

УДК 622.831.322

© В.Г. Смирнов, В.В. Дырдин,  
Т.Л. Ким, 2017

**В.Г. СМИРНОВ**

канд. ф.-м. наук, доцент  
КузГТУ, г. Кемерово  
e-mail: smirnovvg@mail.ru



**В.В. ДЫРДИН**

д-р техн. наук, профессор  
КузГТУ, г. Кемерово  
e-mail: vvd1941@mail.ru



**Т.Л. КИМ**

канд. техн. наук, заведующий кафедрой  
КузГТУ, г. Кемерово  
e-mail: tanyakim@list.ru



### К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, СКЛОННЫХ К ВНЕЗАПНЫМ ВЫБРОСАМ УГЛЯ И ГАЗА И ГОРНЫМ УДАРАМ

*Приведены результаты лабораторных экспериментальных исследований по нагнетанию пластических масс в образец углепласта, находящегося в объемном напряженном состоянии. Исходя из измерений эффективного электросопротивления образца «постоянному току», а также изменения его фильтрационных свойств, авторами проведена оценка роста трещиноватости среды при импульсном нагнетании в пробуренную скважину пластической массы. Установлено, что увеличения проницаемости среды вокруг скважины можно добиться с помощью динамических нагрузок, в результате чего возникает сеть дополнительных трещин, способствующих улучшению дегазации призабойной зоны. Таким образом, подбирая пластическое вещество с определенным коэффициентом динамической вязкости, можно получить вокруг скважины более мелкую или густую сеть дополнительных трещин нормированной длины.*

Ключевые слова: ПРОНИЦАЕМОСТЬ СРЕДЫ, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ДЕГАЗАЦИЯ, ТРЕЩИНА, КОЭФФИЦИЕНТ ВЯЗКОСТИ.

В настоящее время подземная разработка угольных пластов, склонных и опасных по внезапным выбросам угля и газа, ведется с обязательным применением методов дегазации [1]. Вместе с тем практика разработки таких пластов показывает, что эффективность применяемых способов достаточно низкая или их применение сопровождается внезапными выбросами, например, при бурении скважин большого диаметра. На шахтах РФ длительное время применяется комплексный метод борьбы с опасными газодинамическими явлениями путем нагнетания воды в пласт или его краевую часть. Однако при нагнетании воды в пласт, как показывали исследования [2], не происходит равномерного увлажнения по всему объему угля, так как уголь является веществом, не смачиваемым водой, поэтому самодвижение воды в порах не происходит. Применение поверхностно-активных веществ почти не влияет на конечный результат. Уголь выбросоопасных пластов имеет землисто-зернистую структуру с трещинами и порами разных размеров, продвижение воды происходит только в достаточно крупных трещинах. Проницаемость пласта, обусловленная природной системой трещин, весьма незначительная. Исследования распределения воды при нагнетании ее в краевую часть пласта, проведенные на шахте «Судженская» [2], показали, что при давлении в гидросистеме порядка  $\mu H$ , т. е. давлении горных пород на глубине  $H$ , движение воды идет по естественным трещинам, которые направлены под углом к плоскости пласта. Вследствие этого, увлажнению подвергается его незначительная часть. При повышении давления в гидросистеме до значений 1,4–1,5  $\mu H$  через некоторое время происходит прорыв воды из массива в выработку, и увлажнение на этом заканчивается.

Для повышения эффективности методов дегазации и управления состоянием краевой зоны угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа и горным ударам, необходимо разработать методы физического воздействия на угольный пласт, повышающие его проницаемость. В этой связи для по-

вышения проницаемости угля путем образования искусственной трещиноватости нами экспериментально в лабораторных условиях проведены исследования по нагнетанию пластических масс в образец углепласта, находящегося в объемном напряженном состоянии. В качестве материала для нагнетания был взят по технологическим причинам пластилин, обладающий большой вязкостью.

### Методика эксперимента

Изготавливался образец углепласта путем цементирования угольной пыли в соотношении от 3/1 (самый прочный) до 5/1 (самый непрочный). Диаметр образцов составлял 7÷9 см, высота — 10 см. Нагнетание пластической массы производилось через отверстие диаметром 3,8 мм и глубиной 3–4 см, которое было просверлено в радиальном направлении на середине образца. Образец помещался в стальной стакан, а сверху и снизу сдавливался плитами прессы до давления 4 МПа, что позволило создать в образце объёмное напряжённое состояние. Эффективное электросопротивление образца измерялось с помощью прибора МК-3 на постоянном токе между его торцами (рис. 1 а) и между электродами, наклеенными на боковую поверхность (рис. 2 а). К началу эксперимента эффективное электросопротивление образца между его торцами составило 2,47 МОм. Его дальнейшее изменение обязано действию пластической массы, нагнетаемой в просверленное отверстие, путём ударов молотка по выступающей части штока (рис. 1 б) и проходившего бытового перфоратора (рис. 2 б), соединённых с поршнем.

