

УДК 544.034.2

Кудайбергенов Мэлс Кудайбергенович

докторант, Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета, г. Семей
Email: melskk@mail.ru

Карчевский Андрей Леонидович

ф.м.-ғ. докторы, Новосибирск мемлекеттік университеті, г. Новосибирск
Email: karchevs@math.nsc.ru

Кудайбергенова Бакытжан Серикжановна

аға оқытушы, Қазақ инновациялық гуманитарлық-заң университеті, жаратылыстану
ғылымдарының магистрі, Семей қ.,
Email: kbs_08@mai.ru

ГАЗДЫН ДИФФУЗИЯСЫН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП КӨМІР ҚАБАТЫНДАҒЫ КЕРНЕУДІ ЕСЕПТЕУ

Бұл мақалада көлденен жатқан көмір қабаты деформациясының жазық есебі қарастырылған. Қарастырылып отырған көмір қабатына жоғарыда орналасқан жыныстардың шартты салмағы әсер етеді. Бұл тәсілдің жаналығы болып, көмір қабатын аршу кезінде пайда болатын газдардың сүзілуін есепке алып, кернеулер өрісі дамудың серпімділік есебінің аналитикалық шешімі алынған. Газдың диффузиясын ескере отырып көмір қабатындығы кернеулерді есептеуге арналған аналитикалық өрнектер алынған.

Түйін сөздер: кернеу, аналитикалық есеп, газ диффузиясы, көмір қабаты

В данной статье рассматривается плоский расчет деформации горизонтального угольного пласта. На рассматриваемый угольный пласт влияет условная масса пород, расположенных выше. При этом необходимо учитывать фильтрацию газов, образующихся при вскрытии угольных пластов, а также аналитическое решение расчета динамичности развития поля напряжений. С учетом диффузии газа получены аналитические выражения для расчета напряжений на угольных пластах.

Ключевые слова: напряжение, аналитический отчет, диффузия газа, угольный пласт

This article discusses the flat calculation of the deformation of the horizontal coal seam. The considered coal seam is affected by the conditional mass of rocks located above. It is necessary to take into account the filtration of gases formed during the opening of coal seams, as well as the analytical solution for calculating the dynamism of the stress field. Taking into account the gas diffusion, analytical expressions for the calculation of stresses on coal seams are obtained.

Keywords: stress, analytical report, gas diffusion, coal seam

Кіріспе. Жерасты қазба жұмыстарының әсерінен тау жыныстарының жылжуы бірқатар мәселелерді қамтиды. Жерасты қазбаларын (әсіресе тазалау қазбаларын) жүргізу кезінде, жоғарғы қабаттағы тау жыныстарының табиғи тепе-теңдігінің бұрзылуын туындататын, үлкен қуыстар пайда болады.

Жер астынан көмір қазу жұмыстарының қарқындылығы, конвейерлі технологияларды кенінен пайдалануы, мүмкін болатын тау соққылары мен газдың бөлініп шығу қауіпсіздігінің жоғарлау мәселелерін шиеленістіреді [1]. Жер асты қазба жұмыстарын жүргізу кезіндегі тау кен қабаттарының деформациялануынан пайда болған микросейсмикалық эмиссияны тіркеу үшін, Қазақстандағы барлық шахталары мен кен орындары бақылау жүйелерімен жабдықталған [2,3].

Қазір нарықта танымал көптеген тау кен соққыларын болжау мен мониторинг жүргізуге

арналған коммерциялық ақпараттық жүйелері (ANSYS, ABACUS, FLAC и т.б.), көмір жынысты қабаттардың кернеу өрісі мен георта деформациясын есептеуде санды әдістері қолданады. Көптеген ақпараттық техногендік жағдайларда геомеханикалық өрістің күйін жедел бағалап, шұғыл шешім қабылдау үшін санаулы секундтар беріледі. Сондықтан жоғарыда айтылған ақпараттық жүйелердің алгоритмы санды әдістерге негізделген соң жылдам және аз уақыт аралығында мүмкін болатын тау соққысы мен ақпаратты болжау мүмкіндігі төмендейді. Сондықтан геомеханикалық өрістерді есептеудегі аналитикалық әдістер әлі де актуалды болып келеді, себебі бұл әдіс санды алгоритмдерді тестілеуде қажетті жоғары дәлдікке ие болады және тәжірибеде өте аз уақыт аралығында қажетті шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Есептің қойылуы. Аршылған көмір қабатындағы кернеулер өрісін есептеп шығару. Көмір қабатын аршу кезінде көмір қабатында

газдардың диффузиясы басталып кернеулер өзгереді. Көмір қабатының қуаты мен ұзындығына ескере отырып бұл жағдайда жазықтық деформацияланған күй моделін қарастырамыз

Бұл жағдайда Навьенің теп-теңдік өрнегі келесі түрде жазылады:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial x}, \quad \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (1)$$

Мұнда κ – Био коэффициенті, p – көмір қабатындағы газдың қысымы, ол диффузия теңдеуіне кіреді

$$\frac{\partial p}{\partial t} = D \Delta p, \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2)$$

