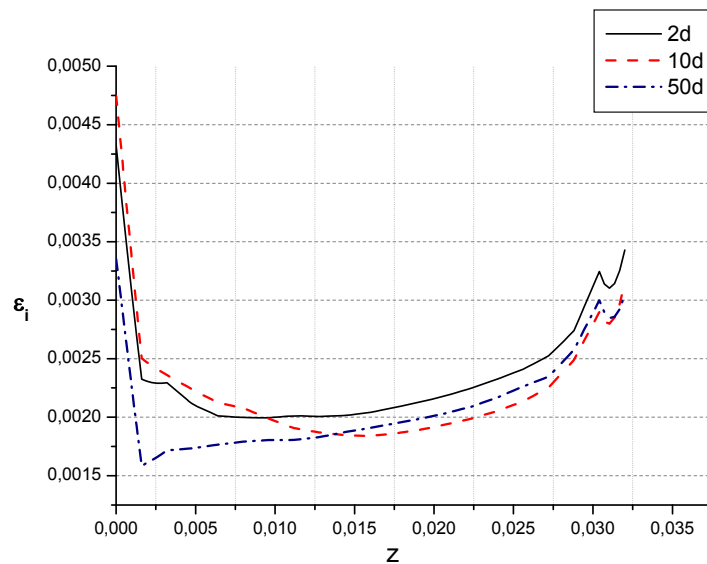


Рис. 8 - Залежність величини інтенсивності деформацій ϵ_i на поверхні шпура

Для дослідження поведінки компонент напружень та переміщень від глибини занурення у гірський масив було вибрано точку на замковій частині шпура з координатою $Z=0.016\text{м}$.

Графіки, які представлені на рис. 9, демонструють розподіл радіальних напружень σ_r та осьових напружень σ_z з глибиною занурення у масив.

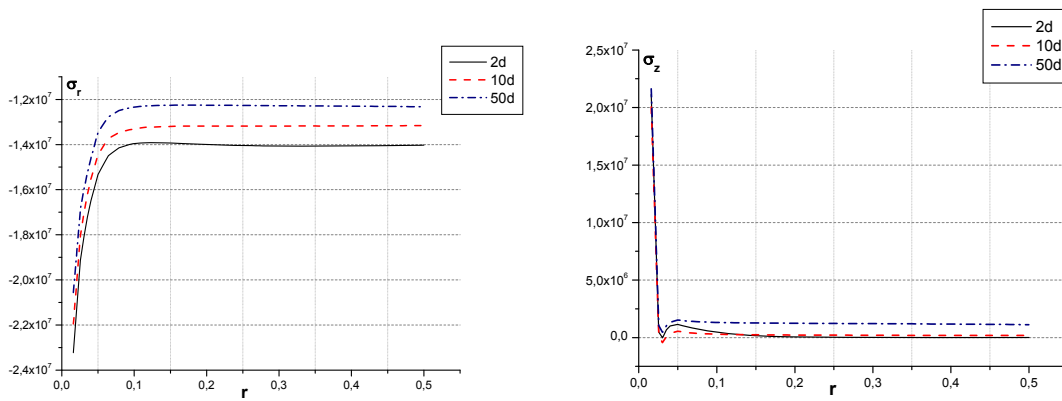


Рис. 9- Залежність величини радіальних напружень σ_r та осьових напружень σ_z від глибини

Приведені нижче графіки демонструють розподіл напружень σ_ϕ від поверхні шпура у глибину.