### Результаты эксперимента

На рис. 1 б представлены результаты измерений эффективного электросопротивления образца между его торцами и выступающей частью штока, по которой наносились удары молотком для перемещения поршня по отверстию с помещённым туда пластилином.

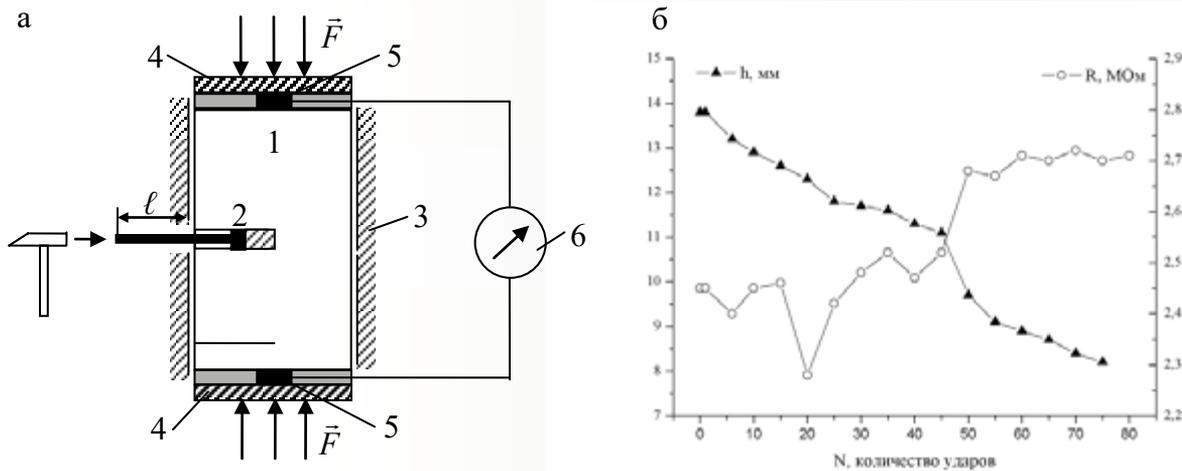


Рис. 1. Изменение длины выступающей части штока и эффективного сопротивления  $R_{эф}$  образца между электродами (б) в зависимости от количества ударов, нанесённых молотком по торцу штока: а — схема эксперимента: 1 — образец; 2 — отверстие с поршнем, штоком и пластической массой; 3 — стальной стакан; 4 — плиты пресса; 5 — электроды; 6 — измерительный прибор МК-3; б — изменение длины выступающей части штока и эффективного сопротивления  $R_{эф}$  образца между электродами в зависимости от количества ударов, нанесённых молотком по торцу штока

Из сопоставления кривых следует, что между 45 и 50 ударами произошёл внутренний разрыв в образце, образовались трещины, в которые и был выдавлен пластилин. При этом длина выступающей части штока достаточно резко уменьшилась, а эффективное электросопротивление возросло и в дальнейшем практически стабилизировалось. Возрастание  $R_{эф}$  в данном случае связано с появлением сети трещин внутри образца, ориентация которых перпендикулярна линиям тока, т. е. образующиеся трещины либо

параллельны оси отверстия, либо составляют с ним острый угол, что и приводит к увеличению эффективного сопротивления.

Для того чтобы подтвердить высказанное предположение или опровергнуть были проведены измерения эффективного электросопротивления образца в радиальном направлении. С этой целью на боковую поверхность образца на его середине были наклеены электроды. При этом линии тока ортогональны оси образца (рис. 2).

