

#### Список литературы

1. Сахно И.Г., Петренко Ю.А., Овчаренко Н.А. Лабораторные исследования особенностей работы разрушенных горных пород при формировании из них несущей конструкции / Проблемы гірського тиску 2008, №16- С 70-81
2. Касьян Н.Н., Овчаренко Н.А., Сахно И.Г., Петренко Ю.А., Самусь О.Л. Лабораторные исследования работы невзрывчатых разрушающих веществ при упрочнении массивов разрушенных горных пород // Науковий вісник НГУ. 2008. - №8. - С. 50-52.
3. Касьян Н.Н., Сахно И.Г. Лабораторные исследование влияния компонентного состава НРВ-80 на его рабочую характеристику при укреплении вмещающего горные выработки массива // Вісник Криворізького технічного університету. 2009. - №23. - С. 31-34.
4. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др. М.: Наука, 1975.
5. Сонин С.Д., Шейхет М.Н., Черняк И.Л. Борьба с пучением почвы горных выработок взрыванием камуфлетных зарядов // Шахтное строительство. - 1961. - №3. - С. 8-10.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Шащенко О.М.  
Надійшла до редакції 31.03.10*

УДК 539.37:552.43

© А.М. Самедов, О.О. Жданова

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗУЧОСТІ ПРИ ОДНООСНОМУ СТИСКАННІ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ КРУПНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ЗІ СЛАНЦЕВИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

Наведені результати експериментальних досліджень повзучості при одноосному стисканні бетонних зразків, виготовлених на основі сланцевих гірських порід. Встановлено, що для опису деформацій у часі бетонів на основі крупного заповнювача зі сланцевих порід, можна застосувати нелінійну теорію в'язко-пружності.

Приведены результаты экспериментальных исследований ползучести при одноосном сжатии бетонных образцов, изготовленных на основе сланцевых горных пород. Установлено, что для описания деформаций во времени бетонов на основе крупного заполнителя из сланцевых пород, можно применить нелинейную теорию вязко-упругости.

Results of experimental researches of creep at monoaxial compression of the concrete samples made of slate rocks are given. It is established, that for the description of deformations in time of concrete on the basis of slate rocks, it is possible to apply the nonlinear theory of viscosity-elasticity.

**Вступ. Формулювання мети роботи.** Відомо, що короткочасна міцність і деформативність матеріалів значною мірою відрізняються від їхніх тривалих характеристик. Оскільки бетонні та залізобетонні конструкції на основі сланцевого щебеню, що використовується для виготовлення підземних споруд, у процесі експлуатації знаходяться під впливом стискаючого, розтягуючого, згинаючого навантаження, а також їх сукупності, міцність і деформації цих виробів при тривалій дії на них навантаження представляють великий практичний інтерес. В підземних спорудах часто конструкції підлягають одноосному стисканню. Тому нами була поставлена мета дослідити повзучість бетонів, в основу яких входять сланцеві гірські породи, та описати їх деформації у часі.

**Постановка задач дослідження.** Для опису деформованості в часі зазвичай використовуються принципи пружно-в'язкості, які дають лінійні наближен-

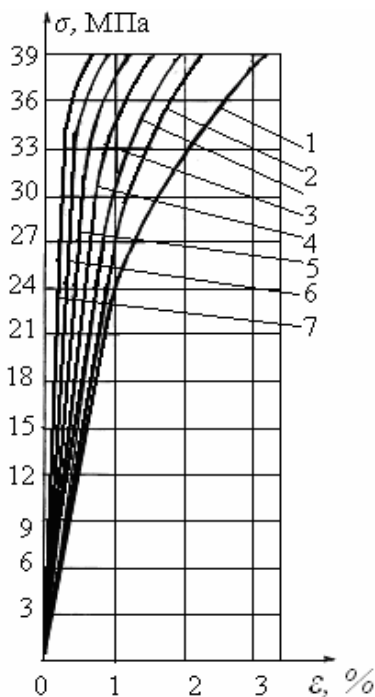
ня між напруженням та деформацією у часі при невеликих значеннях напружень. Однак апарат лінійної в'язко-пружності [1] навіть для більшості ізотропних матеріалів є обмеженим у застосуванні, а для анізотропних матеріалів, таких як сланцеві породи, практично не використовується.

