

## МОДЕЛИРАНЕ НА РЕОЛОГИЧНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА СТЕНАТА НА ПОДГОТВИТЕЛНА ГАЛЕРИЯ

**Юлиян Димитров**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: juldim@abv.bg

**РЕЗЮМЕ.** Във статията се обсъждат два алтернативни модела на реологичното поведение на стената на подготвителна галерия. Предлага се изчислителна схема за определяне параметрите на реологичното поведение. Материалът дава възможност да се наблюдава и опише деформационния процес в скалите около изработките. Създава се възможност да се определи най-подходящ момент за прилагане на анкерен крепеж.

### MODELING OF THE RHEOLOGY BEHAVIOR OF THE WALL OF DEVELOPMENT HEADING

Julian Dimitrov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: juldim@abv.bg

**ABSTRACT.** In the article discusses two alternative models of the rheological behavior of the wall of development heading. A computational scheme for determining the parameters of the rheological behavior is proposed.

The material gives possibility to observe and describe the deformation process in the rocks around the workings. An opportunity to determine the best time for application of anchor support is creates.

### Увод

При прокарване на подготвителни изработки е необходимо следене на поведението на стените и горниците през експлоатационния период. При необходимост се прилагат единични анкери. За правилната интерпретация на наблюденията, оразмеряване на анкерната мрежа или оразмеряване на допълнително поставените анкери е необходим модел, който да отчита достатъчно точно процесите в масива около изработката.

Разглеждаме пример на минна изработка при условията на мина "Перник". Данните, кито използваме са от статията Parushev et al. (1994). и информацията за други находища за добив на въглища както и предложеното в Дерменджиев Стоянчев (2003). Находището в района на минните изработки е пластово. Скалният масив е с якост 9–12 МПа. Пластовете са почти хоризонтални. Дълбочината на залягане е  $H = 150\text{ m}$  и средното обемно тегло на покриващите скали е  $\gamma = 22\text{ kN/m}^3$ . Предмет на разглеждане са целиците, които се оформят при прокарването на подготвителните галерии. Галериите са с правоъгълно сечение с ширина  $s = 3.3\text{ m}$  и височина  $l = 2.5\text{ m}$ . При подобни условия за укрепване на тавана и стените са използвани анкери с дължини съответно 2.40 m и 1.20 m и разстояние между анкерите от една линия - 0.5 m. Механичните характеристики на масива са:

коефициент на Поасон  $\nu = 0.25$ ; модул на еластичност  $E = 1000\text{ МПа}$  и модул на срез  $G = 400\text{ МПа}$ .

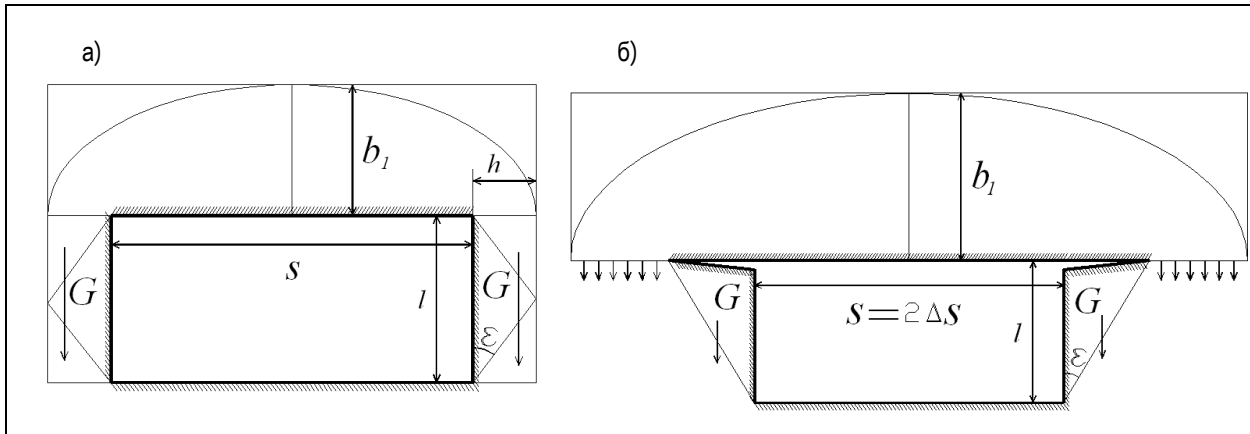
Данните за преместванията на стените са през 2 дни до настъпване на известно намаление на интензивността на преместване, а след това през 5 дни. Общо измерванията са проведени за период от 30 дни и са екстраполирани до 50<sup>-тия</sup> ден.