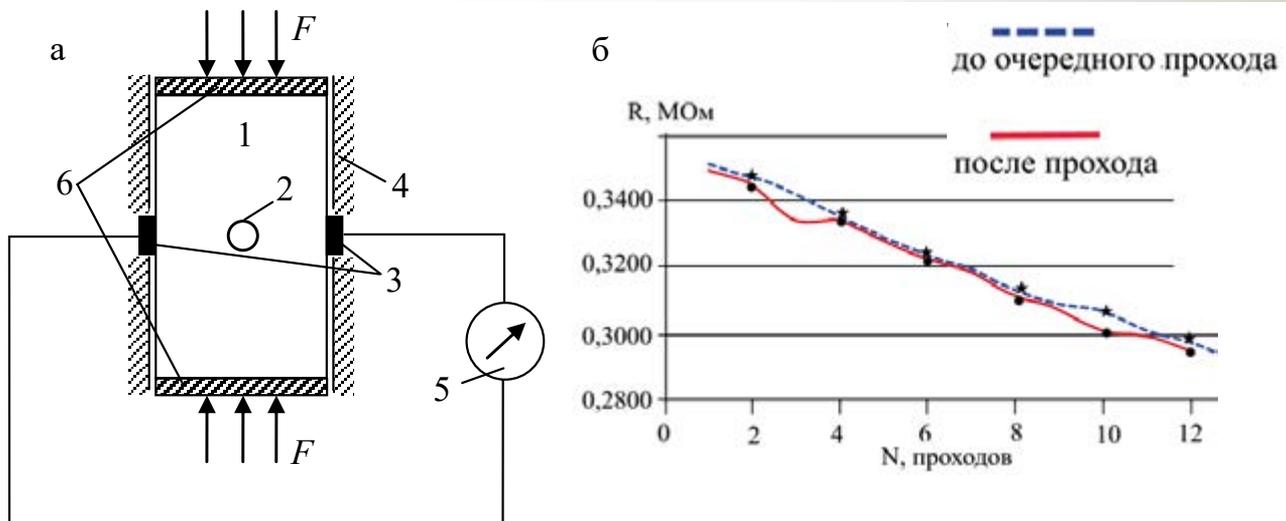


Рис. 2. Изменение эффективного электросопротивления образца в радиальном направлении в зависимости от количества проходов отверстия перфоратором: а — схема эксперимента: 1 — образец; 2 — отверстие в образце, длина которого равна радиусу; 3 — электроды; 4 — стальной стакан; 5 — измерительный прибор МК-3; б — изменение эффективного электросопротивления образца в радиальном направлении в зависимости от количества проходов отверстия перфоратором

Электросопротивление образца в радиальном направлении оказалось почти на порядок меньше, чем вдоль оси. Оно уменьшается по мере нагнетания пластилина. Можно предположить, что при этом происходит интенсивное сжатие углепластового вещества, находящегося между отдельными трещинами, что и вызывает уменьшение его электросопротивления.

Первоначально масса пластилина, полностью заполняющего скважину, составила 0,66 г. В конце эксперимента объем пластилина, помещенного в скважину, примерно в 8 раз превосходил объем скважины. На рис. 3 показано изменение массы пластилина, добавляемого в скважину после ее прохода перфоратором.

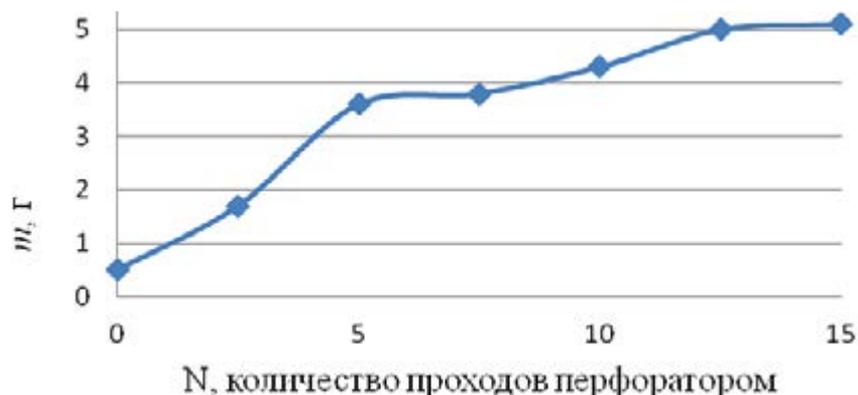


Рис. 3. Изменение массы пластилина, помещенного в скважину, по мере увеличения числа проходов ее перфоратором

Также была проведена оценка изменения трещиноватости образца при закачивании в пробуренную в нем скважину пластилина путем измерения количества воды, вошедшей в образец. Измерения были проведены следующим образом.