Нелінійна теорія в'язко-пружності [2-4], заснована на рівняннях наслідкового типу, широко застосовується в експериментально-теоретичних дослідженнях. Однак через необхідність у великій кількості експериментально-деформативних характеристик матеріалу, які необхідно визначити, а також складності при розрахунку нелінійних операторів, дана теорія не дозволяє широко використовувати її при вирішенні завдань.

Велике поширення одержали варіанти нелінійної теорії в'язко-пружності, в основі якої лежить гіпотеза про подобу ізохронних кривих повзучості та подобу самих кривих повзучості [5]. Саме цю теорію ми візьмемо в основу для опису деформацій у часі бетонів, в якості крупного заповнювача яких використані сланцеві гірські породи.

### Викладення основного матеріалу і результати.

Досліди з повзучості при одноосьовому стиску проводилися на дослідній машині ЦД-10 на зразках у вигляді призм з бетону розмірами 100x100x200 мм, в якості крупних заповнювачів яких використані сланцеві гірські породи, попередньо оброблені гідрофобним матеріалом Aquastop, в якості в'язучої речовини використаний портландцемент активністю 40 МПа при природному твердненні зразків терміном 28-30 діб, кімнатній температурі 18-22°C.



Поздовжні та поперечні деформації заміряли одночасно тензодатчиками. Навантаження при випробуваннях бралися такими, щоб значення напружень  $\sigma_l$  були нижче меж тривалого одноосьового опору  $(0,4 \div 0,85)\sigma_{mp}$ . Тривалий одноосьовий опір бетону В40 на основі щебеню зі сланцевих порід становить  $\sigma_{mp} = 30 \div 40$  МПа. Цим забезпечувалася пружно-в'язка область роботи елементів конструкцій зі сланцевих анізотропних щебенів. За час, протягом якого велося випробування, зростання деформацій практично повністю загасало.

Ізохронні криві повзучості зразків при різному значенні часу показані на рис. 1.

Рис.1. Ізохронні криві повзучості бетонних призм розміром 100x100x200мм, в якості крупного заповнювача яких використані сланцеві гірські породи: 1 – 7 – криві повзучості відповідно при  $t = 1$  год;  $t = 2$  год;  $t = 4$  год;  $t = 10$  год;  $t = 30$  год;  $t = 60$  год;  $t = 80$  год

Криві повзучості зразків при одноосьовому стисканні показані на рис. 2, в якому наведені зміни поздовжніх (рис.2, а) і поперечних (рис.2, б) деформацій при різних значеннях часу.