Таблица 1

Усреднени данни за хоризонталните премествания на стените

Дни	2	4	6	8	10	12	14	16
Премествания [mm]	2	22	34	42	49	54	59	63
Дни	18	20	25	30	35	40	45	50
Премествания [mm]	66	69	76	81	85	89	93	96

В близост до стените на подготвителните галерии, се образува зона на нарушения на скалата, която в началото поема усилия близки до пределната якост и е в пределно състояние. След кратък период на пластични деформации следва известно разтоварване – намаляване на действието на скалния натиск върху тази област. От този момент процесът на деформиране на областта се стабилизира, като продължава с по-малка динамичност във времето до пълно разрушаване на областта. Определянето на размерите на областта на първоначално разрушаване се осъществява по различни критерии Farmer (1985).



Фиг. 1. а) Схема на натоварването на стените на целиците. б) Схема на състоянието, при което стените са отделени от тавана и върху тях действа само собственото тегло  $G$

## Цел

Да се обсъди модел на реологичното поведение на стените на хоризонтална изработка по наследствена теория на реологията.

Да се построи параметричен модел, основаващ се на модела на Пойнтинг-Томсън и да се сравнят двата подхода.

## Механичен модел

### Мигновени еластични премествания

Непосредствено след прокарване на изработките, в резултат на мигновените еластични прояви, се получава преместване в стената на изработката:

$$u_0 = \frac{\nu + 1}{E} a_1 \lambda \gamma H = \frac{1.25 \cdot 2}{1000} \cdot \frac{1}{3} \cdot 22 \cdot 150 = 2.75 \text{ mm}$$

където  $a_1 = 2 \text{ m}$  - приведен радиус на подготвителната галерия;  $\lambda = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{1}{3}$  - коефициент на страничен отпор.

### Определяне на размера на разхлабената зона в стената на целика

След първоначалните моментни премествания на стените не можем да очакваме вътрешната част на скалното тяло да продължава да се деформира в значителни размери. Приемаме, че преместванията на стените на целика, които за 2 седмици достигат  $10 \text{ cm}$ , се дължат изцяло на външната част на скалното тяло. След първоначалните мигновени еластични деформации започва сравнително по-бавен процес на деформиране на скалите.

Ще смятаме, че следващото състояние, в което се намират скалите около минната изработка се проявява от втория ден от прокарването на изработката.

Дълбочината на разрушението в стените на целиците е  $h = \frac{\ell}{2} t g \varepsilon_1 = \frac{\ell}{2\sqrt{3}} = 0.72 \text{ m}$ , където ъгъла  $\varepsilon_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$  и

$\rho = 30^\circ$  е ъгъла на вътрешно триене.

### Определяне на действащия върху стената на целика скален натиск

Скалният натиск, действащ върху стената на целика, се определя в Димитров (2009), като функция във времето

$$P_z(t) = \frac{c}{(t + t_0)^{\alpha_0}}$$

Като се удовлетворят определени условия за функцията се получава  $\alpha_0 = 0.525$ ,  $c = 0.210 \text{ MN} \cdot (\text{days})^\alpha / \text{m}^2$  и  $t_0 = 5.267 \cdot 10^{-3} (\text{days})$ . На фиг.2.а е изобразена характеристикната диаграма на скалния натиск.

### Представяне на преместванията на стената на целика

$u_0$  е мигновено начално еластично преместване на контура на изработката при прокарване. Ще означим с  $u_e = u(0)$  хоризонталните еластични премествания на стената на изработката при  $t = 0$ . Понеже товарът в началния момент е значително по-голям, то  $u_0 \gg u_e$ .

Тук  $u_e$  зависи от теглото на скалите, от образувания свод над изработката, а  $u_0$  зависи от хидростатичното налягане на масива около изработката. Разглеждаме стената на изработката като стена на целик с дълбочина на разрушение  $h$ . Тогава началните еластични премествания на стената на целика са

$$u_e = u(0) = \frac{\nu h}{E} P_z(0)$$

Направени са измервания на хоризонталните премествания на стените  $u = u(t)$ , отчетени спрямо първия ден след прокарване на изработката Таб.1.

$$\text{Изпълнено е } u(t) = u_e + u_f(t) + u_b(t) + u_{af}(t),$$

където:

$u_f(t) = \Psi(t) \cdot u_e$  е преместване на вискозно пълзене и  $\Psi(t)$  е функция на пълзене (function of flow);

$u_b(t)$  е преместване, дължащо се на разрохкване и се описва чрез коефициента на линейно разширение (extension factor)  $k_{ex}$ ;

$u_{af}(t)$  е преместване, дължащо се на еластичното последдействие (elastic aftereffect).

