

8. Ларіонов Г.І. До аналізу результатів математичного та імітаційного моделювання роботи бункера-перевантажувача/ Ларіонов Г.І., Брагінець Д.Д., Р.В. Кірія/ Сист. технодлгії. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011.– с.122-128.

9.. Сапегин, В.Н. К анализу решения задачи о нестационарном деформировании упругой среды/ Сапегин, В.Н., Ларионов Г.И. / Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. № 14: Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011.– с.39-49.

10. Ismet Canbulat. Evaluation and design of optimum support systems in South African collieries using the probabilistic design approach / Ismet Canbulat // Dissertation submitted to the Faculty of Engineering Built Environment and Technology for the degree Philosophy Doctor/ University of Pretoria. – Pretoria, 2008. – 340 p.

11. Mark C. Design of roof bolt systems / C. Mark // New technology for coal mine roof support. Pittsburgh, PA. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Centres for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health, 2000, DHHS,(NIOSH) Publication №2000-151, IC 9453, 2000–P.280. .

12. Ивахненко А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Юрачковский. – М.: Радио и связь, 1987. – 118 с.

УДК 622.831.322

Д-р техн. наук Д.М. Житленок,
инж. А.С. Крышнев,
(ГП «Дзержинскуголь»)

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ПРЕДЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННОГО ГОРНОГО МАССИВА ВИБРАЦИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА НЕГО

Формується фізична сутність способу вібраційного впливу на вугільний пласт через вміщуючі породи, а також наводиться рішення аналітичної задачі визначення додаткових нормальних і дотичних напружень на контактні вугільний пласт - вміщуючі породи при одиночному і подвійному імпульсах дії.

PHYSICAL ESSENCE AND MATHEMATICAL MODEL CONTROLLING THE STATE OF MAXIMUM STRESS IN ROCK MASSIF AT IT VIBRATION INFLUENCE

Generated physical essence of vibration influence on the method coal bed through host rocks, and perform solution to analytical the objectives of determining additional normal and shear stresses at the contact between coal bed - host rocks at single and double-pulse influence.

Теоретическими исследованиями, проведенными в ИГТМ НАН Украины установлено [1], что максимальное значение опорного давления и ширина зоны отжима угля при увеличении размеров выработанного пространства, угла падения, коэффициента сцепления и угла трения пласта с боковыми породами – убывает. После выемки очередной заходки напряжения вблизи кромки забоя практически мгновенно принимают свои предельные значения. При достаточно высокой скорости подвигания очистного забоя сближение пород кровли и почвы позади забоя значительно уменьшается, чем при малой.

В этих условиях при небольших пригрузках, действующих в течение сравнительно небольшого промежутка времени, угольный массив, не успевая пройти стадию пластического деформирования попадает в стадию интенсивного отжима в сторону обнаженной забоем поверхности.

В настоящее время при разработке угольных пластов предложены волновые способы управления напряженно-деформированным состоянием горного массива. Одним из таких способов является воздействие на пласт упругими волнами через вмещающие породы.

Сущность способа заключается в том, что при вибрационном воздействии на кровлю и почву энергия передается в угольный пласт упругими волнами. При этом массив со своей стороны оказывает на упругий импульс действие аналогичное действию низкочастотного фильтра, ослабляющего в большой степени высокочастотные составляющие, т.е. максимум спектральной плотности импульса будет передвигаться в сторону низких частот. При этом в боковых породах происходит ослабление связей и в первую очередь по плоскостям наслоений, что приводит к значительному ускорению сближения почвы с кровлей, а следовательно, и к увеличению пригрузки на призабойную часть пласта. В то же время при проходе упругих волн по контактам пласта с кровлей и почвой напряжения в угольном пласте распределяются неравномерно, следствием чего является повышение трещиноватости призабойной зоны пласта, чем обуславливается активизация процессов фильтрации газа и его десорбции в пределах области влияния воздействия.