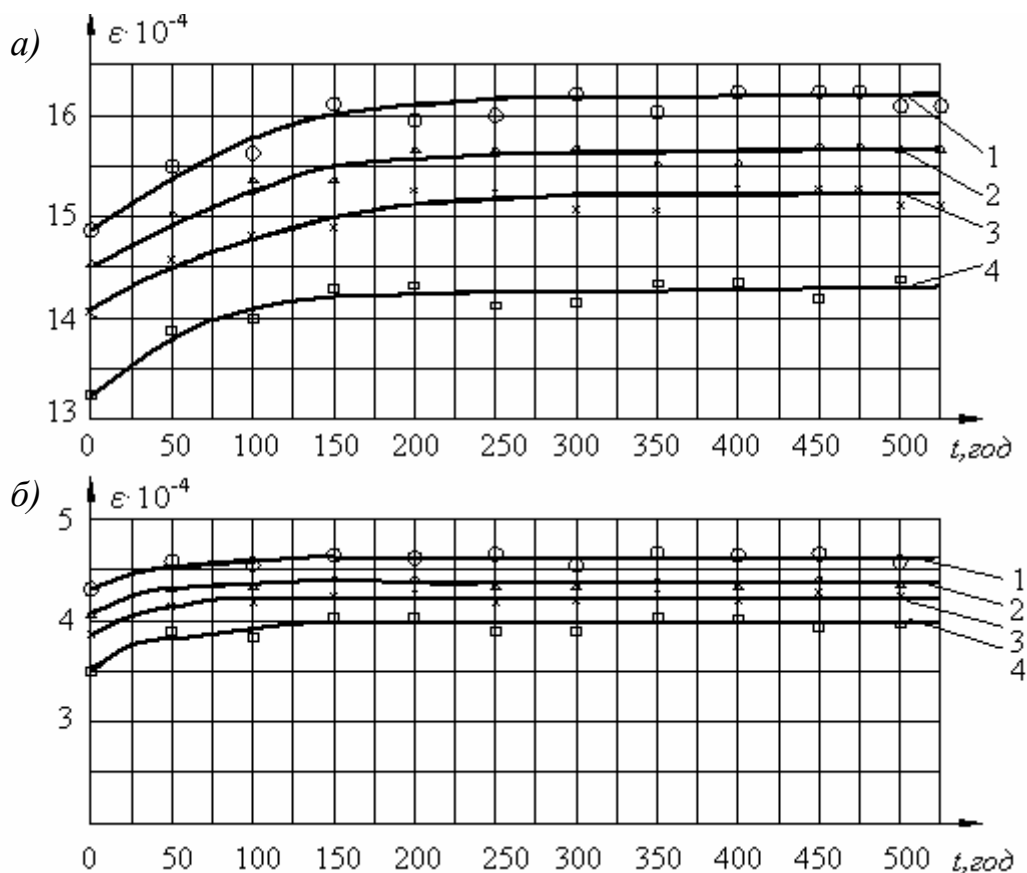


Рис.2. Криві повзучості зразків при одноосьовому стиску. а – поздовжні деформації  $\varepsilon$ ; б – поперечні деформації  $\varepsilon$ ; 1 – 4 – криві повзучості, відповідно 1 при  $\sigma_I=0,8\sigma_{mp}$ ; 2 – при  $\sigma_I=0,75\sigma_{mp}$ ; 3 – при  $\sigma_I=0,7\sigma_{mp}$ ; 4 – при  $\sigma_I=0,6\sigma_{mp}$ .

Величина модулю пружності  $E$  и коефіцієнта Пуассона  $\mu$  для будь-якого заданого інтервалу часу дії навантаження не залежала від рівня напруження в пружно-в'язкій області роботи бетонів і наведені на рис. 3.

Як видно з рис. 3, залежність модулю пружності бетонів зі сланцевих порід від часу в перші трое діб знижується інтенсивно, а потім стабілізується з тенденціями до зменшення.

Залежність зміни в часі модулів пружності бетону, в якості крупного заповнювача якого використані сланцеві гірські породи, на основі наших експериментальних досліджень можна описати виразом:

$$E(t) = \frac{E_{mp}}{1 - \left(1 - \frac{1}{\beta}\right)e^{-\psi t^c}}, \quad (1)$$

де  $E_{mp}$  – тривало діючий модулі пружності;  $\beta$  – коефіцієнт який приймається для спрощення формули,  $\beta=E_M/E_{mp}$ ;  $c$  – коефіцієнт, отриманий експериментальним шляхом,  $\psi$  – коефіцієнт, який можна знайти за формулою:

$$\psi = -\ln \frac{1 - \frac{E_M}{E_{t=1}}}{1 - \frac{1}{\beta}}, \quad (2)$$

де  $E_M$  – умовно-миттєвий модуль пружності,  $E_{t=1}$  – модуль пружності при  $t = 1$  доба.