Означаваме с  $u_{ad}(t) = u_b(t) + u_{af}(t)$  допълнителното преместване на стените, дължащо се на разрохкването и еластичното последдействие.

Така преместванията  $u(t) = u_e + u_f(t) + u_{ad}(t)$  се представят като резултат на три процеса – еластичен, вискозно пълзене и допълнително преместване на стената.

### Модел на наследствено еластично тяло

За описване на еластичните деформации и вискозното пълзене ще приложим наследствена теория при подходяща функция на пълзене  $\Psi^*(t)$ . Съответните формули са:

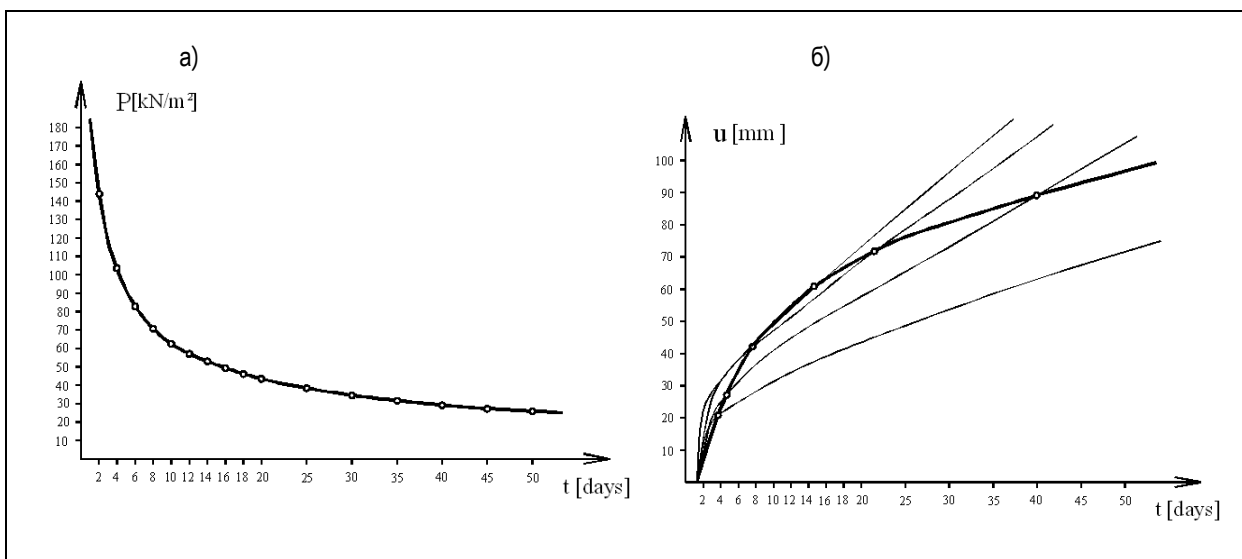
$$E_t = \frac{E}{1 + \Psi^*(t)}, \quad \nu_t = \frac{\nu + 0.5\Psi^*(t)}{1 + \Psi^*(t)} \quad \text{и модулет на}$$

$$\text{обемно свиване} \quad K = \frac{E_t}{3(1 - 2\nu_t)} = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} = \text{const}$$

Амусин и Линьков (1973).

В резултат на проведени много експерименти в лабораторни условия от Ержанов (1964) и други автори се стига до извода, че преместванията във времето се представят най-добре в началото на процеса, като се използва ядрото на Абел  $L(t-r) = \delta(t-r)^{-\alpha}$ .

Скална разновидност най-близка по механични свойства на възлицата е аргилитът. Характерното за аргилита е, че при изпитанията се установява относителна неравномерност на процеса на пълзене. При този реологичен модел се използват реологични параметри  $\alpha = 0.71$  и  $\delta = 0.008 [\text{sec}^{-\alpha}]$ . В лабораторни условия скалното тяло е подложено на постоянен натиск  $\sigma$  със различни стойности съставляващи 70% - 90% от максималната якост на натиск.



