

# РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.33: 552.513.08

© Лукинов В.В., Шкуро Л.Л., Безручко К.А., 2010

В.В. Лукинов, Л.Л. Шкуро, К.А. Безручко

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ФАКТОРА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕСЧАНИКОВ

V.V. Lukinov, L.L. Shkuro, K.A. Bezruchko

## INFLUENCE OF TECHNOGENIC FACTOR ON PHYSICAL PROPERTIES OF SANDSTONE

Исследовано влияние горных работ в процессе добычи угля на физические свойства песчаников путём сравнения объёмной плотности, плотности твёрдой фазы и открытой пористости по результатам опробования керна геологоразведочных скважин и горных выработок. Установлено, что объёмная плотность и коэффициент открытой пористости песчаников в зоне влияния горных работ существенно отличаются от соответствующих показателей в нетронутом массиве. Показано, что такое разуплотнение за счёт трещинообразования способствует формированию проницаемости песчаников, соответствующей коллекторам III класса.

**Ключевые слова:** *техногенный фактор, песчаники, физические свойства, проницаемость*

Множество инженерных задач, решаемых как в процессе проходки подготовительных выработок, так и при непосредственной угледобыче на шахтах, связано с оценкой свойств горных пород и углепородного массива в целом. Решение указанных задач преимущественно основывается на базах данных физических свойств горных пород, полученных по результатам лабораторных исследований образцов, отобранных из керна геологоразведочных скважин в период разведки и доразведки соответствующего участка. Это наибольший массив данных для последующих расчётов, в которых используются показатели физических свойств. В первую очередь это данные о коллекторских свойствах горных пород – пористости и проницаемости, плотностных свойствах – объёмной плотности и плотности твёрдой фазы. Характерной особенностью вмещающих горные выработки породных массивов часто является их структурная нарушенность всевозможными трещинами, ослабляющими прочность и увеличивающими деформируемость. Происхождение этих трещин связано как с геологическими условиями генезиса и постдиагенетического преобразования самой породы, так и с механизмом влияния ведущих горных работ, включая возникновение трещин вследствие применения технологии разрушения массива проходческой техникой (особенно взрывными работами), а также возникновение трещин отжима и давления вследствие перераспределения естественного напряжённого состояния массива, ослабленного горными выработками [1].

Основываясь на том факте, что в результате подработки породы, залегающие в зоне влияния горных работ, разуплотняются, расслаиваются, нарушаются трещинами, можно предположить, что углепородный массив в зоне влияния горных работ приобретает новые свойства. В разгруженных в результате подработки горных породах должны улучшаться коллекторские свойства – увеличиваться абсолютная, открытая и эффективная пористость, проницаемость. И эти процессы должны охватывать значительную часть породного массива. Так, например, М.А. Иофис [2] выделяет шесть характерных зон в толще горных пород, подвергшейся макродеформационным процессам при выемке угля из одиночного пологого угольного пласта одной лавой. При этом, по его данным, расстояние от очистной выработки до зоны прогиба, в которой не наблюдается разрыва сплошности породных слоёв (суммарная мощность трещиноватых зон) в песчаниках, превышает в 100–130 раз вынимаемую мощность пласта. При вынимаемой мощности пласта до 1,5 м зона разуплотнения, образованная за счёт трещинообразования, может достигать 200 м.

До последнего времени вопросы, связанные с влиянием горных работ на физические свойства горных пород, детально не изучались. Насколько масштабны эти процессы, в какой степени изменяются физические свойства пород в результате техногенного воздействия на горный массив и в какой мере правомерно использование данных о свойствах горных пород, полученных на стадии проведения геологораз-

ведочных работ, являются актуальными вопросами, решение которых позволит более достоверно прогнозировать свойства горных пород и поведение углепородного массива в процессе ведения горных работ.

С целью изучения изменения физических свойств пород под влиянием горных работ были проведены исследования плотностных (объемной плотности и плотности твердой фазы) и коллекторских свойств (коэффициента открытой пористости) и сравнение этих показателей по пробам, отобраным из керна геологоразведочных скважин и пробам, которые отобраны непосредственно из горных выработок шахт. Опробованы песчаники на шахтах им. А.Г. Стаханова, „Красноармейская-Западная“ (Красноармейский геолого-промышленный район), им. А.А. Скочинского, им. К.И. Пochenкова (Донецко-Макеевский геолого-промышленный район), „Комсомолец“, им. К.А. Румянцева, „Кочегарка“ (Центральный геолого-промышленный район), „Самсоновская-Западная“ (Краснодонский геолого-промышленный район). Исследовались песчаники, выдержанные по площади и в разрезе, по которым проходили подготовительные горные выработки. На шахте им. А.Г. Стаханова изучен песчаник  $k_8^hSl_1$ , на шахте „Красноармейская-