Көмір қабаттындағы кернеулік күйі Сен-Венанның деформациялану теңдеуімен сипатталады

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z} \quad (3)$$

және Гук заңымен

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_z), \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \nu \sigma_x), \quad \gamma_{xz} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xz} \quad (4)$$

шектік шарттарымен

$$\sigma_z|_{z=\pm l_z} = \begin{cases} f_1(x) \\ f_2(x) \end{cases}, \quad \tau_{xz}|_{z=\pm l_z} = \begin{cases} g_1(x) \\ g_2(x) \end{cases}, \quad \frac{\partial p}{\partial z}|_{z=\pm l_z} \\ \sigma_x|_{x=\pm l_x} = 0, \tau_{xz}|_{x=\pm l_x} = 0, p|_{x=\pm l_x} = p_a \quad (5)$$

Мұнда p_a – атмосфералық қысым және бұрыш нүктелерінде орындалған келісім шарттары:

$$g_j(\pm l_x) = 0, \quad j=1,2$$

мен бастапқы шарттары

$$p(x, z, 0) = p_0(x, z).$$

(6)

Диффузия теңдеуін шешу. $q(x, z, t) = p(x, z, t) - p_a$, жаңа функциясын қарастырайық, ол келесі есепті қанағаттандырады

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \Delta q, \quad \frac{\partial q}{\partial z}|_{z=\pm l} = 0, q|_{x=\pm l} = 0, q|_{t=0} = q_0(x, z) \equiv p_0(x, z) - p_a$$

$$\frac{\partial \hat{q}}{\partial t} = D \Delta q, \quad \frac{\partial \hat{q}}{\partial z}|_{z=\pm l_z} = 0, \frac{\partial \hat{q}}{\partial z}|_{x=0} = 0, \hat{q}|_{x=l_x} = 0, \hat{q}|_{t=0} = \hat{q}_0(x, z);$$

$$\frac{\partial \tilde{q}}{\partial t} = D \Delta q, \quad \frac{\partial \tilde{q}}{\partial z}|_{z=\pm l_z} = 0, \tilde{q}|_{x=l_x} = 0, \tilde{q}|_{t=0} = \tilde{q}_0(x, z);$$

Фурье әдісін қолдансақ диффузия теңдеуінің (2) $[-l_x, l_x] \times [-l_z, l_z]$ ауданындағы (5), (6) бастапқы және шектік шарттарды қанағаттандыратын $p(x, z, t)$ шешімін береді:

$$p(x, z, t) = p_a + \sum_{k=1}^{\infty} \hat{p}_k(z, t) \cos(\alpha_k x) + \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{p}_k(z, t) \sin(\gamma_k x)$$

мұнда

$$\hat{p}_k(z, t) = \hat{q}_{i,k0} e^{-D \alpha_k^2 t} + \sum_{k=1}^{\infty} \hat{q}_{0,kn} e^{-D(\alpha_k^2 + \beta_n^2) t} \cos(\beta_n z),$$

$$\tilde{p}_k(z, t) = \tilde{q}_{i,k0} e^{-D \gamma_k^2 t} + \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{q}_{0,kn} e^{-D(\gamma_k^2 + \beta_n^2) t} \cos(\beta_n z),$$

мұнда $\hat{q}_{0,kn}$ және $\tilde{q}_{0,kn}$ – $q_0(x, z)$ және $\alpha_k = \pi(2k-1)/2l_x$, $\gamma_k = \pi k/l_x$, $\beta_n = \pi n/l_z$ функцияларының так және жұп бөліктерінің Фурье коэффициенттері.

Екі өлшемді бір текті және бір текті емес бигармоникалық теңдеуді шешуге көптеген алгоритмдер ұсынылған, мысалы Файлон немесе Рибьера есептері.

Яғни жоғарыда келтірілген өрнектерді талдау және есептеу жүргізу арқылы келесі теңдеуге келеміз

$$\varphi(x, z) = \frac{1}{2} (f_{-2}^1 + f_{-2}^2) \frac{x^3}{6} + f^1 \frac{x^2}{2} - \frac{\kappa p_a}{2} (x^2 + z^2) - \frac{g^1}{3l_x^2} x^3 z + g^1 x z$$

$$-\sum_{k=1}^{\infty} Y_k(z) \cos(\alpha_k x) + \sum_{k=1}^{\infty} U_k(z) \sin(\gamma_k x) + \sum_{m=0}^{\infty} Q_m(x) X_m(z; l_z) + \sum_{m=0}^{\infty} R_m(z) X_m(x; l_x)$$