Фиг. 2. а) Характеристична диаграма на скалния натиск върху стените на изработките; б) Диаграма на хоризонталните премествания и криви на преместванията при различни числа на въздействие

Поради структурата на скалата реологичният процес се съпътства от стъпаловидни във времето моментни разрушения (Баклашов, 1988), (Pancini, 1962). От една страна якостта на натиск на материала се намалява във времето – като можем да приемем, че това става непрекъснато. От друга страна моментните процеси на разрушаване правят този процес стъпаловиден във времето.

Тази неравномерност на процеса се моделира като се приеме, че върху деформиращата се област се въздейства многократно от скалния натиск. Процесът на деформиране се разделя на еднотипни повтарящи се процеси на

деформиране под въздействието на скалния натиск. Техния брой до деня на отчитане на дадено преместване наричаме число на въздействие. Натискът  $P_z$  намалява във времето (фиг.2.а.) и същевременно преместванията са няколко пъти по-големи в сравнение с получените при лабораторни измервания. Приемаме, че е възможно броят на въздействията да е реално число  $ac$ . Ако предположим, че са осъществени цяло число  $ac$  на брой въздействия до достигане на момента  $t = t_{ac}$  ще имаме

$$E_t = E(t_{ac}) = \frac{E}{1 + \Psi^*(t_{ac})}. \quad \text{В момента } t = t_{ac} \text{ за}$$

функцията на пълзене е изпълнено

$$1 + \Psi^*(t_{ac}) = [1 + \Psi(t_1)] \cdot [1 + \Psi(t_2)] \cdot \dots \cdot [1 + \Psi(t_{ac})].$$

Ако приемем, че интервалите  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$  са равни, то

$$\Delta t = \frac{t_{ac}}{ac} \text{ и } 1 + \Psi^*(t_{ac}) = [1 + \Psi(\Delta t)]^{ac}. \text{ Приемаме, че и}$$

за дробно число  $ac$  е изпълнено

$$1 + \Psi^*(t_{ac}) = \left[ 1 + \Psi\left(\frac{t_{ac}}{ac}\right) \right]^{ac}.$$

Допълнителното преместване  $u_{ad}(t)$  се определя въз основа на коефициент на разрохкване  $k_{ex} = 1.012$  и свойствата на еластичното последствие. Допълнително се използват условията:  $u(t) - u_{ad}(t)$  да е монотонно растяща функция и при  $t = 100$  дни  $u_{ad}(t) = \infty$ . След аналитично определяне на функцията  $u_{ad}(t)$ , подбрана така, че числата на въздействие да достигат максимум в четирнадесетия ден, се получават конкретни стойности (Таб. 2).

Таблица 1

Числата на въздействие определени за съответния ден

Дни	2	4	6	8	10	12	14	16
Числа на въздействие	1.98	7.39	8.16	7.08	8.31	8.35	8.35	8.30
Дни	18	20	25	30	35	40	45	50
Числа на въздействие	8.27	8.23	8.15	8.07	8.00	7.72	7.66	7.61

### Определяне на преместванията чрез уравнение на състоянието на скалния масив

Процесите на деформация на скалния масив имат своята специфична особеност, която включва освен свойствата на непрекъснатата среда и свойства – резултат на контактни взаимодействия между частиците на скалата (Рупенейт, 1975). Направените до тук разсъждения върху реологичния модел използват експерименталните изследвания на Ержанов (1964), за да се определи функцията на пълзене. Същевременно несъответствията между данните от експериментални изследвания и реалното състояние на скалния масив водят до усложняване на модела. Към вискозното пълзене е необходимо да се добави допълнително преместване на стените, което се отдава на разрохкването и еластичното последствие. Формално, това допълнително преместване е нелинейно допълнение към линейния реологичен модел.