Западная“ – песчаник  $d_3Sd_4$ , на шахте им. А.А. Скочинского – песчаник  $h_4Sh_6^1$ , на шахте им. К.И. Пochenкова – песчаник  $m_2SM_3$ , на шахте им. К.А. Румянцева – песчаник  $k_8Sl_1$ , на шахте „Комсомолец“ – песчаник  $k_4Sk_5$ , на шахте „Кочегарка“ – песчаник  $m_4^1Sm_5$ , на шахте „Самсоновская-Западная“ – песчаник  $k_1Sk_2$ . Отбор проб из кернов геологоразведочных скважин проводился на участках разведки или доразведки шахт им. А.Г. Стаханова, „Красноармейская-Западная“, им. А.А. Скочинского, „Комсомолец“, им. К.А. Румянцева, „Самсоновская-Западная“, „Кочегарка“, им. К.И. Пochenкова.

Для установления существенности различий средних значений объемной плотности, плотности твердой фазы и коэффициента открытой пористости, определенных по шахтным и скважинным пробам, была проведена статистическая обработка данных. Результаты статистической обработки данных, определенных по пробам, отобраным на полях шахт им. А.Г. Стаханова и им. А.А. Скочинского, приведены в табл. 1. Как видно (табл. 1), для шахтных проб минимальные, максимальные и средние значения коэффициента открытой пористости значительно выше, чем для скважинных проб.

Таблица 1

Статистические показатели физических свойств, определенных по 30-ти шахтным и 30-ти скважинным пробам

Статистический показатель	Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>		Плотность твердой фазы, г/см <sup>3</sup>		Коэффициент открытой пористости, %	
	шахтные пробы	скважинные пробы	шахтные пробы	скважинные пробы	шахтные пробы	скважинные пробы
ш. им. А.Г. Стаханова						
Минимум	2,18	2,31	2,62	2,68	7,10	5,10
Максимум	2,48	2,50	2,72	2,83	17,10	12,00
Среднее	2,34	2,42	2,70	2,72	11,20	8,17
Среднеквадратическое отклонение	0,078	0,057	0,03	0,04	2,62	2,26
Дисперсия	0,006	0,003	0,0009	0,0016	6,85	5,07
Критерий Стьюдента ( $t_{табл}^{0,95} = 2,04$ )	3,42		1,92		3,81	
ш. им. А.А. Скочинского						
Минимум	2,34	2,32	2,71	2,65	3,99	2,33
Максимум	2,61	2,67	2,76	2,88	8,70	7,91
Среднее	2,46	2,57	2,72	2,75	7,20	5,20
Среднеквадратическое отклонение	0,081	0,005	0,01	0,06	1,53	1,88
Дисперсия	0,007	0,05	0,0002	0,003	2,35	2,77
Критерий Стьюдента ( $t_{табл}^{0,95} = 2,04$ )	2,75		1,58		4,18	

Разброс значений коэффициента открытой пористости для шахтных проб значительно больше, чем для скважинных проб. Средние значения объемной плотности и плотности твердой фазы для шахтных проб значительно ниже, чем для скважинных проб. При этом о существенных различиях средних значений с вероятностью 0,95 можно судить только для объемной плотности и коэффициента открытой пористости, для которых расчетные значения критерия Стьюдента ( $t$ -критерия) значительно выше табличных. Для плотности твердой фазы существенных различий в средних значениях по  $t$ -критерию не наблюдается, так как  $t_{расч.} < t_{табл.}$ . Это еще раз подтверждает положение о том, что значения этого параметра в пределах юго-западного Донбасса и даже в Цен-

тральном и Красноармейском районах, контрастных по степени метаморфизма углей, в целом стабильны и изменяются незначительно [3]. Это говорит об однородности минералогического состава исследуемых песчаников и свидетельствует о том, что повышенные значения объемной плотности и открытой пористости шахтных проб обусловлены изменением свойств горных пород в результате разуплотнения под действием техногенного фактора.

С целью исключения фактора возможного влияния минералогического состава на плотность песчаников, степень изменения плотностных свойств также может быть оценена по, так называемому, коэффициенту уплотнения, который представляет собой отношение объемной плотности к плотности твердой

фазы [4]. Этот показатель в пределах Донбасса может изменяться от 0,6 для песчаников, вмещающих длиннопламенные угли, до практически 1,0 в зоне развития высокометаморфизованных углей. Для песчаников обеих шахт значения коэффициента уплотнения, определённые по шахтным пробам, оказались меньше значений, рассчитанных по результатам исследования керна геологоразведочных скважин. Для проб шахты им. А.А. Скочинского – 0,911 и 0,935, для проб шахты им. А.Г. Стаханова – 0,867 и 0,890.

