ного сопротивления источника питания и омического сопротивления жил фидера.

3. Так как коэффициент *ф* определяется параметрами фидера и ВШС, то один и тот же фидер в зависимости от ВШС может быть как элементом, не ограничивающим искробезопасную мощность в нагрузке, так и значительно ее снижающим.

4. Подключение фидера к омической цепи МИИС снижает искробезопасную мощность электрического разряда дополнительно к потерям на омическом сопротивлении фидера при его характеристике *ф›0,7*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Програма підвищення безпеки праці на вугільних шахтах. Сучасний стан і проблеми охорони праці. Затв. пост. Кабінету Міністрів україни. – К. : Укр. – інформ. прав. Центр. – 2002. – С. 45-77.

2. Брюханов А.М., Кудинов Ю.В. О состоянии научных исследований по „Програмне повышения безопасности труда на угольных шахтах” //Сб. научн. тр. МакНИ, - 2003. – С. 11-16.

3. Лопатин, В.В. Моделирование электрических разрядов, возникающих в электрических цепях и влияющих на взрывобезопасность аппаратуры мобильных информационно-измерительных системных комплексов / В.В. Лопатин// Геотехническая механика: Межвед. науч.-техн. сб./ ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск, 2008.- Вып.74 –С. 230-235.

УДК 622.7:741.6:532.5

В.П. Надутый, д-р техн. наук,
В.И. Елисеев, канд. физ.-мат. Наук,
В.И. Луценко, канд. техн. наук,
И.П. Хмеленко, аспирант
(ИГТМ НАН Украины)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПУСКАНИЯ ЖИДКОСТИ В ПОРОВОМ КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ СЛОЯ ГОРНОЙ МАССЫ

Запропоновано модель опускання рідини у поровому каналі перемінного перетину в шарі гірської маси і показано вплив гістерезисних втрат на пульсацію рідини в каналі

DEVELOPMENT OF MODEL OF LOWERING OF A LIQUID IN THE PORE CHANNEL OF VARIABLE SECTION AT DEHYDRATION OF ROCK LAYER

The model of lowering of a liquid in the pore channel of variable section in a layer of rock is offered and the influence hysteresis of losses on a pulsation of a liquid in the channel is shown

Одной из распространенных операций по обезвоживанию горной массы является виброгрохочение. Отличается в этом процессе обезвоживание слоя горной массы, лежащей на сетке. При этом интенсивность обезвоживания неравномерна по толщине слоя. В верхних слоях обезвоживание происходит интенсивно. При достижении нижних слоев, находящихся возле сетки, интенсивность обезвоживания резко замедляется. Для выяснения причин замедления и определения возможности управления этим процессом были выполнены экспе-

риментальные исследования, в которых поровые каналы в слое горной массы (аналог капилляров) моделировались стеклянными трубками различного диаметра [1].

В работе [2] рассматривалась задача об опускании жидкости в поровом канале, в нижней части которого имеется сетка, оказывающая дополнительное сопротивление течению жидкости. В качестве порового канала рассматривалась трубка с постоянным диаметром. В реальных условиях поровый представляет собой некоторое сложное пространство, имеющее в поперечном сечении статистически переменную площадь, вследствие чего истечение жидкости из них будет претерпевать значительные возмущения. Изменение поперечного сечения канала в большой степени будет влиять на характер истечения жидкости из порового пространства.

В работе [3] показано, что переменность сечения в канале может приводить к статическим гистерезисам. Для влажной горной массы это может выражаться в том, что уровень жидкости в порах не предсказуем, поскольку в результате случайных факторов поверхность жидкости при истечении может остановиться и закрепиться в разных положениях.

Целью настоящей работы является разработка математической модели опускания жидкости в поровом канале переменного сечения и показать возможность существования многозначности решения и раскрыть ее причину, что является необходимым для достоверной модели процесса обезвоживания.

Решаемая в работе задача направлена на установление зависимости от закона изменения проходного сечения порового канала, остаточная жидкость в нем может иметь разную величину.

Для решения поставленной задачи используем метод, предложенный в работе [2], и на этой основе получено следующее уравнение для движения слоя жидкости в канале переменного сечения, записанное в безразмерном виде

$$\left[r_{ch}^2 \frac{d^2h}{dr^2} + 2r_{ch}\frac{dr_{ch}}{dh}\left(\frac{dh}{d\tau}\right)^2 \right] \cdot \int_0^h \frac{dS}{r_c^2} + \frac{gh}{a}T^2 + 8\frac{\nu T}{a^2} r_{ch}^2 \frac{dh}{d\tau} \times$$
$$\times \int_0^h \frac{d\xi}{r_c^4} + \frac{1}{2}\cdot\frac{r_{co}^4 - r_{ch}^4}{r_{co}^4}\left(\frac{dh}{d\tau}\right)^2 - 2\frac{\sigma T^2}{\rho a^3 r_{ch}}\cdot\frac{\theta}{\left(1+\theta^2\right)^{1/2}} = \tag{1}$$
$$= -k\cdot\frac{T}{a}\cdot\frac{dh}{d\tau} - \frac{T^2}{a^2}\cdot\frac{\rho_a - \rho_b}{\rho},$$