Таким образом создаются условия для значительного увеличения зоны отжима угольного пласта в его краевой части, перемещения максимума опорного давления вглубь массива.

Выбор параметров вибровоздействия на горный массив с целью управления его состоянием зависит от большого числа горногеологических и горнотехнических факторов. Среди них следует выделить, прежде всего, механические свойства пласта и вмещающих пород и характер связи их на контактах.

Для конкретизации параметров вибровоздействия необходимо знать закономерности изменения напряжений во времени вблизи горной выработки и зависимости от перечисленных факторов. В связи с этим была рассмотрена задача о напряженно-деформированном состоянии пород и угольного пласта вблизи очистной выработки при воздействии на кровлю и почву динамических нагрузок, изменяющихся по произвольному закону, с учетом неодинаковых механических свойств пласта и боковых пород при различных условиях на контактах.

Расчетная схема принималась в виде двух однородных изотропных полуплоскостей, между которыми располагаются две полубесконечные полосы толщиной $2h$ (рис. 1). К границам полуплоскостей приложена динамическим нагрузка $P(x, t)$.

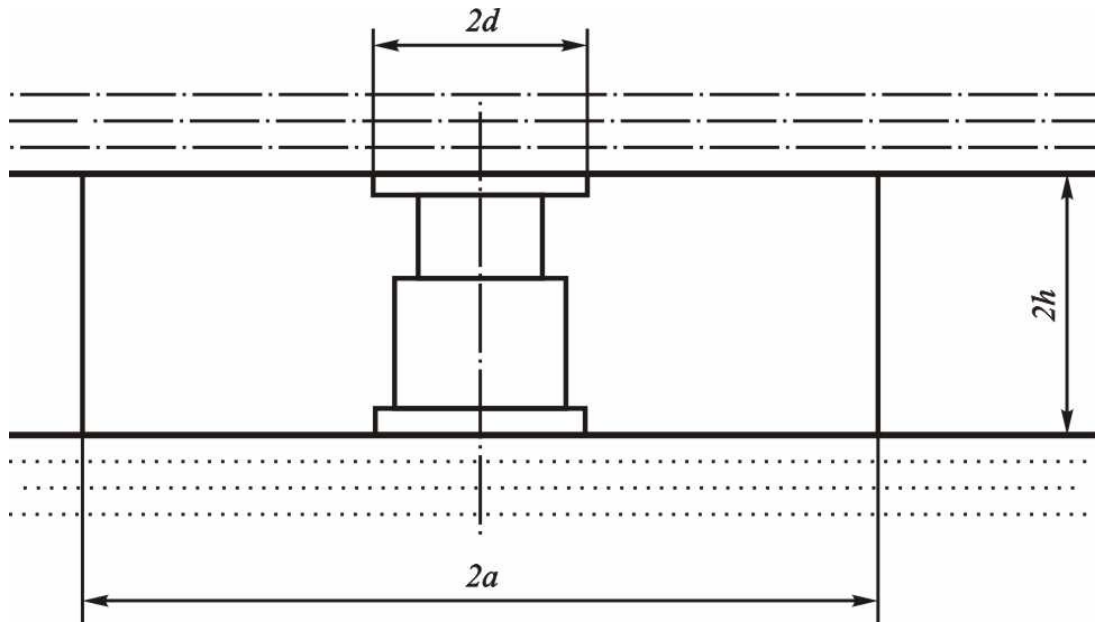


Рис. 1 – Расчетная схема импульсного воздействия

Решение задачи осуществлялось методами динамической теории упругости и сводилось в общем случае к решению системы интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода относительно дополнительных нормальных и касательных напряжений $\sigma_y(x, t)$ и $\tau_{xy}(x, t)$ на контактах слоя и полуплоскостями.