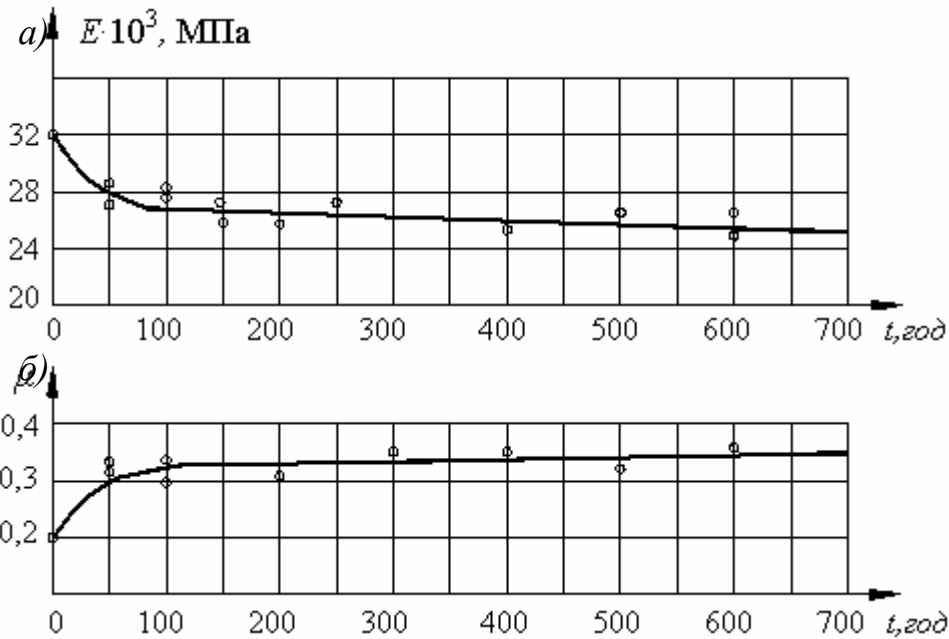


Рис.3. Залежності модуля пружності  $E$  (а) і коефіцієнта Пуассона  $\mu$  (б) від часу при одноосьовому стиску бетонної призми на основі крупного заповнювача зі сланцевих гірських порід

Для знаходження коефіцієнта  $\psi$  умовно-миттєвий модуль пружності  $E_M$  приймаємо рівним  $E_{t=1}$ , коефіцієнт  $c=0,6$ , оскільки при  $0 < c < 1$  він задовольняє умові повзучості в пружній області роботи конструкцій з бетону й залізобетону на щебені зі сланцевих порід. Таким чином, знаючи тривало діючий  $E_{mp}$  і умовно-миттєвий  $E_M$  модулі пружності, можна визначити модуль пружності в будь-який момент часу  $E(t)$ .

Залежність зміни коефіцієнтів Пуассона в часі можна апроксимувати експонентною функцією в наступному вигляді:

$$\mu(t) = \mu_{mp} - (\mu_{mp} - \mu_M) e^{-t}, \quad (3)$$

де  $\mu_{mp}$  – тривало діючий коефіцієнт Пуассона,  $\mu_M$  – умовно-діючий коефіцієнт Пуассона.

Для отримання зміни коефіцієнтів Пуассона в часі на основі наших експериментів можна написати наступну формулу:

$$\mu(t) = 0,35 - 0,076 e^{-t} \quad (4)$$

При відсутності експериментальних даних зі зміни модулю пружності в часі для конструкцій з бетону класу В40, в якості крупного заповнювача якого використані сланцеві породи, можна приймати  $E_M = 32,5 \cdot 10^3$  МПа,  $E_{mp} = 25,8 \cdot 10^3$  МПа.

Як показують результати досліду, якщо задані напруження вище межі тривалого опору матеріалу, зразок руйнується протягом певного інтервалу часу дії навантаження.

На початку випробування на повзучість відразу ж після навантаження процес деформування в часі протікає найбільше інтенсивно.

Експериментальні дослідження на повзучість дозволяють встановити функціональний зв'язок між напруженням, деформацією, та їхніми похідними в часі. Експериментальним шляхом отримали сімейство кривих повзучості при різних рівнях напружень або деформацій. На основі цих даних можна встановити єдину форму функцій, що пов'язують напруження та деформації з їхніми похідними в часі та часом.

На рис. 2. отримані криві повзучості при різних значеннях постійних напружень є подібними, і вони менше межі тривалого опору, що відповідає сталому значенню повзучості. Ця серія кривих повзучості виражає зв'язок між деформаціями, напруженнями та часом. Подібність кривих повзучості вимагає, щоб сімейства кривих повзучості зображувалися добутками двох незалежних одна від одної функцій: перша функція тільки від напруження, друга – тільки від часу.