Да обобщим свойствата, на които трябва да отговаря процесът на преместване на стените:

1) Мигновеното натоварване трябва да съответства на мигновена деформация и в този случай да има линейна връзка между напреженията и деформациите;

2) След време деформацията трябва да се увеличава, когато натискът остава непроменен;

3) При постоянно напрежение големината на деформацията трябва да клони към определена граница, зависеща от стойността на напрежението;

4) Границата, към която се стреми деформацията, след продължително време зависи нелинейно от действащото напрежение;

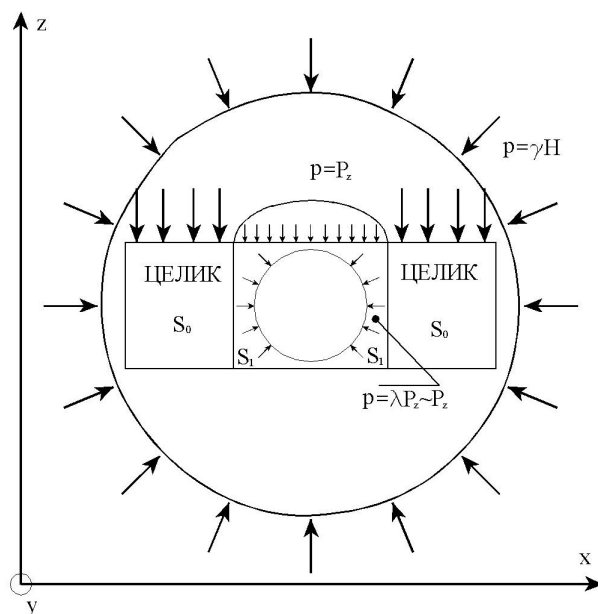
5) Когато времето расте неограничено, скалният масив преминава в гранично състояние, при което зависимостта на деформациите от напреженията се изразява приблизително с парабола от вида  $\varepsilon = \alpha\sigma + \beta\sigma^2$ .

Началните свойства 1. – 3., посочени по-горе, се удовлетворяват от модела на Келвин (Пойтинг - Томпсън). Този модел, се изразява с линейно обикновено диференциално уравнение с постоянни коефициенти:

$$\sigma + T_{rel}\dot{\sigma} = 2G_N(\varepsilon + T_{rel}\dot{\varepsilon})$$

Ще представим модел и изчислителна схема удовлетворяващ свойства 1. – 3.

За да се използва уравнението на състоянието на масива по модела на Пойтинг – Томпсън е необходимо да се направят някои видоизменения на схемата на натоварването на стените на изработката (фиг. 3). Това е схема, при която изработката се намира между два целика. Вътрешните части на целиците, обозначени с  $S_0$  и масива в област, отдалечена от изработката, са натоварени с хидростатичен товар  $p = \gamma H$ . Външните части на целиците, включващи стените на изработката, са натоварени от образувалият се свод. Върху стените на изработката действа вертикален натиск  $p = P_z$  и хоризонтален -  $p = \lambda P_z$ . Понеже стойностите на коефициента на страничен отпор  $\lambda$  се менят от  $1/3$  до 1, като клонят към 1 след определено време, то можем да приемем  $\lambda \approx 1$ . Примаме, че изработката е кръгла с приведен радиус  $a_1$  и под хидростатичен натиск  $p = P_z$ , действащ във външните части на двата целика (фиг. 3).



Фиг. 3. Изчислителна схема на натоварването на стените на изработката

По този начин имаме хоризонтална изработка, насочена по оста  $y$ , с променящ се във времето и с отдалечаване от изработката, хидростатичен натиск

$$p = P_z = \frac{c_0}{(t + t_0)^{\alpha_0}} \text{ за област около стените на}$$

изработката и  $p = \gamma H$  за далечни разстояния. Разглеждаме осесиметрична, равнинно – деформирана задача. От условията за нисвиваемост на материала, съгласно Парашкевов (1965), се получават формули за деформациите:  $\varepsilon_\tau = \frac{A(t)}{\tau^2}$  и  $\varepsilon_\theta = -\frac{A(t)}{\tau^2}$ , където  $A(t)$  е функция на времето, която се определя от приетия феноменологичен модел.

Разглеждаме моделът на Пойтинг – Томпсън  $\sigma + T_{rel} \dot{\sigma} = 2G_N (\varepsilon + T_{rel} \dot{\varepsilon})$ , където  $\sigma$  и  $\dot{\sigma}$  са девиаторите на напреженията и скоростите на напреженията;  $\varepsilon$  и  $\dot{\varepsilon}$  – девиаторите на деформациите и скоростите на деформациите;  $G_N$  – еластичен модул на формоизменение;  $T_{rel}$  и  $T_{ret}$  – време на релаксация и време на ретардация.