После снятия напряжений на верхней грани образца просверлили отверстие глубиной 2,5 см, диаметром 3 мм, куда эпоксидной смолой вклеили трубки. Отверстие было просверлено параллельно оси цилиндра на

середине радиуса. Для сравнения подготовили еще один образец углепласта того же состава, но в который не нагнетался пластилин. При помощи капельницы отверстие заполнялось водой с избыточным давлением 1,20 метра водяного столба. В верхней части трубки создавался пузырек, по перемещению которого рассчитывался объем воды, прошедшей в скважину. Результаты измерений представлены на рис. 4.

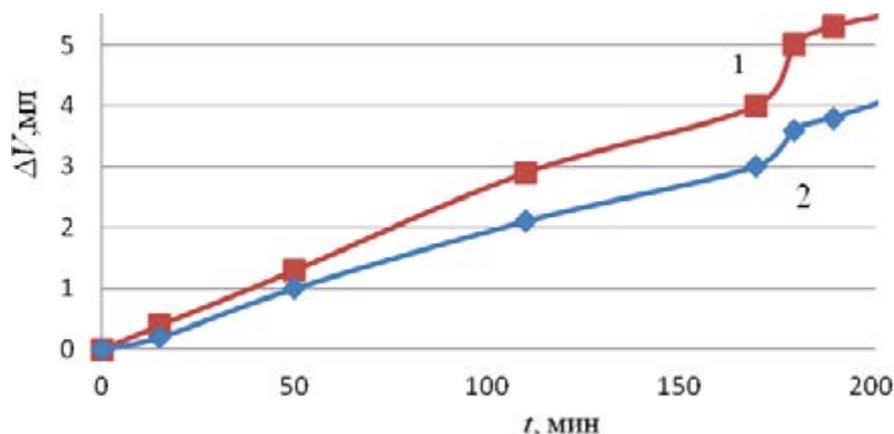


Рис. 4. Изменение количества воды, вошедшей в образец, после создания дополнительной трещиноватости пластилином (1) и без воздействия (2)

Была также оценена скорость поглощения воды углепластом. В таблице приведены результаты оценки скорости поглощения

воды образцами углепласта разной прочности, подвергнутыми и не подвергнутыми воздействию пластических масс.

Скорость поглощения воды образцами углепласта

Скорость проникновения воды, мл/мин, среднее за 200 минут	Углепласт 3/1	Углепласт 4/1
Углепласт, подвергнутый нагнетанию пластических масс	0,025	0,312
Углепласт, не подвергнутый нагнетанию пластических масс	0,019	0,277

Получено, что скорость поглощения воды образцом во всех случаях больше после нагнетания пластических масс. При этом увлажнение более прочных образцов идёт интенсивнее.

### Обсуждение результатов

При ударном воздействии на шток поршня во всем объеме пластилина на короткое время  $\tau$  возрастает давление до некоторой максимальной величины, следовательно, в объеме углепласта возникают радиальные сжимающие и тангенциальные растягивающие напряжения, которые можно оценить по формулам теории упругости [3].

В зависимости от соотношения напряжений становится возможным образование плоских трещин. Основное влияние на рост трещины оказывает скорость, с которой поступает внутрь трещины разрывающее вещество, и давление, которое достигается вблизи вершины трещины.

Результаты измерения эффективного электросопротивления образца, представленные на рис. 1, 2, свидетельствуют о том, что при импульсном механическом воздействии на образец через пластилин, помещённый в просверленное отверстие в образце, возникает сеть трещин, параллельных или субпараллельных продольной оси отверстия. При импульсном механическом воздействии пластилин ведёт себя как жидкость, обладающая определённой вязкостью. Процесс нагнетания жидкости в определённую трещину можно описать формулой, аналогичной формуле Пуазейля:

$$Q = \frac{h^3 z}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dx}, \quad (1)$$

где  $Q$  — объёмный расход,  $m^3/c$ ;  $\rho$  — плотность нагнетаемого вещества;  $z$  — размер трещины вдоль её устья;  $h$  — текущий размер трещины;  $\eta$  — коэффициент динамической вязкости.