Таким чином, деформація буде мати вигляд:

$$\varepsilon = f(\sigma, t) = \frac{\sigma}{E_M} \left[ \beta + (1 - \beta)e^{-ct} \right]. \quad (5)$$

$f_1(\sigma) = \sigma/E_M$  являє собою функцію напруження, а  $f_2(t) = \beta + (1 - \beta)e^{-ct}$  – функцію часу. Таким чином, при умовно-миттєвій дії часу закон Гука має аналітичне вираження  $f_1(\sigma) = \sigma/E_M$ , а при тривалій дії  $f_1(\sigma) = \sigma/E_M = \varepsilon_{mp}$ . При  $t=0$  функція  $\beta + (1 - \beta)e^{-ct} = 1$ , а при  $t \rightarrow \infty$  ця функція  $f_2(t) = \beta + (1 - \beta)e^{-ct} = \beta = const$ . Тоді  $\sigma/E_{mp}$  являє собою аналітичне вираження закону Гука  $\varepsilon_{mp} = \sigma/E_{mp}$ , що при  $t \rightarrow \infty$  також лінійно пов'язує напруження та деформації. На основі досліджень повзучості необхідно встановити можливість апроксимації функції  $f_1(\sigma)$  одним рівнянням при різних заданих інтервалах часу ( $0 < t < \infty$ ) і апроксимації функції  $f_2(t)$  одним рівнянням при заданих напруженнях. Для цього аналізуємо криві повзучості бетонів В40 на основі сланцевих порід, побудованих у координатах  $\varepsilon$  і  $t$ .

На діаграмі повзучості (рис. 2) проведемо кілька прямих ліній, паралельних осі  $\varepsilon$  для деяких постійних значень  $t$ . Кожна з цих ліній перетинає криві повзучості і дає ординати  $\varepsilon$  і  $\sigma$  для заданих значень  $t$ . За цими отриманими значеннями  $\varepsilon$  і  $\sigma$  можна побудувати сімейство діаграм повзучості в координатах  $\sigma$  і  $\varepsilon$  при різному значенні часу дії навантажень (рис. 4). Ця залежність дає лінійний зв'язок між напруженнями та деформаціями при повзучості відповідно до закону подоби. Для полегшення побудови кривих  $\sigma - \varepsilon$ , частину графіка (рис.4,а)  $\varepsilon$  і  $t$  намалюємо в збільшеному виді, а потім побудуємо діаграму  $\sigma$  і  $\varepsilon$  (рис.4,б).