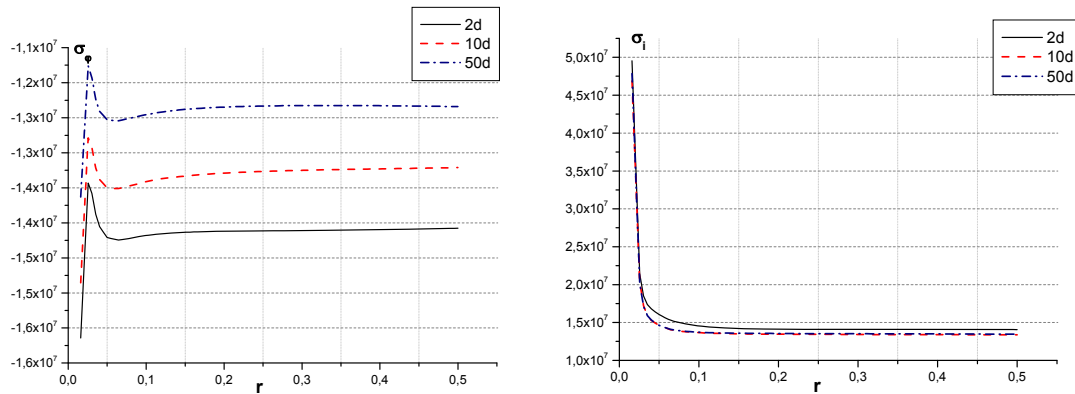


Рис. 10 - Залежність величини окружних напружень σ_ϕ та інтенсивності напружень σ_i від глибини

Радіальні переміщення u_r та осьових переміщень u_z від поверхні шпура у глибину зображено на рис. 11.

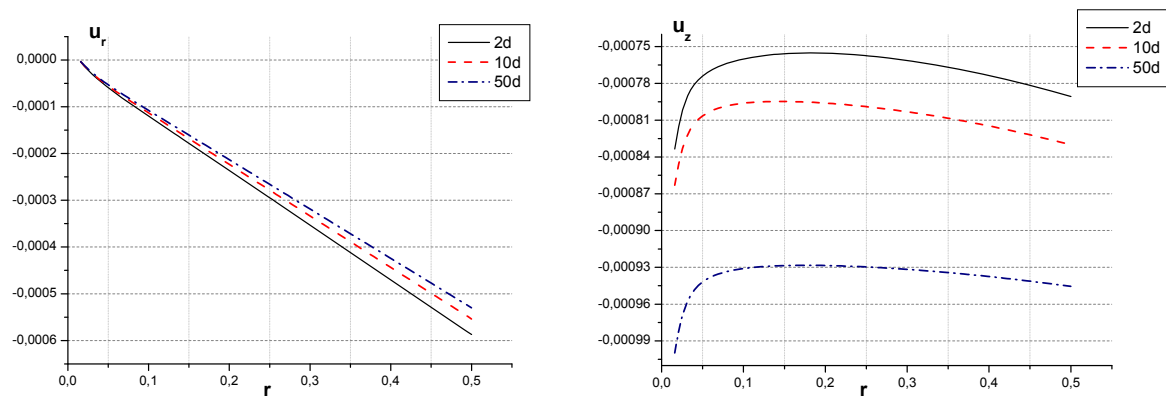


Рис. 11 - Залежність величини радіальних переміщень u_r та осьових переміщень u_z від глибини

Графік на рис. 12 демонструє залежність інтенсивності деформацій ε_i від глибини занурення у гірський масив.

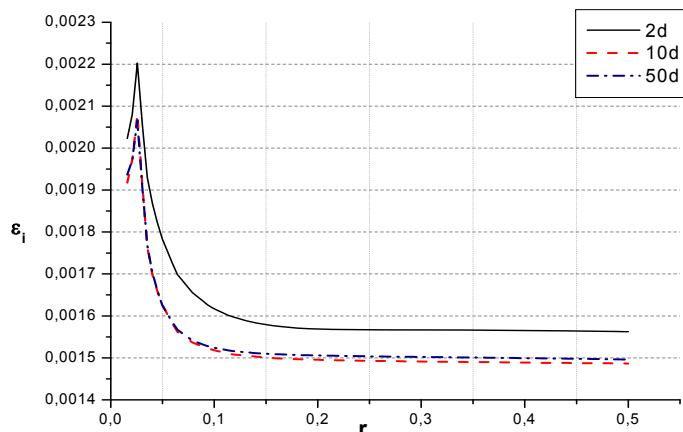


Рис. 12 - Залежність величини інтенсивності деформацій ε_i від глибини

Аналіз результатів дає змогу зробити наступні висновки:

1. Закони розподілу напружень на поверхні шпура рис.4 – 6 відповідають уявленням про механізм розподілу зусиль під дією прийнятих навантажень;