Разглежданата осесиметрична, равнинно – деформирана задача се записва в ръзгнат вид  $\sigma_\tau - \sigma + T_{rel} (\dot{\sigma}_\tau - \dot{\sigma}) = 2G_N (\varepsilon_\tau + T_{rel} \dot{\varepsilon}_\tau)$   
 $\sigma_\theta - \sigma + T_{rel} (\dot{\sigma}_\theta - \dot{\sigma}) = 2G_N (\varepsilon_\theta + T_{rel} \dot{\varepsilon}_\theta)$ .

От  $\varepsilon_\tau = 0$  следва  $\sigma_z = \frac{\sigma_\tau + \sigma_\theta}{2} = p$ . Следователно  $\sigma = \frac{\sigma_\tau + \sigma_\theta + \sigma_z}{3} = p$  и  $\dot{\sigma} = \dot{p}$ .

От уравнението на състоянието в радиално направление се получава

$$\sigma_\tau + T_{rel} \dot{\sigma}_\tau = p + T_{rel} \dot{p} - \frac{2G_N}{\tau^2} [A(t) + \dot{A}(t)T_{ret}]. \text{ При}$$

контура на изработката (с приведен радиус  $\tau = a_1$ ) се получава  $\sigma_\tau = \dot{\sigma}_\tau = 0$  и  $p = P_z = \frac{c_0}{(t + t_0)^{\alpha_0}}$ .

Получаваме линейното диференциално уравнение

$$\dot{A}(t)T_{ret} + A(t) = \frac{(p + \dot{p}T_{ret})a_1^2}{2G_N} \text{ с решение}$$

$$A(t) = Ce^{-\frac{t}{T_{ret}}} + \frac{a_1^2}{2G_N T_{ret}} \int_0^t (p + \dot{p}T_{ret}) e^{\frac{u-t}{T_{ret}}} du.$$

Мигновеното еластично преместване е

$$u_0 = u_\tau = \frac{\nu + 1}{E} \lambda \gamma H a_1 = \frac{A(0)}{a_1} \text{ следователно}$$

$$C = u_0 a_1 = 2.75 \cdot 200 = 550 \text{ mm}^2$$

Преобразуваме интеграла

$$\int_0^t (p + \dot{p}T_{ret}) e^{\frac{u-t}{T_{ret}}} du = \frac{T_{ret} - T_{rel}}{T_{ret}} \int_0^t p e^{\frac{u-t}{T_{ret}}} du +$$

$$+ \left[ p(t) - p(0) e^{-\frac{t}{T_{ret}}} \right] T_{rel}.$$

Преобразуваме интеграла

$$\int_0^t p e^{\frac{u-t}{T_{ret}}} du \approx k T_{ret} t + (b - k T_{ret}) T_{ret} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_{ret}}} \right) = T_{ret} \Omega.$$

Последното приблизително равенство се получава чрез заместване на кривата  $p = P_z(t)$  с отсечка  $y = kt + b$ , където  $k = \frac{P_z(t) - P_z(0)}{t}$  и  $b$  се избира така, че лицето заградено от отсечката да е равно на лицето заградено от кривата.

Означаваме

$$\Lambda = \left[ p(t) - p(0) e^{-\frac{t}{T_{ret}}} \right] T_{rel} + (T_{ret} - T_{rel}) \Omega \text{ и}$$

$B = \frac{a_1}{2G_N T_{ret}}$ . Окончателно за радиалното преместване на контура на изработката получаваме  $u = \frac{C}{a_1} e^{-\frac{t}{T_{ret}}} + B \cdot \Lambda$ . В модела на Пойтинг – Томпсън е

необходимо да се определят трите параметъра  $T_{ret}$ ,  $T_{rel}$  и  $G_N$ . Понеже задачата не може непосредствено да се реши по метода на най-малките квадрати се използва метод, при който параметърите  $T_{ret}$  и  $T_{rel}$  варират в определени интервали и по метода на най-малките квадрати се определя стойността на неизвестния параметър  $B$ . Получава се:  $T_{ret} = 26 \text{ days}$ ,  $T_{rel} = 0.43 \text{ days}$ ,  $B = 3.48$  и съответно  $G_N = 1.105 \text{ kN/m}^2$ . Средно квадратичната относителна грешка на модела е  $F = 4.33\%$ . Това показва доста добро съвпадение на модела с реално протичащия реологичен процес. Този начин за описване има предимства пред прилагането на наследствената теория, понеже не се налагат множеството добавки и подобрения – използвани при първия представен модел в статията.