Кроме шахт им. А.Г. Стаханова и им. А.А. Скочинского исследования объемной плотности и коэффициента открытой пористости проводились на шахтах „Красноармейская-Западная“, им К.А. Румянцева, „Комсомолец“, „Самсоновская-Западная“, „Кочегарка“, им. К.И. Пochenкова. Результаты определения средних значений объемной плотности и коэффициента открытой пористости приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения физических свойств, определенных по шахтным и скважинным пробам

Поле шахты	Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>		Коэффициент открытой пористости, %	
	шахтные пробы	скважинные пробы	шахтные пробы	скважинные пробы
им. А.Г. Стаханова	2,34	2,42	11,2	8,1
Красноармейская-Западная	2,42	2,46	10,2	7,9
им. А.А. Скочинского	2,49	2,56	7,2	5,2
им. К.И. Пochenкова	2,53	2,55	8,1	6,8
Комсомолец	2,59	2,62	3,4	2,6
им. К.А. Румянцева	2,59	2,63	3,2	2,7
Кочегарка	2,56	2,60	4,6	3,7
Самсоновская-Западная	2,53	2,56	8,1	6,8

Анализ имеющихся материалов показывает, что средние значения объемной плотности, определенные по шахтным пробам, значительно ниже, чем для скважинных. При этом средние значения коэффициента открытой пористости, определенные по шахтным пробам, значительно выше, чем для скважинных.

Сопоставление результатов определения средних значений плотности и пористости по шахтным пробам с аналогичными, но определенными по скважинным пробам, позволили выявить тенденцию увеличения пористости и уменьшения объемной плотности по шахтным пробам, относительно скважинных и высказать предположение о том, что на физические свойства пород в шахтных условиях влияет главным образом техногенная трещиноватость. Развитие техногенной трещиноватости коренным образом может изменить свойства породного массива – в ранее непроницаемых или слабопроницаемых песчаниках формируются слои с улучшенными ёмкостными и фильтрационными характеристиками. В работе [5] показано, что при растяжении, превышающем предельно допустимую для нарушения сплошности величину, и минимальных хрупких деформациях разрыва, в низкопористых песчаниках формируются фильтрационные свойства, которые соответствуют промышленным коллекторам IV класса (по наиболее известной в нефтегазовой геологии классификации [6]) с газопроницаемостью в десятки миллиарды, тогда как ненарушенная часть песчаника остается с низкими фильтрационными свойствами – с проницаемостью, как минимум, на два порядка ниже. Используя приведенную в [5] методику расчёта проницаемости, сформированной при разуплотнении пород в процессе трещинообразования, можно оценить среднюю проницаемость пород по имеющимся шахтным пробам по формуле:

$$k_{np} = 8,5 \cdot 10^{10} b^2 k_{mp},$$

где  $k_{np}$  – коэффициент проницаемости,  $10^{-12} \text{ м}^2$  (Д);  $b$  – ширина трещины, м;  $k_{mp}$  – коэффициент трещинной пористости, доли.

Считая трещинную пористость равной приросту коэффициента открытой пористости (разность между средними значениями коэффициентов открытой пористости по шахтным и скважинным пробам) и приняв ширину раскрытости трещин равной 10–15 мкм, получим следующие средние значения абсолютной проницаемости (табл. 3). Как видно из табл. 3, средние значения абсолютной проницаемости песчаников практически во всех случаях, за исключением шахты им. К.А. Румянцева, соответствуют коллекторам III класса согласно упомянутой выше классификации [6]. Следовательно, сформировавшиеся в результате разуплотнения в зоне влияния горных работ фильтрационные свойства песчаников станут благоприятными для скопления техногенного метана или повышенных водопритоков.

С целью количественного учета изменения плотности и открытой пористости, определенных по шахтным пробам и керну скважин, предложены показатели:  $П_\gamma$  – отношение значений объемной плотности шахтных проб к аналогичным определениям по скважинным пробам и  $П_\kappa$  – отношение значений коэффициента открытой пористости шахтных проб к аналогичным значениям, полученным по керну скважин. В табл. 4 приведены значения  $П_\gamma$  и  $П_\kappa$  для песчаников в пределах шахтных полей Красноармейского, Донецко-Макеевского, Центрального и Краснодонского геолого-промышленных районов Донбасса. Как видно из табл. 4, расчетные значения показателя плотности  $П_\gamma < 1$ , а показателя пористости  $П_\kappa > 1$ . Необходимо отметить, что чем меньше значение показателя  $П_\gamma$  и чем выше значение показателя  $П_\kappa$ , тем существеннее изменялись плотностные и коллекторские свойства песчаников при проведении горных

выработок и, наоборот, если значения  $P_\gamma$  и  $P_k$  приближаются к 1, физические свойства песчаников в

горных выработках незначительно отличаются от природных.