При принятии для пласта гипотезы Винклера-Фусса – гипотезы упругого основания. Предполагающей постоянное по толщине пласта распределение напряжений, эта задача значительно упрощается и в случае отсутствия трения на контакте угольный пласт – боковые породы сводится к определению дополнительных напряжений σ_y из уравнения:

$$\frac{\mu\pi h}{aE} \sigma_y(x, b, t) = \int_1^{\infty} \int_0^t \sigma_y(z, b, \tau) R(z-x, t-\tau) d\tau dt + \int_0^1 \int_0^t R(z, \tau) R(z-x, t-\tau) d\tau dt, \quad (1)$$

где

$$R(z, \tau) = -\frac{\sqrt{\eta_1 - \beta^2}}{F(\eta_1)} \ln \left| 1 - \frac{\tau^2}{z^2 \eta_1^2} \right| + \frac{1}{\pi} \int_0^{\beta} \frac{\sqrt{\beta^2 \eta_1^2}}{F(\eta)} \ln \left| 1 - \frac{\tau^2}{z^2 \eta^2} \right| d\eta + \frac{4}{\pi} \int_{\beta}^1 \frac{\eta^2 (\eta^2 - \beta^2) \sqrt{1 - \eta^2}}{F(\eta) f(\eta)} \ln \left| 1 - \frac{\tau^2}{z^2 \eta_1^2} \right| d\eta, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F(\eta) &= (2\eta^2 - 1)^2 - 4\eta^2 \sqrt{\eta^2 - 1} \sqrt{\eta^2 - \beta^2}, \\ f(\eta) &= (2\eta^2 - 1)^2 + 4\eta^2 \sqrt{\eta^2 - 1} \sqrt{\eta^2 - \beta^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

где μ - коэффициент Ламе пород; E - модуль Юнга пласта; $x = \frac{\bar{x}}{a}$, $t = \frac{\bar{t}}{a} C_2$ - безразмерные координаты и время; x, t - действительные координаты и время; h - полумощность пласта; $b = h/a$; η_1 - действительный корень уравнений, $F(\eta) = 0$;

C_2 - скорость поперечных волн в породе; $P(x,t)$ - функция динамической нагрузки ($|x| < 1$); $\beta = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}}$, где ν - коэффициент Пуассона пород; a - полуширина выработки;

Для численного решения (1) получена рекуррентная формула для определения напряжений в $(l+1)$ -й момент времени, через напряжения $\sigma_y(x,b,t)$ во все предыдущие моменты времени и функцию воздействия $P(x,t)$.

$$\frac{\mu\pi h}{aE} \sigma_{R+1,n} = \Delta t \Delta x \sum_{r=1}^l \sum_{j=1}^n (\sigma_{rj} - \sigma_{rn}) R_{rj} + \Delta t \sum_{r=1}^l \sigma_{rn} \Phi_n + F_{ln}, \quad (4)$$

где $\sigma_{rj} = \sigma_y(1+j\Delta x, b, r\Delta t)$ - напряжение в точке $1+j\Delta x$ в момент времени $r\Delta t$;

$\Delta x = \frac{\Delta t}{\beta}$ - расстояние, проходимое фронтом волны за время;

n - порядковый номер точки, для которой производится вычисление напряжения, $0 \leq n \leq l+1$, ($\sigma_{l+1,n} = 0$ при $n > l+1$);

$R_{rj} = R[(j-n)\Delta x, (l+1-r)\Delta t]$ - вычисляется по формуле (2), с заменой z на $(j-n)\Delta x$ и τ на $(l+1-r)\Delta t$;