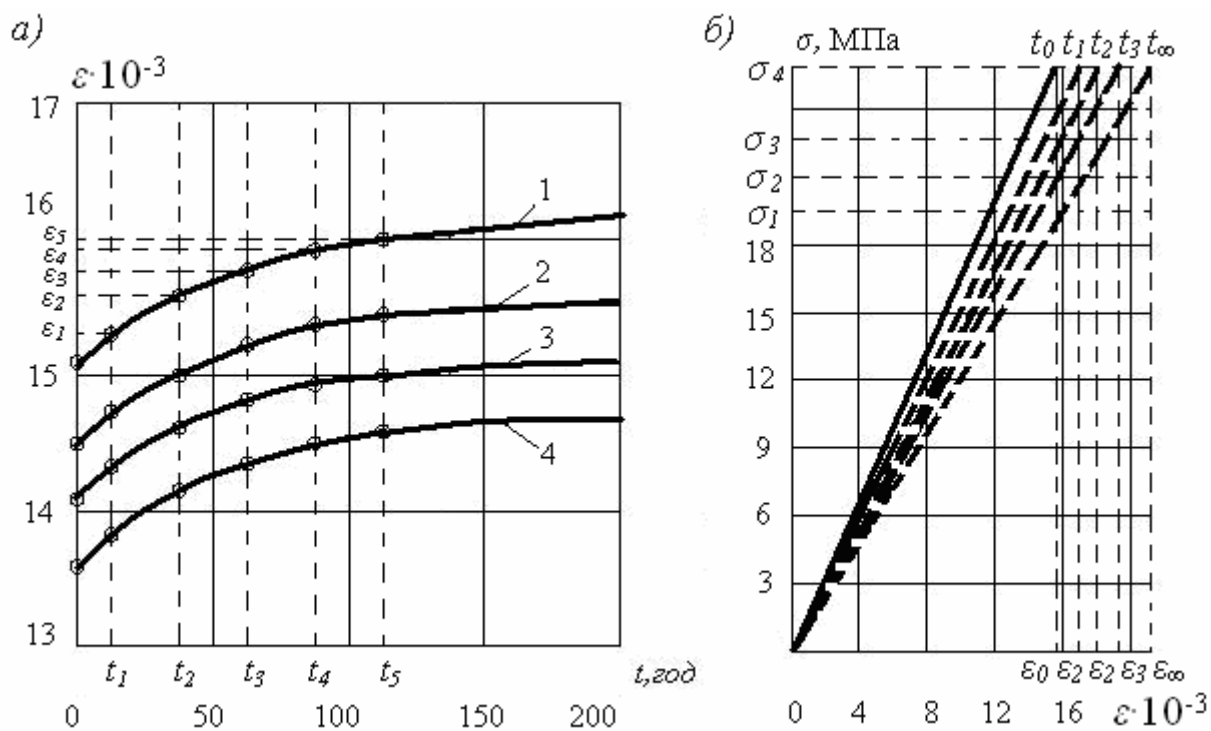


Рис.4. Частина кривої повзучості (а), діаграма залежності  $\sigma - \varepsilon$  у випадку повзучості при різному часі дії навантажень для бетону класу В40 (б); 1 – 4 – криві повзучості, відповідно 1 при  $\sigma_l=0,8\sigma_{mp}$ ; 2 – при  $\sigma_l=0,6\sigma_{mp}$ ; 3 – при  $\sigma_l=0,5\sigma_{mp}$ ; 4 – при  $\sigma_l=0,4\sigma_{mp}$

Всі прямолінійні ділянки діаграми деформацій при  $0 < t < \infty$  перебуває між граничними прямими  $t=0$  і  $t=\infty$  і прямою лінією, що фіксує функціональний зв'язок між  $\sigma$  і  $\varepsilon$ .

Прямолінійні ділянки деформацій дозволяють вибрати єдину аналітичну залежність  $f_1(\sigma)=\sigma/E_t$  при різних значеннях інтервалу часу  $t$  (де  $E_t$  – змінний модуль пружності в часі бетону із захищених щепенів сланцевих порід).

При  $t \rightarrow 0$  функція  $f_1(t) \rightarrow 1$ , а при  $t \rightarrow \infty$  функція  $f_2(t) \rightarrow E_M/E_{mp} = const$ . За умовою подоби деформації зростають за лінійним законом з постійною швидкістю. Отже, відносна пластична деформація, швидкість і час її розвитку аналітично пов'язані між собою, тобто  $\varepsilon_{nl} = V_{nl} \cdot t$ .

Слід зазначити, що для основних конструктивних елементів з бетонів на основі сланцевих гірських порід при напруженнях  $\sigma_l \leq \sigma \leq (0,6 \div 0,9)\sigma_{mp}$  зв'язок між швидкістю пластичних деформацій  $V_{nl}$  і напруженням  $\sigma$  приймається лінійним. Область розвитку та утворення пластичних деформацій у бетонних конструкціях зі сланцевого щебеню виражається досить слабко та при практичних розрахунках нею можна знехтувати.

Для вивчення механічних характеристик пружно-в'язко-пластичних матеріалів, до яких можна віднести бетонні конструкції, виготовлені на сланцевому щебені, випробування на повзучість проводять двома методами.

За першим методом швидкість навантаження приймається постійною, а напруження збільшується пропорційно з часом. Тоді відносні деформації змінюються відповідно до нелінійного закону в часі.

За другим методом швидкість деформування зберігається постійною, а відносні деформації збільшуються пропорційно часу. В даному випадку напруження змінюється за нелінійним законом у часі.

Таким чином, механічні характеристики залежать від методу проведення експериментальних випробувань.

У пружній області роботи бетонних конструкцій на основі сланцевого щебеню умові повзучості задовольняють функціональні залежності між напруженням, деформацією та часом у наступному вигляді:

$$\text{при } t \rightarrow 0; \varepsilon_t \rightarrow \varepsilon_M = \sigma/E_M; \bar{\varepsilon}_t \rightarrow \infty; \text{ при } t \rightarrow \infty; \varepsilon_t \rightarrow \varepsilon_{mp} = \sigma/E_{mp}; \bar{\varepsilon}_t \rightarrow 0, \quad (6)$$

де  $\bar{\varepsilon}_t$  – швидкість розвитку деформації в часі.