где $r = \frac{1}{T}$; $\xi = \frac{x}{a}$; $r_c = \frac{R_c}{a}$; $h = \frac{H}{a}$; t – время; T – масштаб времени; x – координата; a – линейный масштаб (средний радиус капилляра); R_c – текущий радиус капилляра; H – высота слоя в канале (см. рис. 1); r_{ch} – безразмерный радиус капилляра в точке контакта стенки с мениском; r_{co} – безразмерный радиус на

нижнем срезе канала; g – ускорение свободного падения тела; ν – кинематический коэффициент вязкости; σ – коэффициент поверхностного натяжения; $\theta = tg\gamma$; γ – угол (см. рис. 1); k – коэффициент сопротивления; P_a, P_b – давление, соответственно, атмосферное и в нижнем сечении канала под сеткой; ρ – плотность жидкости.

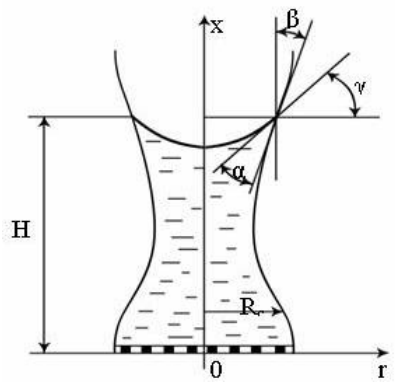

Рис. 1 – Схема канала.
H – высота столба жидкости; α – смачивания; R_c – радиус капилляра.

Если в уравнении (1) принять радиус канала постоянным, т.е. $r_c = r_{ch} = r_{co} = 1$, то получим уравнение движения жидкости для канала с постоянным сечением. Принимаем, что угол смачивания α не изменяется при движении, из геометрических соображений следует, что

$$\theta = \frac{1 - tg\alpha \cdot tg\beta}{tg\alpha + tg\beta}; \;\; tg\beta = \left.\frac{dR_c}{dx}\right|_{x=H} = 2\pi f \varepsilon Cos(2\pi f h).$$

Из выражения для θ видно, что на геометрические характеристики канала должно накладываться следующее ограничение: величина θ должна быть положительна и конечна. Будем считать, что радиус канала изменяется по гармоническому закону

$$R_c = a\left[1 + \varepsilon sin(2\pi f \xi)\right], \tag{2}$$

где ε – безразмерная амплитуда; f – частота.

Учитывая, что уравнение (1) имеет свою особенность по сравнению с каналом постоянного диаметра, то необходимо рассматривать стационарное состояние жидкости, в зависимости от указанных параметров, причем их может быть несколько, в результате чего и возникают статические гистерезисы, отмеченные ранее в работе [3].

Если в уравнении (1) отбросить все члены, зависящие от времени, и принять, что $P_b = P_0$, то получим следующее уравнение

$$B_{oh} = \frac{2\theta}{\left(1 + \theta^2\right)^{1/2}}\left[1 + \varepsilon sin(2\pi f h)\right]. \tag{3}$$

Из полученного уравнения видно, что, чем меньше число Бонда и чем больше амплитуда волнистости канала, тем больше решений имеет это уравнение. Однако не все решения реализуются в процессе опускания жидкости. Во-первых, среди этих решений есть неустойчивые, когда они отражают процесс, в котором жидкость не может остановиться, т.к. случайные возмущения выводят жидкость из равновесия. Во-вторых, даже в устойчивых точках жидкость может не задержаться, т.к. в ее окрестности мениск может иметь достаточно большую скорость, в результате чего он может пройти эту устойчивую точку и попасть на другую.

На рис. 2 приведены некоторые результаты расчетов в виде кривых, характеризующих процесс опускания слоя жидкости в поровом канале в зависимости от амплитуды волнистости канала с сеткой на конце, имеющей коэффициент сопротивления $k=1$. Из рис. 2 видно, что при амплитудах $\varepsilon = 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3$ мениск опускается до самой сетки. Для больших амплитуд мениск останавливается в трубке над сеткой, при этом в случае $\varepsilon = 0{,}4$ высота $h = 0{,}307$, а при $\varepsilon = 0{,}5$ $h = 0{,}872$. Это говорит о том, что при $\varepsilon = 0{,}5$ радиус канала становится небольшим, и силам поверхностного натяжения с таким углом смачивания удается удержать этот столб воды в поровом канале.

