

УДК [622.272.6(477):622.278]:622.691/.692

И.А. САДОВЕНКО (д-р. тех. наук, проф.)

А.В. ИНКИН (д-р. тех. наук, доц.)

ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина, г. Днепр

ОБЗОР И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ ДОНБАССА

В статье приведены результаты исследований показавших, что двухвековая интенсивная разработка угля и ликвидация шахт в Донбассе привела к формированию на его территории техногенно-измененного породного массива, содержащего значительные запасы энергии в твердом, жидком и газообразном состоянии. К этим энергоносителям относятся оставленные после отработки шахтного поля остаточные и некондиционные запасы угля, находящиеся в затопленных горных выработках подземные воды, заключенные в слабопроницаемых углевмещающих породах горючие газы. Кроме того, измененный в результате горных работ массив содержит мощный емкостный ресурс, способный аккумулировать жидкие и газообразные энергоносители в объеме, достаточном для сглаживания сезонных колебаний их потребления. Установленный энергетический и коллекторский потенциал отработанных угольных месторождений, наряду с назревающим в стране топливным кризисом, делает актуальной задачу обоснования нетрадиционных геотехнологических методов его освоения.

Ключевые слова: некондиционный уголь, шахтные воды, газ слабопроницаемых пород, емкостной ресурс.

Введение. Угольная промышленность Украины является важной составляющей национальной экономики, вносящей вклад в металлургическую индустрию, производство тепловой энергии и химические предприятия. Для бесперебойного получения угольного топлива в 20 веке в Донбассе было открыто около 600 шахт и пройдено более чем 1000 стволов. В 80-е годы Украина разрабатывала 5 % мирового объема минерального сырья и занимала одно из первых мест в мире по уровню добычи угля на душу населения (20 – 25 тонн в год). Такой интенсивный многолетний темп ведения широкомасштабных горных работ превратил территорию Донецкого бассейна в своеобразную природно-техногенную среду, периодически обостряющуюся неблагоприятными явлениями (деформациями земной поверхности, появлением провалов и подтоплением территорий) и обладающую гигантскими ресурсами тепловой энергии, которые заключены в геологических структурах и отработанных горных выработках [1]. Кроме того, закрытие ряда угольных шахт на протяжении последних 15 лет повлекло за собой стремительное накопление большого объема гидротермальных теплоносителей, рассматривающихся негативно на этапах проектирования и разработки угольных месторождений. Сложившаяся ситуация, наряду с назревающим топливно-энергетическим кризисом, требует детального изучения неиспользуемых ранее энергетических ресурсов, содержащихся в углевмещающей толще Донбасса, и обосновании комплексной технологической инфраструктуры их добычи и хранения.

Изложение основного материала исследований. Энергетические ресурсы Донбасса, оставленные после отработки на территории шахтных полей, можно условно разделить по их агрегатному состоянию: на газообразные (газ угольных пластов, плотных пород и сланцев), жидкие (шахтные воды) и твердые (некондиционные и забалансовые запасы угля, пористый породный массив). При этом каждый вид энергии, сосредоточенной в угленосных породах, имеет свои объективные предпосылки к разработке геотехнологическими методами. Так, Донецкий угольный бассейн, являясь основной топливно-энергетической базой Украины, в последние годы рассматривается еще и как крупный газоносный район, содержащий значительные ресурсы метана (15 – 20 трлн м³) в угольных пластах [2]. Перспективные территории площадью 16 тыс. км² расположены в 12 геолого-промышленных районах на территории Днепропетровской, Донецкой и Луганской областей. В табл. 1 приведены данные по объему и плотности ресурсов углеводородных газов в этих районах, анализ которых показывает, что к наиболее перспективным площадям относятся Донецко-Макеевская, Торезско-Сняжняянская, Красноармейская и Селезневская [3].

