

З розрахунку видно, що вплив осушення четвертинного водоносного горизонту поширюється на незначну відстань. Наприклад, при довжині робочого борту 500 м притік води із четвертинних суглинків складе $109 \text{ м}^3/\text{добу}$. Таким чином робота кар'єру не вплине на якість питної води для населення, що беруть воду з четвертинних суглинків.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 03.11.2014*

УДК: 622.831 :624.131 (043.3)

© Д.Л. Васильев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРИГРУЗКИ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЧАСТЬ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Известные модели расчета опорного давления не соответствуют экспериментальным измерениям. Предложена новая математическая модель, которая основана на линейном затухании согласно принципу Сен-Венана касательных напряжений от трения между боковыми породами и угольным пластом. Дан метод расчета параболической эпюры горного давления, соответствующей экспериментальным данным.

Відомі моделі розрахунку опорного тиснення не відповідають експериментальним вимірюванням. Запропонована нова математична модель, яка заснована на лінійному загасанні згідно принципу Сен-Венана дотичних напружень від тертя між боковими породами і вугільним пластом. Даний метод розрахунку параболічної епюри гірського тиснення, відповідної експериментальним даним.

Are known models for a calculation of abutment pressure does not correspond to experimental measurements. Was proposed a new mathematical model that is based on linear damping it is accordant with the principle of Saint-Venant shear stresses on the friction between side rocks and coal seams. A method is given for calculating diagrams rock pressure, in the form of a quadratic function which corresponding to experimental data.

Вступление. Несущая способность пласта сопряжена с возникновением опорного давления в его призабойной зоне. Опорное давление характеризуется повышенными, по сравнению с величиной горного давления в нетронутом массиве нормальными к пласту напряжениями, действующими вблизи обнаженной части пласта. Опорное давление отражает пригрузку угольного пласта около выработок, обусловленную обнажением массива. Оно определяет процессы, происходящие в краевых частях пласта. Возникает оно постоянно, когда образуется полость, в т.ч. при проведении выработок. Опорное давление играет важную роль в возникновении горных ударов, внезапных выбросов, отжима угля, пучения, оказывает влияние на устойчивость выработок, вызывает завалы лав и т.д. Под действием пригрузки материал массива повреждается, возникают необратимые деформации в краевой части пласта, в последней образуются

трещины, происходит смещение кровли. Опорное давление на определенном расстоянии от забоя достигает максимума и затем уменьшается до уровня значений, соответствующих состоянию нетронутого массива, что непосредственно сопряжено с распределением контактных нормальных напряжений призабойной зоны.

Постановка проблемы. Проведение выработки приводит к нарушению равновесного состояния до тех пор, пока не наступит новое равновесное состояние. Но в процессе ведения горных работ это состояние постоянно нарушается. Переход массива вблизи зоны возмущений (вблизи призабойной зоны) в новое состояние равновесия может протекать спокойно, а иногда и бурно в виде выбросов угля и газа. Для борьбы с негативными последствиями нарушения равновесного состояния массива, вызванного ведением горных работ, постоянно применяются дополнительные мероприятия, влияющие на переходные процессы.

Понятно, что закономерности проявлений опорного давления зависят от многих факторов, но, важно знать доминирующие из них. Это стало одной из важных проблем механики горных пород по вскрытию физической природы опорного давления, разработке способов управления не только проявлениями опорного давления, но и вызываемыми им физическими процессами.

Цель работы – попытка раскрытия механизма формирования опорного давления, по которому нет единого мнения среди ученых.

Изложение основного материала. Анализ различных гипотез опорного горного давления подробно изложен в работах многих авторов. А.А. Борисов [1] подвергает критическому анализу различные теории на основании того, что они описываются восходящими и нисходящими, как правило, экспонентами, в то время как реальные эпюры горного давления имеют вид выпуклых квадратичных функций (рис. 1). Автор развивает свою концепцию балок на упругом основании, исключая влияние контактного трения между пластом и боковыми породами, но она не описывает достоверно экспериментальную параболу (рис. 1. кривая 2), поскольку начальное напряжение параболы А.А. Борисова равно нулю. Это напряжение согласно измерениям и имеют значения, значительно отличающиеся от нуля.