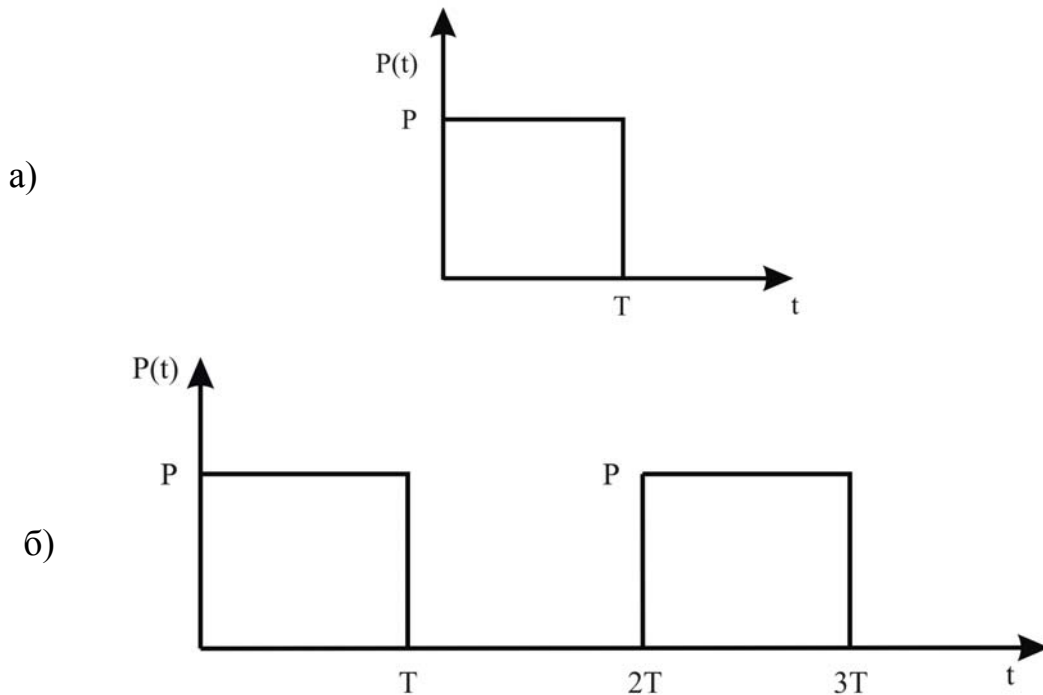
$\Phi_r = \int_1^{H(l+1)\Delta x} R(z-1-n\Delta x, (l+1-r)\Delta t) dz$, где $R(z-1-n\Delta x, (l+1-r)\Delta t)$ вычисляется по формуле (2) с заменой z на $z-1-n\Delta x$ и τ на $(l+1-r)\Delta t$;

$F_{ln} = \int_0^1 \int_0^{\Delta t} P(z, \tau) R(z-1-n\Delta x, \tau - (l+1)\Delta t) d\tau dz$, где $R(z-1-n\Delta x, \tau - (l+1)\Delta t)$ - вычисляется по формуле (2) с заменой на z на $z-1-n\Delta x$ и τ на $\tau - (l+1)\Delta t$.

По формуле (4) составлена программа вычислений напряжений $\sigma_y(x,b,t)$ на контакте угольный пласт - боковые породы.

Таким образом, получен способ определения изменяющихся во времени напряжений $\sigma_y(x,b,t)$ и $\tau_{xy}(x,b,t)$ на контакте угольный пласт - боковые породы для любых функций воздействия $P(x,t)$ на кровлю и почву выработки.

Для установления основных закономерностей изменения напряженного состояния в окрестности выработки при виброимпульсном воздействии на угольный пласт через вмещающие породы были рассмотрены функции воздействия $P(x,t)$ в виде одиночного и двойного импульса длительностью T (рис. 2).



а) одиночный импульс; б) двойной импульс
Рис. 2 – Функции воздействия

В случае одиночного импульса имеем:

$$P(x, t) = \begin{cases} P[H(t) - H(t - T)], & |x| < d; \\ 0 & d < |x| < a. \end{cases}$$

В случае двойного импульса имеем:

$$P(x, t) = \begin{cases} P[H(t) - H(t - T) + H(t - 2T) - H(t - 3T)], & |x| < d; \\ 0 & d < |x| < a. \end{cases}$$

где P - амплитуда импульса; $H(t)$ - функция Хевисайда; $2d$ - размер контакта рабочего органа вибратора с породой.