Моделът на Пойтинг – Томпсън може да се подобри, така че да бъдат изпълнени и свойства 3. и 4., посочени по-горе. За да се изпълнят свойствата 1. – 5. Рупенейт (1975) предлага нелинеен модел, където към уравнението на Пойтинг – Томпсън се добавя нелинейна част.

Получава се :

$$\dot{\varepsilon} + \frac{1}{T_{ret}} \varepsilon = \frac{1}{2G_s} \dot{\sigma} + \frac{1}{T_{ret}} \left[ \alpha \frac{\sigma}{2G_s} + \beta \left( \frac{\sigma}{2G_s} \right)^2 \right].$$

Така полученото уравнение на състоянието зависи от четири параметъра  $G_s$ ,  $T_{ret}$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  и удовлетворява следните три условия:

1) При постоянно напрежение  $\sigma = const$  деформацията се изразява като функция на времето, така че при неограничено растене на времето асимптотически клони към зависимостта валидна за пределното състояние на скалата;

2) Ако напреженията са моментни, то уравнението води до обичайния закон на Хук;

3) Ако напреженията се увеличават извънредно бавно, при неограничено време решението на уравнението клони асимптотично към зависимостта

$$\varepsilon = \alpha \frac{\sigma}{2G_s} + \beta \left( \frac{\sigma}{2G_s} \right)^2 \quad \text{при гранично състояние на скалата.}$$

скалата.

В написаните зависимости  $\varepsilon$  и  $\sigma$  са съответно девиатора на деформациите и девиатора на напреженията.

Общото решение на уравнението е във вида

$$2G_s \varepsilon = \sigma + \alpha \int_0^t \sigma e^{\frac{u-t}{T_{ret}}} du + \frac{\beta}{2G_s} \int_0^t \sigma^2 e^{\frac{u-t}{T_{ret}}} du.$$

Условието за преминаване в пределно състояние при  $t = \infty$  може да бъде заменено с  $t = T_b$ , когато  $T_b$  е достатъчно голямо,  $T_{ret} < T_b$ ,  $T_{rel} < T_b$ , така че да бъде изпълнено  $T_{ret} \left\| \dot{\varepsilon}(T_b) - \frac{\dot{\sigma}(T_b)}{2G_s} \right\| \leq \delta$ , където  $\delta$  е относителната допустима грешка на преместванията.

## Изводи

В предложения модел функцията на пълзене  $\bar{\psi}(t)$  се определя по данните за хоризонталните премествания на стените на изработката. Същевременно се прави сравнение с реологичния модел получен от лабораторни

изследвания – въвежда се понятие числа на въздействие. При разгледаните геомеханични условия числата на въздействие приемат стойности в тесен интервал и имат максимум съответстващ на граничното състояние на процеса на разрушаване на стените на изработките.

Изведен е реологичният модел на деформациите на стената, който е най-близък до реално протичащия процес.

## Литература

- Амусин Б., А. М. Линьков. 1973. Об использовании переменных моделей для решения одного класса задач линейного наследственной ползучести, Сб. ВНИМИ, №88.
- Баклашов И.В. 1988. Деформирование и разрушение породных массивов, Москва, Недра.
- Дерменджиев Кр., Г. Стоянчев. 2003. Определяне параметрите на предпазни целици при подземни добивни изработки с пряк изход на повърхността, Сб. Доклади "Съвременни геомех. методи в минната промишленост и подземното гражданско и тунелно строителство", Несебър.
- Димитров Ю. 2009. Изследване реологичното поведение на масива около изработки с пряк изход на повърхността, Конференция с международно участие "Открит и подводен добив", Варна.
- Ержанов Ж. С. 1964. Теория ползучести горных пород и ее приложения, Наука, Алма-ата.
- Парашкевов Р., 1965. Механика на скалите, Техника, София.
- Рупнейт К. В. 1975. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород, Недра, Москва.
- Farmer I.W. 1985. Coal mine structures, London, Chapman and hall.
- Pancini M. 1962. Results of the First Series of Tests Performed on a Model Reproducing the Actual Structure of the Abutment Rock of the Vainot Dam, *Geologie und Bauwesen*, Н. 3, 4.
- Paruishev V., N. Nikolaev, G. Stoyanchev. 1994. Investigation and analysis of frictional pipe anchor application in soft bedded rocks, *World mining congress*, Sofia.