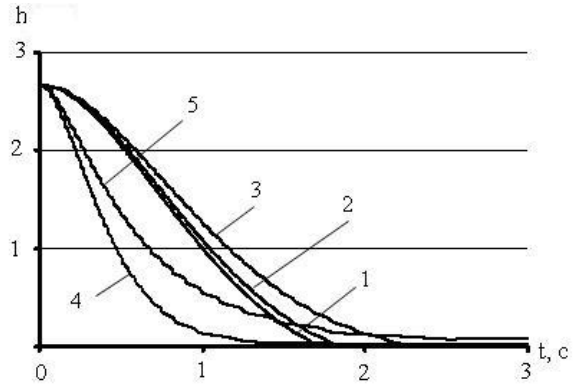

Рис. 2. – Изменение высоты слоя в поровом канале при $k=1$
1 - ε =0,1 ; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,4; 5 – 0,5.

Влияние сопротивления сетки на движение слоя жидкости показано на рис. 3, А, где опускание жидкости в канале с $\varepsilon = 0{,}2$ и $f = 0{,}5$ представлено при различных коэффициентах сопротивления k. Из рисунка следует, что при $k = 0;\ 0{,}5; 1{,}0$ мениск при движении достигает сетки, т.е. вода из канала уходит полностью, оставаясь на сетке в виде тонкой пленки. С увеличением сопротивления сетки падает скорость истечения столба жидкости, в результате чего над сеткой в канале остается слой жидкости. Так, расчеты показывают, что при $k = 1{,}5$ $h = 2{,}66$, а для $k = 2$ $h = 4{,}42$ и при $k = 2{,}5$ $h = 6{,}08$, что подтверждает наличие упомянутого выше явления статического гистерезиса, которое в данном случае заключается в том, что с увеличением сопротивления сетки скорость уменьшается, и мениск может задержаться за сужение канала и удержать слой. Поскольку в рассматриваемом случае сужение и расширение канала по-

вторяются, то мениск удерживается на том сечении, на котором хватает капиллярных сил для удержания слоя. Эта ситуация хорошо просматривается при опускании жидкости с малых высот.

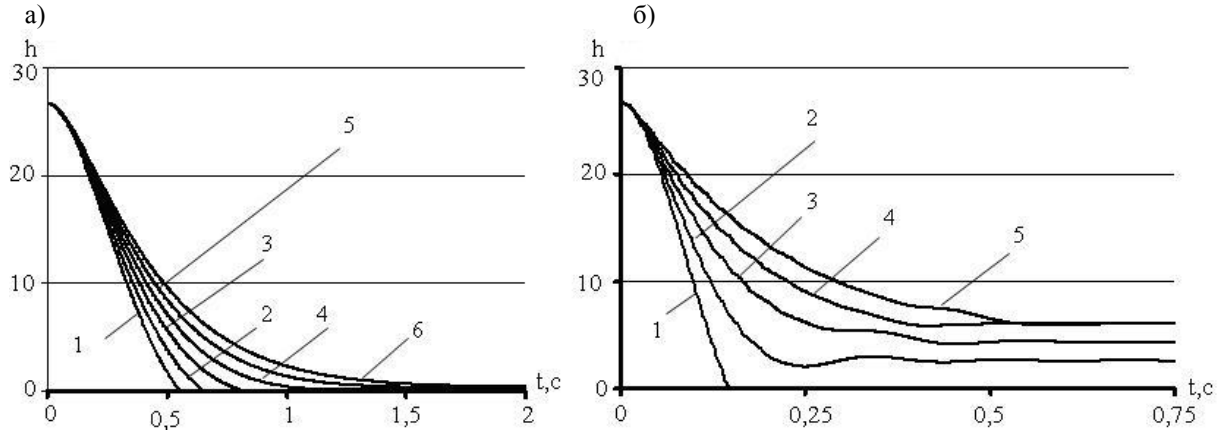

Рис. 3 – Влияние сопротивления сетки на опускание слоя жидкости в поровом канале.
а) высокий слой $h_0 = 263$: $1-k = 0$; $2-k = 0{,}5$; $3-k = 1$; $4-k = 1{,}5$; $5-k = 2{,}0$; $6-k = 2{,}5$;
б) низкий слой $h_0 = 26.3$: $1-k = 0{,}5$; $2-k = 1$; $3-k = 1{,}5$; $4-k = 2{,}0$; $5-k = 2{,}5$.

На рис. 3, Б показана ситуация опускания жидкости с малых высот в поровом канале с сеткой. При $k = 0{,}5$ жидкость уходит из канала, а при $k = 1{,}0; 1{,}5; 2{,}0$ и $2{,}5$ она удерживается на тех же величина, что и для высоких начальных столбов. Причем, последнее значение $h = 6{,}08$ является корнем уравнения (3), поскольку следующая кривая попадает в это же самое значение.