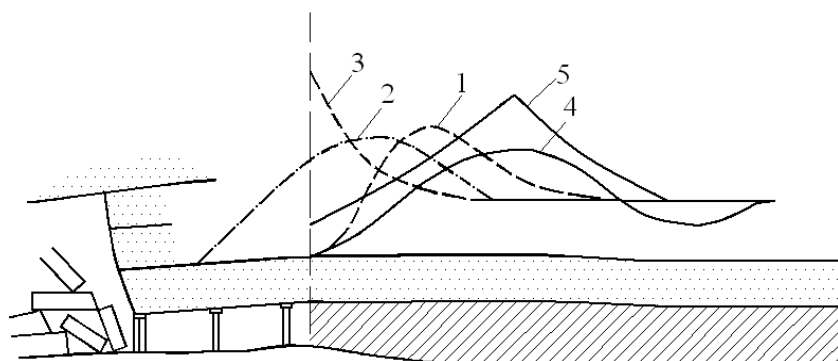


Рис. 1. Схемы распределения опорного давления в средней части лавы по различным данным [1]: 1 – по данным В.Д. Слесарева; 2– по шахтным наблюдениям; 3 – по теории концентрации напряжений; 4 – по теории балок на упругом основании по А.А. Борисову; 5 – по В.В. Ходоту.

Разработанные аналитические построения опорного давления противоречивы и ни одно из них не описывает достоверно эпюру опорного горного давления в соответствии с экспериментальными данными (рис. 1, кривая 2). Попытаемся восполнить этот пробел.

Пласт (рис. 2) представляем вместе с вмещающими породами в виде упругой системы. Как показывают результаты многочисленных исследований, упругие константы вмещающих пород характеризуются модулем упругости, превышающем на целый порядок модуль упругости угля. Поэтому вмещающие породы при решении задачи считаются абсолютно жесткими и упругие свойства их не учитываются. Таким образом, угольный пласт представлен в виде полосы, заключенной между жесткими плитами, при этом на верхнюю плиту действует горное давление. Между вмещающими породами и пластом действуют касательные напряжения от контактного трения, возникающие вследствие деформирования угольного пласта, и направлены вглубь массива (рис. 2).

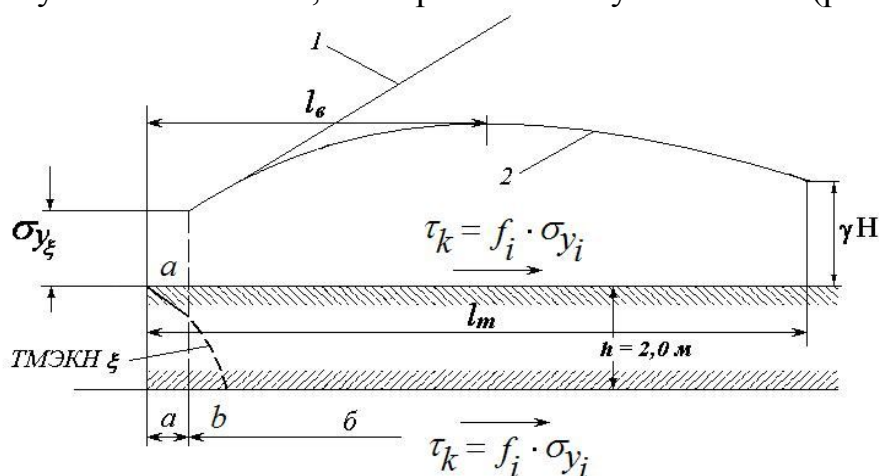


Рис. 2. Зависимости опорного давления по Л.Прандтлю (1) и по авторам (2): a – зона необратимых деформаций, b – зона упругих (обратимых) деформаций