Расчеты проводились при следующих условиях: $P = 15$ МПа, $L = 1.4$ м – длина пластической зоны, $a = 3,5$ м, $d = 0,35$ м, $h = 1$ м, $\nu = 0,25$, $E_{пл}/E_{пор} = 0,5$ – отношение модулей Юнга пласта и пород, $\rho = 2400$ кг/м³ – плотность пород.

Статическое напряженное состояние призабойной части угольного пласта моделировалось путем специального задания коэффициента постели $K=E/h$. Результаты расчетов представлены на рис. 3. Аналогичные расчеты проводились и для функции воздействия в виде двух последовательных импульсов (рис. 4).

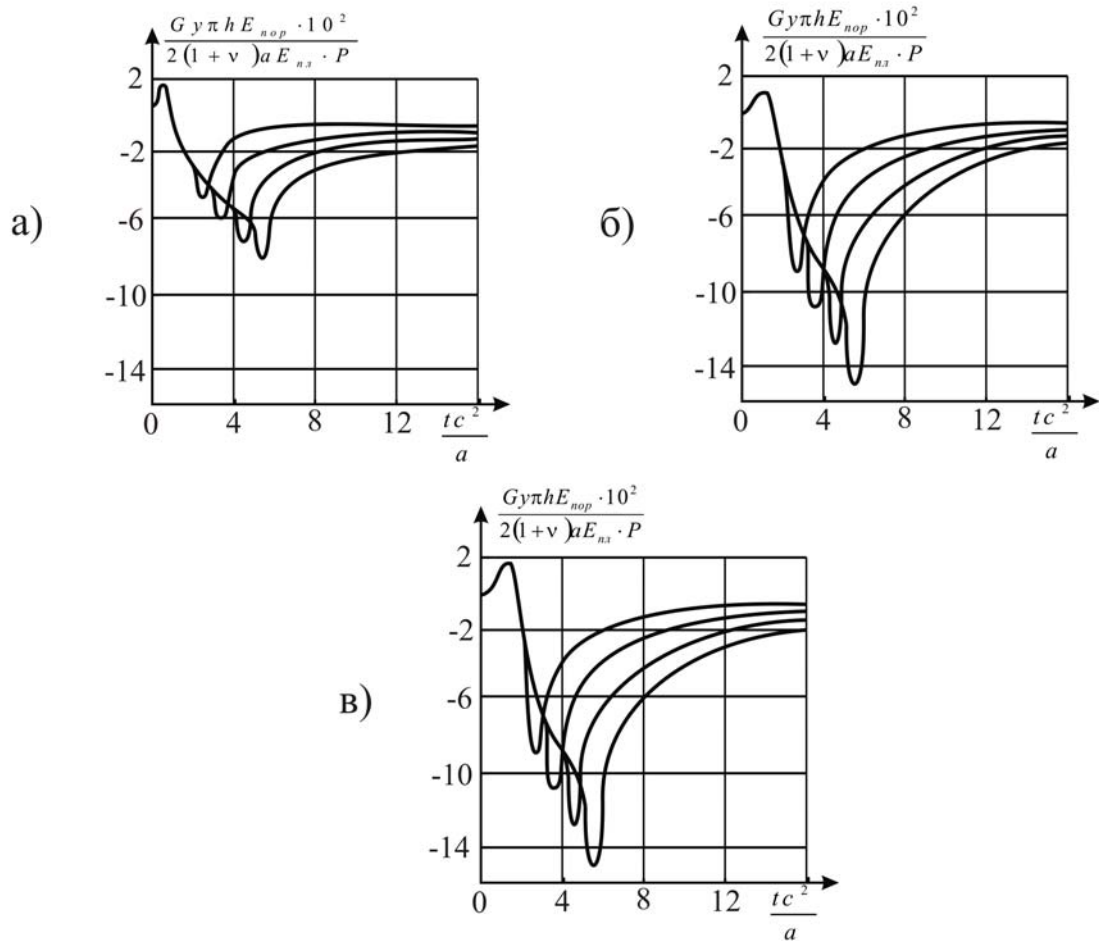


Рис. 3 – Динамические напряжения при воздействии одним импульсом

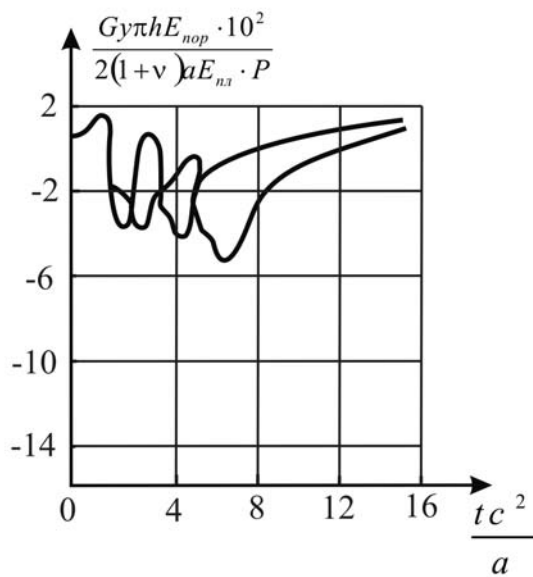


Рис. 4 – Динамические напряжения при воздействии двойным импульсом

Анализ полученных результатов показывает, что возникающие динамические пригрузки (1-5 МПа) соразмерны с величинами напряжений, образующих-

ся от технологического воздействия при традиционных способах добычи угля, а скорости нагружения пласта (10-100 МПа/с) достаточны критическим скоростям. Максимальные значения динамических пригрузок и скоростей их изменения наблюдаются в точках пласта, находящихся в зоне максимума опорного давления. С увеличением длительности импульса с 0,005 до 0,15 с увеличивается величина разгрузки пласта с 0,89 до 3,2 МПа, но уменьшается скорость разгрузки с 210,83 до 21,8 МПа/с, что говорит о необходимости уточнения параметра «длительность импульса воздействия» с целью оптимизации величин разгрузок пласта и их скоростей.