Осыдан кернеулерді анықтауға қажетті өрнектерді жазамыз

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, z) = & \kappa q(x, z, t) + \sum_{k=1}^{\infty} Y_k''(z) \cos(\alpha_k x) + \sum_{k=1}^{\infty} U_k''(z) \sin(\gamma_k x) \\ & + \sum_{m=0}^{\infty} Q_m(x) X_m''(z; l_z) + \sum_{m=0}^{\infty} R_m''(z) X_m(x; l_x), \end{aligned}$$

$$\sigma_x(x, z) = \kappa q(x, z, t) + \frac{1}{2}(f_{-2}^1 + f_{-2}^2) \cdot x + f^1 \frac{2g^1}{l_x^2} xz - \sum_{k=1}^{\infty} Y_k(z) \alpha_k^2 \cos(\alpha_k x)$$

$$-\sum_{k=1}^{\infty} U_k(z) \gamma_k^2 \sin(\gamma_k x) + \sum_{m=0}^{\infty} Q_m''(x) X_m(z; l_z) + \sum_{m=0}^{\infty} R_m(z) X_m''(x; l_x),$$

$$\tau_{xz}(x, z) = -q^1 \left(1 - \frac{x^2}{l_x^2}\right) + \sum_{k=1}^{\infty} Y_k'(z) \alpha_k \sin(\alpha_k x) - \sum_{k=1}^{\infty} U_k'(z) \gamma_k \cos(\gamma_k x)$$

$$-\sum_{m=0}^{\infty} Q_m'(x) X_m'(z; l_z) - \sum_{m=0}^{\infty} R_m'(z) X_m'(x; l_x).$$

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Пучков Л. А., Сластиунов С. В., Коликов К. С. Извлечение метана из угольных пластов. М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2002.
2. Захаров В. Н. Сейсмоакустическое прогнозирование и контроль состояния и свойств горных пород при разработке угольных месторождений. М.: изд. ИГД им. А. А. Скопинского, 2002.
3. Zhenbi L., Baiting Zh. Microseism monitoring system for coal and gas outburst // Internat. J. Computer Sci. Issues. 2012. V. 9, is. 5, N 1. P. 24-28.
4. Журков С. Н. К вопросу о физической основе прочности // Физика твердого тела. 1985. Т. 22, № 11. С. 3344-3349.
5. Li T. B., Xiao X. P. Comprehensive integrated methods of rockburst prediction in underground engineering // Adv. Earth Sci. 2008. V. 23, N 5. P. 533-540.

Кудайбергенов Мэлс Кудайбергенович

Лауазымы: Қазақ инновациялық гуманитарлық-заң университеті, 6D060200 «Информатика» мамандығының 3 курс докторанты

Пошталық мекен-жайы: 071400, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Би Боранбай к., 43

Ұялы тел: +7 775 342 06 76

Карчевский Андрей Леонидович

Лауазымы: РГА СБ С.Л.Соболев атындағы математика институты, ф.м.-ғ. докторы, Новосибирск мемлекеттік университеті

Пошталық мекен-жайы: karchevs@math.nsc.ru

Ұялы тел: +7 913 390 37 67

Кудайбергенова Бакытжан Серикжановна

Лауазымы: Қазақ инновациялық гуманитарлық-заң университеті, аға оқытушы, жаратылыстану ғылымдарының магистрі

Пошталық мекен-жайы: 071400, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Би Боранбай к., 43

Ұялы тел: +7 778 634 48 48

Газдын диффузиясын ескере отырып көмір қабатындағы кернеуді есептеу

Кудайбергенов Мэлс Кудайбергенович

Должность: Докторант 3-го курса специальности 6D060200 «Информатика» Казахского гуманитарно-юридического

инновационного университета

Почтовый адрес: 071400 г. Семей, ул. Би Боранбая, 43

Сот. тел.: +7 775 342 06 76

Карчевский Андрей Леонидович

Должность: Доктор ф.-м.н. Института математики им.С.Л.Соболева СО РАН, Новосибирский государственный университет

Почтовый адрес: karchevs@math.nsc.ru

Сот. тел.: +7 913 390 37 67

Кудайбергенова Бакытжан Серикжановна

Должность: магистр естественных наук, старший преподаватель Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета

Почтовый адрес: 071400, г. Семей ул. Би Боранбая, 43

Сот. тел.: +7 778 634 48 48

Расчет напряжения в угольном пласте с учетом диффузии газа

Kudaibergenov Mels Kudaibergenovich

Position: Doctoral student of the 3rd year of specialty 6D060200 "Informatics" of the Kazakh Humanitarian Juridical Innovative University

Mailing address: F17M2K2, Republic of Kazakhstan, Semey, Bi Boranbai st 43

Mob' phone: +7 775 342 06 76

Calculation of stress in the coal seam taking into account the diffusion of gas

Karchevsky Andrey Leonidovich

Position: Dr. f. -M. S. Institute of mathematics.S. L. Soboleva SB RAS, Novosibirsk state University

Mailing address: karchevs@math.nsc.ru

Mob' phone: +7 913 390 37 67

Calculation of stress in the coal seam taking into account the diffusion of gas

Kudaibergenova Bakytzhan Serikzhanovna

Position: master of science, senior lecturer of the Kazakh Humanitarian Juridical Innovative University

Mailing address: F17M2K2, Republic of Kazakhstan, Semey, Bi Boranbai st 43

Mob' phone: +7 778 634 48 48

Calculation of stress in the coal seam taking into account the diffusion of gas