2. Похибка у визначенні інтенсивності напружень на поверхні шпура досягає максимальних своїх значень на відстані, що не перевищує 0,0025м, а її величина лежить у межах 6 – 7%;

3. Похибка у визначенні інтенсивності деформацій на поверхні шпура рис. 7 – 8 досягає своїх максимальних значень на проміжку 0,0012 – 0,005м, а величина її лежить у межах 8 – 14%;

4. Залежність розподілу напружень з глибиною відповідає уявленням про механізм їх розподілу рис.9 - 10 ;

5. Найбільша похибка радіальних напружень виникає на глибині 0,05 – 0.1 у відносних одиницях r/r_0 і не перевищує 8%;

6. Найбільша похибка осевих та окружних напружень виникає ближче до поверхні шпура на глибині 0,025 – 0.05 у відносних одиницях r/r_0 і також не перевищує 8%;

7. Найбільша похибка у визначенні інтенсивності напружень досягає на глибині 0.05 і не перевищує 3% на всьому діапазоні глибин;

8. Найбільша похибка у визначенні радіальних переміщень досягає у кінці діапазону глибин, а окружних переміщень на глибині 0.05 і не перевищувала 8,5%;

9. Найбільша похибка у визначенні інтенсивності деформацій починаючи з глибини 0.07 вздовж всього діапазону глибин не перевищує 4%;

Результат аналізу чисельних досліджень дав змогу стверджувати, що найбільші відхилення у визначенні інтенсивності напружень для положення замкової частини анкерного шпура відповідно $2d$ і $50d$ від вільної поверхні на поверхні шпура не перевищують 6 – 7% починаючи з відстані від вільної поверхні $0,0025m$.

Найбільше відхилення у визначенні інтенсивності деформацій на поверхні лежить у межах від 8 – 14% на відстані $0.0012m$ від вільної поверхні. З глибиною найбільше відхилення при визначенні інтенсивності напружень і деформацій не перевищує 4% починаючи з глибини $0,05$ відносних одиниць.

Таким чином, при використанні рішення задачі про визначення напружено – деформованого стану у околі нескінченного шпура замість рішення задачі з обмеженою його довжиною вільною поверхнею похибка не перевищує 10% на відстані не ближче $2d$ двох діаметрів. Величина похибки дає підстави для користування рішенням для інженерних розрахунків напружено – деформованого стану у околі анкерного шпура на відстані не ближче його двох діаметрів від вільної поверхні

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт/ Ін-т геотехнічної механіки НАН України .- Дніпропетровськ, 2002. - с. 372.
2. Ларіонов Г.І., Павлишин С.М., Головка С.А., Буліч Ю.Ю. Про деформований стан масиву гірських порід у околі навантаженого по осі анкера. Зб. наук. праць НГУ № 22 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2005. – с.48 – 55.
3. А.И.Лурье Операционное исчисление и его приложения к задачам механики. Гос. изд. техн-теор. лит. М.-Л., 1951. – 432 с.
4. Малинин Н.Н., Прикладная теория пластичности и ползучести – М.: Машиностроение, 1975. – 400с.

УДК [622.673.1: 681.514.54]

Канд. техн. наук В.В. Лопатин
(ИГТМ НАН Украины)

НОРМИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ СИЛОВОГО ДАТЧИКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ

Висловлено експериментально-дослідницький досвід модернізації вимірювальної апаратури випробувального комплексу дослідження деформації і руйнування гірничих порід.

NORMALIZING AMPLIFIER OF POWER SENSOR OF LABORATORY COMPUTER COMPLEX FOR MEASURING DEFORMATION OF SPECIMENS

The article is dedicated to experimental and theoretical problem concerning modernization of testing complex for study of rock deformation and breaking.

В институте геотехнической механики НАН Украины им. Н.С. Полякова (ИГТМ) давно ведутся работы по экспериментальному изучению свойств образцов горных пород. Для этого на базе серийных испытательных прессов ПСУ-50 и ПСУ-500 Армовирского завода испытательных машин Т.Г. Кирни-