Автор книги [2] на основании принципа Сен-Венана утверждает, что трение по мере удаления от свободной поверхности по длине плиты затухает. Вообще очевидно, что смещение пласта по мере удаления от забоя должно, безусловно, на определенном расстоянии от забоя в нетронутой зоне прекратиться. Общепринято, что величина горного давления на пласт в нетронутой зоне определяется весом столба вышележащих пород единичного сечения согласно формуле

$$\sigma = \gamma H, \quad (1)$$

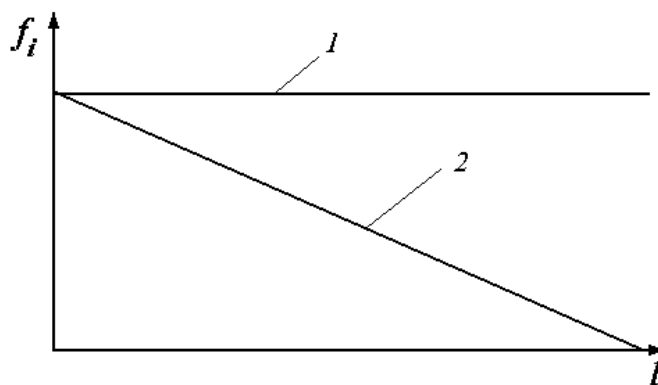
где γ – плотность вмещающих пород; H – высота столба пород.

Расстояние от забоя до зоны нетронутого массива по данным авторов [1, 2] в проходческих забоях составляет 10-15 м, в лавах оно больше. Принято считать на основании экспериментальных наблюдений, что максимум опорного давления располагается в очистных выработках обычно на расстоянии от забоя, равном 2-5 мощностям вынимаемого пласта и равен $(2-3) \cdot \gamma H$ [1].

В работе [3] представлено использование распределения контактных нормальных напряжений по Л. Прандтлю. Используя линейное затухание коэффициента контактного трения f_i по закону $f_i = f_k(1 - t \cdot l)$ (рис. 3), (где f_k – коэффициент контактного трения в краевой части пласта, t – коэффициент затухания контактных касательных напряжений и l – расстояние от забоя до изучаемой контактной области) можем на основании закона Л. Прандтля записать эпюру горного давления в виде

$$\sigma_{y_i} = \sigma_{y_\xi} (1 + f_k (1 - t \cdot l) \cdot l/h), \quad (2)$$

где σ_{y_ξ} – нормальное напряжение в угловой области пласта; h – высота (мощность) пласта.



$$1 - f_i = f_k; \quad 2 - f_i = f_k \cdot (1 - t \cdot l)$$

Рис. 3. Зависимость коэффициента контактного трения от расстояния от забоя: 1 – по Л. Прандтлю, 2 – по Е.М. Макушок

Здесь нужно записать важное условие, что при $f_i = f_k(1 - t \cdot l) = 0$ $\sigma_{y_i} = \gamma H$ (в зоне нетронутого массива). Для подтверждения близко к линейной зависимости контактных касательных напряжений приведем результаты исследований, позаимствованные из работы [4]. В работе приводится эпюра касательных напряжений τ_{x_y} (рис. 4) на контактных плоскостях, пересчитанные на основании экспериментальных измерений смещений пород по контакту с пластом.

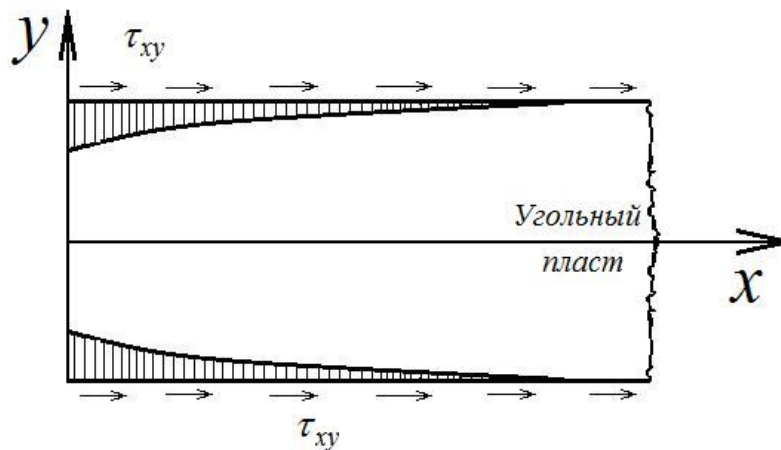


Рис. 4. Эпюры контактных касательных напряжений, полученные перерасчетом экспериментальных замеров смещений по контакту пород с пластом