Из рассмотренного вытекает, что виброимпульсное воздействие на пласт через вмещающие породы позволяет управлять напряженным состоянием пласта и, в особенности, в зоне максимума опорного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Софийский К.К. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / К.К. Софийский, А.П. Калфакчян, Е.А. Воробьев. – М.: Недра, 1994. – 192 с.

УДК 622.236.4.001.1

Д-р техн. наук В. П. Курінний,
канд. физ.-мат. наук І. П. Гаркуша
(ДВНЗ «Національний гірничий інститут»)

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ ПРИ РОЗПОВСЮДЖЕННІ В НИХ УДАРНИХ ХВИЛЬ

Выполнено теоретическое изучение различных физических процессов, протекающих в горных породах при распространении в них ударных волн.

THEORETICAL RESEARCH OF PHYSICAL PROCESSES IN ROCKS FLOWING AT DISTRIBUTION IN THEM OF IMPACT WAVES

The theoretical study of different physical processes flowing in rocks at distribution in them of impact waves is executed.

Широко відомо, що велика частина корисних копалин видобувається з використанням вибухових робіт. Зростання об'ємів вживання хімічних вибухових речовин (ВР) в гірничодобувній промисловості і будівництві особливо гостро ставить проблему підвищення ефективності їх використання на руйнування гірських порід, на що в Україні витрачається біля 20% виробленої енергії. Тільки чисельність кар'єрів, що добувають будматеріали, становить 258. Щорічно руйнується і подрібнюється понад 100 млн. т руди. При цьому коефіцієнт використання енергії вибуху не перевищує 5-6%. Відбувається екологічне забруднення навколишнього середовища. При масових вибухах присутній достатньо великий відсоток негабаритних фракцій, а висока міцність шматків гірської маси призводить при повторному дробленні до великої витрати електроенергії і зносу дробарок. При дробленні граніту сортність щебеню недостатньо висока, а при