Таблица 3

Расчётные средние значения коэффициента трещинной пористости и абсолютной проницаемости

Поле шахты	Коэффициент трещинной пористости (прирост открытой пористости за счёт разуплотнения), %	Абсолютная проницаемость (расчётные средние значения), $10^{-15} \text{ м}^2$
им. А.Г. Стаханова	3,1	263,5-395,5
Красноармейская-Западная	2,3	195,5-293,0
им. А.А. Скочинского	2,0	170,0-255,0
им. К.И. Поченкова	1,3	110,5-165,8
Комсомолец	0,8	68,0-102,0
им. К.А. Румянцева	0,5	42,5-63,8
Кочегарка	0,9	76,5-114,8
Самсоновская-Западная	1,3	110,5-165,8

Таблица 4

Расчётные средние значения изменения коэффициента трещинной пористости и абсолютной проницаемости

Поле шахты	Расчетный средний показатель изменения	
	объемной плотности, $P_\gamma$	коэффициента открытой пористости, $P_k$
им. А.Г. Стаханова	0,966	1,372
Красноармейская-Западная	0,983	1,261
им. А.А. Скочинского	0,972	1,385
им. К.И. Поченкова	0,992	1,191
Комсомолец	0,988	1,306
им. К.А. Румянцева	0,984	1,181
Кочегарка	0,984	1,243
Самсоновская-Западная	0,989	1,193

Таким образом, в период эксплуатации угольных месторождений актуальным является вопрос изучения характера изменения физических свойств горных пород и, особенно, коллекторских и плотностных свойств песчаников, так как именно они способны аккумулировать в себе техногенные скопления метана или быть зонами повышенных водопритоков. В результате проведенных исследований установлены существенные различия в средних значениях объемной плотности и открытой пористости по пробам, отобраным в горных выработках и кернях геологоразведочных скважин. Расчётные средние значения абсолютной проницаемости песчаников в зоне влияния горных работ соответствуют промышленным коллекторам III-IV классов. Предложены показатели, которые позволяют количественно оценить степень изменения физических свойств песчаников в шахтных условиях.

#### Список литературы

1. Каталог показателей прочности и деформируемости породных образцов угольных месторождений. – Л.: ВНИМИ, 1973. – С. 6.
2. Иофис М.А., Шмелёв А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
3. Забигаило В.Е., Широков А.З. Проблемы геологии газов угольных месторождений. – К.: Наук. думка, 1972. – 170 с.
4. Прошляков Б.К., Гальянова Т.И., Пименов Ю.Г. Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах. – М.:Недра, 1987. – 200 с.
5. Лукинов В.В., Безручко К.А. Формування проникності гірських порід у локальних антиклінальних структурах // Зб. наук. праць / УкрДГРІ. – 2009. – №1–2. – С. 106–110.

6. Ханин А.А. Порода-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1969. – 368 с.

Досліджено вплив гірничих робіт у процесі видобутку вугілля на фізичні властивості пісковиків шляхом порівняння об'ємної щільності, щільності твердої фази та відкритої пористості за результатами опробування керну геологорозвідувальних свердловин та гірничих виробок. З'ясовано, що об'ємна щільність та коефіцієнт відкритої пористості пісковиків, у зоні впливу гірничих робіт, істотно відрізняються від відповідних показників у непорушеному масиві. Показано, що таке розушцілення за рахунок тріщиноутворення сприяє формуванню проникності пісковиків, яка відповідає колекторам III класу.

**Ключові слова:** техногенний фактор, пісковики, фізичні властивості, проникність

Influence of mining operations which took place in coal mining process on physical properties of sandstone have been investigated by means of comparison of apparent density, density of hard phase and opened porosity based on results of core assay of geological prospecting holes and mine workings. It was set that apparent density and coefficient of the opened porosity of sandstones from zone affected by mining operations substantially differ from the proper indexes in natural array. It is shown that such volume expansion due to cracks formation promotes forming of sandstones permeability corresponding to the III class collectors.

**Keywords:** technogenic factor, sandstone, physical properties, permeability

Рекомендовано до публікації д.г.н. Л.І. Пимоненком 30.03.10