В горной литературе [1, 2, 4] при построении экспериментальных эпюр в качестве начального напряжения имеет место попытки принимать предел прочности образца породы на одноосное сжатие. В реальных условиях при развитии трещины это не верно. В качестве начального напряжения следует принимать нормальное напряжение в вершине трещины. Тогда аналитическая эпюра горного давления будет соответствовать экспериментальным данным. Нормальное напряжение в вершине трещины на траектории максимальных эффективных касательных напряжений (ТМЭКН) определяется системой формул [8].

$$\sigma_{y\xi} = \frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{k_n(1 + \mu d) \cdot \left(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_\xi^2}\right) \cdot \exp(-2\mu(\beta_\xi + \beta_b))}{1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_b^2}} - k_b \right); \quad (3)$$

$$k_b = \frac{(k_n + \mu\sigma_{y\xi}) \cdot \left(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_\xi^2}\right)}{(1 + \mu d) \left(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_b^2}\right) \cdot \exp(-4\mu\beta_b)}, \quad (4)$$

где $\mu = tg\rho$ и ρ – коэффициент и угол внутреннего трения; k_n – предел сопротивления материала при сдвиге;

где k_b – эффективное касательное напряжение в точке b на ТМЭКН ξ на почве пласта;

$$d = \frac{1}{2} \arcsin b_\xi; \quad b_\xi = \frac{f_k \left(1 - \frac{2y}{h}\right) \cdot \sigma_y \left(1 + \frac{f_k}{h} \cdot x\right)}{k_n + \mu\sigma_{y\xi} \left(1 + \frac{f_k}{h} \cdot x\right)}; \quad b_b = -\frac{f_k \cdot \sigma_y \left(1 + \frac{f_k}{h} \cdot x_b\right)}{k_b + \mu\sigma_{y\xi} \left(1 + \frac{f_k}{h} \cdot x_b\right)};$$

$$\beta_\xi(b) = -\frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{b_\xi(b)}{\sin \rho - \sqrt{1 - b_\xi(b)^2}}.$$

Угол наклона ТМЭКН ξ

$$\alpha_\xi = \frac{\pi}{4} + \rho/2 - \beta_\xi. \quad (5)$$

Решение системы уравнений (3)-(5) проводится на ЭВМ методом итераций. Отметим, что нормальное напряжение $\sigma_{y\xi}$ по мере развития призабойной трещины по ТМЭКН ξ имеет возрастающий характер. Трещина по ТМЭКН ξ в призабойной части пласта развивается до тех пор, пока напряжение в вершине трещины не достигнет значения, достаточного для уравнивания вышележащих пород. Таким образом, призабойная часть пласта может быть разбита на две зоны (рис. 2): зона необратимых деформаций (a) и зона упругих обратимых деформаций (b). При этом в зоне необратимых деформаций, как известно, имеет место отжим угля в свободное пространство. На рис. 2 приведены аналитическая эпюра горного давления, по характеру соответствующая экспериментальной параболе (рис. 1, кривая 2).

На наш взгляд, разработанный метод расчета и построения запредельных кривых угольного пласта, позволяет по-новому провести исследование динамики опорного давления над угольным пластом. Здесь нами изложены только принципы подхода к расчету напряжений в призабойной части пласта. Метод пригоден к исследованию более сложных задач горного дела, например, к определению допустимого устойчивого пролета выработок в подготовительных и очистных забоях в зависимости от несущей способности крепи или посадки кровли, а так же – параметров сдвижения массива горных пород. Достоинством разработанного метода можно считать то, что известные закономерности были получены на основании предположений, гипотез, а в полученных нами закономерностях соблюдаются требования теорий упругости и классических решений Л. Прандтля и принципа затухания контактных касательных напряжений по Сен-Венану.