Можно считать, что повышение давления на величину  $\Delta P$  за время  $\Delta t$  (импульс давления) приведёт к воздействию на вершину трещины, если скорость перемещения пластической массы или жидкости будет равна или больше величины

$$V = \frac{\ell}{\Delta t},$$

где  $\ell$  — длина трещины. Массовый расход пластической массы можно оценить как произведение скорости движения потока на среднее сечение трещины с учётом плотности пластической массы, т. е.

$$Q = \frac{h_0 z \ell}{2\Delta t} \cdot \rho, \quad \text{кг/с.} \quad (2)$$

После разделения переменных в уравнении (1) и интегрирования с учётом соотношения (2) получена формула для ориентировочной оценки длины трещины:

$$\ell = h' \sqrt{\frac{\Delta P \cdot \Delta t}{3\eta}}, \quad (3)$$

где  $h'$  — значение ширины трещины возле её вершины, при котором нагнетаемая пластическая масса может влиять на изменение длины трещины.

Следовательно, при импульсном воздействии возникает возможность управлять длиной трещины. Варьируя продолжительность времени, в течение которого на трещину действует повышенное давление, подбирая нагнетаемое вещество определенной вязкости,

можно добиться того, что рост длинных трещин будет незначителен, а вблизи отверстия возникает сеть мелких трещин, длина которых определяется выражением (3). Сеть мелких трещин затрагивает существенно больший объем угля и способствует повышению проницаемости образца.

### Вывод

1. Полученные данные свидетельствуют о том, что нагнетание пластического вещества в цилиндрическое отверстие образца приводит к образованию дополнительной сети

трещин, параллельных или субпараллельных оси отверстия.

2. Установлено, что возникающая при динамических нагрузках сеть мелких трещин увеличивает проницаемость среды вокруг отверстия.

3. Подбирая пластическое вещество с определенным коэффициентом динамической вязкости и управляя импульсным воздействием, можно получить вокруг скважины более мелкую или густую сеть трещин определенной длины, способных повысить эффективность дегазации призабойной зоны угольного пласта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 05-350-00. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа // Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: сборник документов. — М.: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2011. — С. 120–303.
2. Оценка ударо- и выбросоопасности увлажненных зон угольных пластов / В.В. Дырдин, А.И. Шиканов, О.П. Егоров. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. — 133 с.
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды: 2 т. — Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2004. — Т. 2. — 6 изд. — 500 с.

UDC 622.831.322

© V.G. Smirnov, V.V. Dirdin, T.L. Kim, 2017

#### V.G. Smirnov

Candidate of Physico-Mathematical Sciences,  
Senior Scientific Researcher  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo  
e-mail: smirnovvg@mail.ru

#### V.V. Dirdin

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo  
e-mail: vvd1941@mail.ru

#### T.L. Kim

Candidate of Technical Sciences,  
Department Chairman  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo  
e-mail: tanyakim@list.ru

### THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF THE INCREASING PERMEABILITY METHOD FOR COAL SEAMS PRONE TO SPONTANEOUS COAL AND GAS AND ROCK OUTBURSTS

*The results of laboratory experimental research of plastic mass charging in the coal seam sample being in three-dimensional stress state are given.*

*On the assumption of sample measuring of effective electrical resistance to «Direct curren», also its filtration properties, the authors estimated the growth of the medium fracturing (jointing) with pulsed injection into a drilled well of plastic mass.*

*Its determined that the medium permeability increasing around the drill can be achieved using dynamic force, as a result an additional fractional network appears improving methane drainage of borehole zone.*

*Thus, a smaller or dense additional fractional network of rated length can be obtained around the borehole by selecting a plastic mass with the certain dynamic-viscosity coefficient.*

Key words: MEDIA PERMEABILITY, COAL SEAM, DRAINAGE, BOREHOLE, VISCOSITY COEFFICIENT.

#### REFERENCES

1. RD 05-350-00. Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na plastakh, opasnykh po vnezapnym vybrosam uglya (porody) i gaza (Instruction on safety mining in seams unsafe with spontaneous coal and gas outbursts) // Preduprezhdenie gazodinamicheskikh yavleniy v ugolnykh shakhtakh: sbornik dokumentov. M.: Gosudarstvennoe predpriyatie NTTTS po bezopasnosti v promyshlennosti Gosortekhnadzora Rossii, 2011. pp. 120–303.
2. Otsenka udaro- i vybrosoopasnosti uvlazhnennykh zon ugol'nykh plastov (Rock-bump and outburst hazard evaluation of water infusion of coal-seams zones) / V.V. Dyrdin, A.I. SHikanov, O.P. Egorov. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2000. 133 p.
3. Sedov L.I. Mekhanika sploshnoy sredy: 2 t. (Continuum mechanics: Vol. 2.). Sankt-Peterburg: Izdatelstvo «Lan'», 2004. Vol. 2. Iss. 6. 500 p.