На рисунках 4, А и 4, В показаны кривые скоростей движения мениска в волнистом канале. На рис. 4, А показан характер скорости при $k = 0{,}5$, а на рис. 4, Б – при $k = 2{,}5$ для низкого столба жидкости, соответствующего рис. 3, Б. Из представленных графиков видно, что при движении мениска колебания скорости могут достигать больших величин.

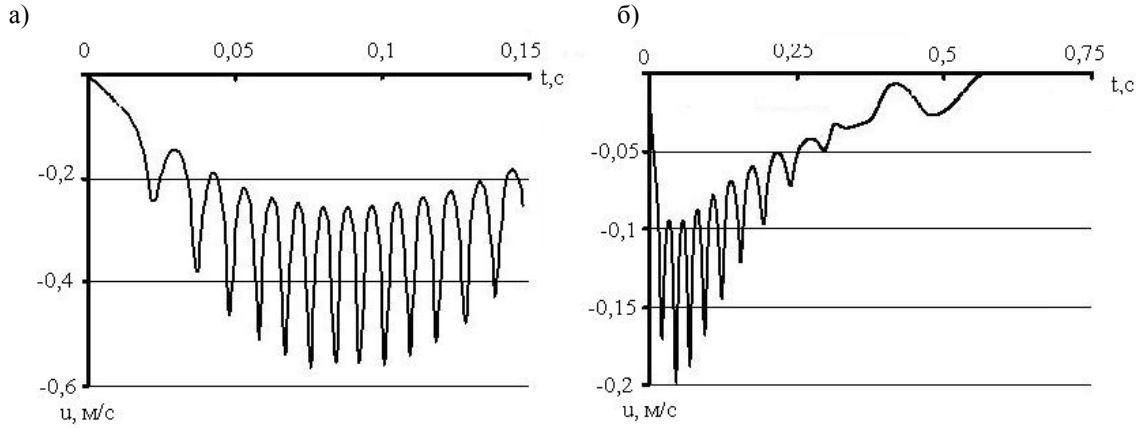

Рис. 4. – Скорости мениска при опускании низкого столба жидкости
а) $k = 0.5$; б) $k = 2.5$.

Таким образом, построенная математическая модель движения мениска в канале переменного сечения указывает на то, что величина остаточной жидкости, даже для сравнительно простой геометрии канала и при принятых упроще-

ниях задачи оказывается непредсказуемой из-за наличия гистерезисных потерь. Разработанная модель показывает возможность существования многозначности решения и раскрывает причину такой многозначности, что является достаточно важным при изучении процессов обезвоживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П., Прокопишин Л.Н., Хмеленко И.П. Модельные исследования истечения жидкости в слое горной массы через дренажные каналы с сеточными выходными отверстиями / Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 31. – С. 191-196.

2. Определение закономерностей опускания жидкости в поровых каналах влажной горной массы, лежащей на сетке / В.П. Надутый, В.И. Елисеев, В.И. Луценко, И.П. Хмеленко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 2. – С. 71-74.

3. Елисеев В.И. Статические гистерезисные явления в капиллярах / В.И. Елисеев, В.И. // Геотехничнеская механика: Межвед. сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украини. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 66. – С. 157-163.

УДК 622.235.5

О.І.Мамедов, ст. преподаватель (КДПУ)

ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ НА УТВОРЕННЯ МІКРОТРІЩИН В МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТАХ ПРИ ВИБУХОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Теоретическим путем определены энергетические затраты на образование микротрещин в магнетитовых кварцитах при взрывном нагружении

POWER EXPENSES ON A MICROCRACKING IN MAGNETITIC QUARTZITES AT AN EXPLOSIVE LOADENING

Theoretical a way power expenses are certain on a microcracking in magnetitic quartzites at an explosive loudening

Вступ. Одним із чинників, які визначають процес руйнування гірських порід, є енергія що передається зруйнованому середовищу. Інтенсивність руйнування залежить від деяких енергетичних характеристик, до числа яких відноситься питома енергоємність руйнування при імпульсних (вибухових) навантаженнях.

Аналіз стану проблеми. Під питомою енергоємністю руйнування мається на увазі робота, яка витрачається на утворення одиниці нової поверхні матеріалу:

$$q_y = \frac{A}{S} \qquad (1)$$

де q_y – питома енергоємність руйнування, Дж/см^2; A – робота, яка витрачається на руйнування, Дж; S – площа заново утвореної поверхні, см^2.

При визначенні q_y розміри зразків і характер навантаження вибирають таким чином, щоб звести до мінімуму вплив випадкових факторів.