Нестала область повзучості деформування в часі описується в наступному вигляді за допомогою теорії наслідкової повзучості:

$$E_M \varepsilon(t) = \sigma + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \quad (7)$$

де  $\sigma$  – постійно діюче напруження;  $\tau$  – час у момент навантаження;  $\sigma(\tau)$  – напруження в момент  $\tau$ ;  $t$  – значення часу в даний момент;  $(t-\tau)$  – заданий інтервал часу;  $K(t-\tau)$  – ядро повзучості.

Закон лінійного деформування в цьому випадку буде мати вигляд:

$$E_M n \bar{\varepsilon} + E_{mp} \varepsilon = n \bar{\sigma} + \sigma, \quad (8)$$

де  $\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $\bar{\sigma}$ ,  $\bar{\varepsilon}$  – відповідно напруження, деформації та їхні похідні за часом;  $n$  – час релаксації.

Ядро повзучості  $K(t-\tau)$  може бути представлене у вигляді експоненціальної функції, ступеневої функції тощо. Часто для опису повзучості деформування застосовують ступеневу залежність закону повзучості (7) з ядром Абеля наступного вигляду:

$$K(t-\tau) = \frac{c}{(t-\tau)^\alpha}, \quad (9)$$

де  $\alpha$  і  $c$  мають постійні експериментальні значення. За даними Ю.Н. Работнова, Ж.С. Єржанова [6], значення коефіцієнта  $\alpha$  знаходяться в межах  $\alpha=0,7 \div 0,9$ . Слід зазначити, що ядро Абеля (9) дає гарні збіги з дослідними даними на початкових ділянках кривих повзучості при  $0 < \sigma < \sigma_{mp}$ . У наших експериментах для бетонних зразків на основі сланцевого щебеню отриманий коефіцієнт  $\alpha=0,62 \div 0,66$ .

**Висновки.** В роботі були викладені результати експериментальних досліджень на повзучість при одноосному стисканні бетонних зразків, виготовлених на основі сланцевих гірських порід.

На основі нелінійної теорії в'язко-пружності був здійснений опис деформацій у часі бетонів на основі крупного заповнювача зі сланцевих порід.

Аналіз кривих повзучості при одноосному стиску показав, що за якісними даними при різних значеннях часу вони подібні і відрізняються лише за кількісними показниками.

Експериментальні дослідження на повзучість дозволяють встановити функціональний зв'язок між напруженням, деформацією та їх похідними у часі.

#### Список літератури

1. Бленд Д. Теория линейной вязко упругости. – М.: Мир, 1965. – 199 с.
2. Арутюнян Н.Х. Ползучесть стареющих материалов. Ползучесть бетона. – В сб.: Механика в СССР за 50 лет. Т. 3. – М.: Наука, 1972. – с. 155-202.
3. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. – М.: Высшая школа, 1976. – 277 с.
4. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966. – 752 с.
5. Самедов А.М. Деформирование и разрушение конструкций при термосиловых воздействиях. – М.: Стройиздат, 1989. – 432 с.
6. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее приложения, Изд-во «Наука», Алма-Ата, 1964. – 175 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А.  
Надійшла до редакції 16.04.10*

УДК 622.272:624.191.5

© С.А.Харин

### **ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ «БУРЕНИЕ» И «ПОГРУЗКА» НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ СТВОЛОВ**

В статье рассмотрено совместное влияние производительности бурового и погрузочного оборудования на скорость проходки вертикальных стволов шахт. В ходе исследования установлены соответствующие зависимости, охватывающие широкий диапазон условий.

В статті розглянутий сукупний вплив продуктивності бурового та навантажувального обладнання на швидкість проходження вертикальних стволів шахт. Під час дослідження встановлені відповідні залежності, що охоплюють широкий діапазон умов.

The article reviewed the combined effect of the performance of drilling and loading equipment at the rate of vertical mine shafts. The study established the variation, covering a wide range of conditions.

**Введение.** При сооружении шахтных стволов в структуре затрат времени проходческого цикла доминирующими являются такие технологические операции как бурение шпуров и погрузка породы. В этой связи актуальным, как представляется, может быть исследование зависимости скорости проходки стволов от совместного влияния производительности бурового и погрузочного оборудования.

Рассмотрим зависимость скорости проведения стволов от указанных параметров при фиксированном времени проходческого цикла, при следующих условиях: проходка осуществляется обычным способом с применением буровзрывных работ по совмещенной схеме. Стволы закреплены монолитным бетоном.