Приведенная на рис. 4 эпюра контактных касательных напряжений, полученная по экспериментальным данным, практически является линейной, что, в целом, подтверждают идею аналитического метода. На основании обобщения многочисленных экспериментальных данных распределения контактных касательных напряжений значения параметра t могут быть подкорректированы в виде определенной зависимости от протяженности контактной поверхности, что в дальнейшем и предполагается осуществить. В отличие от авторов [6] мы ставим задачу разработки аналитического метода построения эпюры опорного горного давления с пониманием физической сущности ее формирования, по которой можно наметить пути управления напряженно-деформированным состоянием пласта.

На основании изложенного можно прийти к выводу, что опорное горное давление на угольный пласт формируется контактными касательными напряжениями в соответствии с их близкому к линейному закону затухания вдоль кромки этого пласта в направлении от забоя в его глубь и описывается выпуклой квадратичной функцией, начальное значение которой равно нормальному напряжению в вершине призабойной трещины, а конечное – значению горного давления в нетронутом массиве (рис. 1, кривая 2).

Выводы. Разработан аналитический метод построения эпюр опорного горного давления. Установлено, что опорное горное давление на угольный пласт формируется контактными касательными напряжениями в соответствии с их близкому к линейному затуханию согласно экспериментальных данных вдоль кромки пласта в направлении от забоя до зоны нетронутого массива и описывается выпуклой квадратичной функцией, начальное значение которой равно нормальному напряжению в вершине призабойной трещины, а конечное – значению горного давления в нетронутом массиве, что соответствует экспериментальной кривой 2 (рис. 1).

Список литературы

1. Борисов, А.А. Механика горных пород / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
2. Шашенко, А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова. – Днепропетровск: НГУ, 2005. – 319 с.
3. Васильев, Л.М. Механизм формирования горизонтальных нормальных напряжений в массивах горных пород / Л.М. Васильев, Д.Л. Васильев / Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. Ископ. – 2013. - № 2. – С. 81-90.

4. Макушок Е.М. Самоорганизация деформационных процессов // Е.М. Макушок – Минск: Наука и техника, 1999. – 272 с.
5. Васильев, Д.Л. Совершенствование метода расчёта предела прочности горных пород при одноосном сжатии / Д.Л. Васильев // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2013. – Вып. 108. – С. 199-106.
6. Грицко, Г.И. Экспериментально–аналитический метод определения напряжений в массиве горных пород. / Г.И. Грицко, Б.В. Власенко – Новосибирск: Наука, 1976. – 188 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусей В.І.
Надійшла до редакції 03.11.2014*

УДК 504.3.054

© В.А. Зберовский

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫХЛОПНЫМИ ГАЗАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЬНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Разработана методика расчёта концентрации выхлопных газов в атмосфере при эксплуатации автотранспортных средств в карьере и на прилегающей к нему территории, которая учитывает криволинейность осевой линии факела распространения вредности от источника путем ее аппроксимации линией тока воздушного потока, проходящей через источник вредности, что повышает точность расчёта и позволяет учесть сложный урборельеф территории.

Розроблено методику розрахунку концентрації вихлопних газів в атмосфері при експлуатації автотранспортних засобів в кар'єрі і на прилеглий до нього території, яка враховує криволінійність освової лінії факела поширення шкідливості від джерела шляхом її апроксимації лінією струму повітряного потоку, що проходить через джерело викиду, що підвищує точність розрахунку і дозволяє врахувати складний урборельеф території.

Developed a method for calculating the concentration of exhaust gases in the atmosphere at eksplua-tation vehicles in career and the surrounding area, which takes into account the curvilinear center line in the plume spread hazard from the source by its approximation streamline airflow passing through the source of the harm-that improves the accuracy of the calculation and allows to consider complex urborelef territory.

Введение. Карьерные автосамосвалы и большегрузные дизельные грузовые технологические автомобили являются интенсивными передвижными источниками загрязнения воздуха продуктами сгорания дизельного топлива. Количество одновременно эксплуатируемых автотранспортных средств в карьере и на прилегающей к нему территории может достигать 400–500 автомобилей, что приводит к повышению концентрации вредных веществ в атмосфере окружающей среды. Выхлопные газы дизельных автосамосвалов представляют сложную многокомпонентную смесь в состав которой входят такие токсичные вещества как: окись углерода, углеводородные соединения, альдегиды, окислы азота, диоксид серы, твердые частицы сажи, а также полициклические ароматические