Таблица 1. Объем и плотность содержания углеводородных газов в геолого-промышленных районах Донбасса

Геолого-промышленный район	Газ в угольных пластах		Газ в плотных породах	
	ресурсы, млрд м ³	плотность, млн м ³ /км ³	ресурсы, млрд м ³	плотность, млн. м ³ /км ³
Западный Донбасс (Днепропетровская область)				
Павлоградско-Петропавловский	31,0	12,0	0,4	0,6
Юго-Западный Донбасс (Донецкая область)				
Красноармейский	120,0	171,0	26,7	38,0
Красноармейский-Западный	67,0	96,0	5,1	7,2
Южно-Донбасский	35,0	53,0	10,6	16,6
Донецко-Макеевский	172,0	54,0	48,3	24,1
Центральный	72,0	133,0	2,9	4,8
Чистяково-Снежнянский	142,0	172,0	–	–
Северо-Западный Донбасс (Луганская область)				
Марьевский	48,0	84,0	5,7	19,8
Алмазный	70,0	92,0	2,7	8,0
Луганский	40,0	43,0	13,5	14,6
Селезневский	103,0	152,0	1,5	2,2
Лисичанский	42,0	142,0	23,5	48,0
Краснодонский	66,5	55,0	9,2	29,7
Ореховский	9,0	8,0	–	–
Боково-Хрустальский	61,0	40,0	–	–

Отличительной чертой газа угольных пластов является содержание его части, не в свободном, а в сорбированном виде, что определяет необходимость обезвоживания месторождения (2 – 3 года) после гидравлического разрыва пласта перед выходом на максимальный объем добычи. Это обстоятельство существенно увеличивает себестоимость и усложняет разработку данного вида топлива, ресурсы которого сосредоточены на глубине 500 – 5000 м в пластах мощностью до 2 м. С учетом мирового научно-практического опыта и особенностей метана угольных пластов себестоимость его добычи будет колебаться от 2300 до 3300 грн/тыс. м³ (табл. 2).

Наиболее перспективным для Украины видом нетрадиционного газа может стать газ плотных пород благодаря схожести методик его геологической разведки и традиционного газа. По предварительным оценкам, количество этого энергоносителя, содержащегося в мощных толщах слабопроницаемых песчаников среднего (90 %) и нижнего (10 %) карбона, составляет 4 – 8 трлн м³. Залежи являются многопластовыми (2 – 8 продуктивных горизонтов), тектонически и литологически экранированными и распределены по глубине залегания следующим образом: в интервале до 700 м – 22, 700 – 1200 м – 52 и 1200 – 1800 м – 26 % от суммарных запасов [4]. Площади газоносности изменяются от 3 до 30 км², эффективная мощность и открытая пористость пластов от 3 до 40 м и от 6 до 16 % соответственно. Согласно оценкам ряда международных компаний, основанным на сравнении с газодобывающими районами со схожими горно-геологическими условиями, прогнозная себестоимость добычи газа плотных пород в Украине будет составлять 1500 – 2200 грн/тыс. м³. Экономическая привлекательность и относительная простота разведки дают основания предполагать, что промышленная добыча этого газа может начаться в 2019 г., а к 2030 г. ее объем составит 7 – 9 млрд м³.

Примерно такие же прогнозы касаются сланцевого газа, характеризующегося невысокой концентрацией, значительным содержанием метана и низкой проницаемостью коллекторов, обуславливающей необходимость бурения большого количества скважин для освоения новых территорий.

Таблица 2. Запасы и прогнозная себестоимость добычи нетрадиционного газа в Украине

Тип газа	Предварительные запасы, трлн м ³	Прогнозная себестоимость, грн/тыс. м ³
Газ плотных пород	4,0 – 8,0	1500 – 2200
Сланцевый газ	14 – 15,3	2100 – 2800
Метан угольных пластов	10 – 11,6	2300 – 3300

Огромные ресурсы этого топлива (14 – 15,3 трлн м³) сосредоточены в черносланцевых толщах верхнего девона – нижнего карбона в Львовско-Волынском и Донецком угольном бассейнах, а также в Днепровско-Донецком авлакогене и Придобруджинском прогибе [5]. Именно к таким возрастным формациям приурочено месторождение Barnett Shale в США, которое является мировым лидером в освоении сланцевого газа. Содержание смол и керогена в сланцах составляет 10 – 20 и 30 – 40 % соответственно. При этом их теплота сгорания изменяется от 10 до 16 МДж/кг, а зольность от 50 до 60 %. Сопоставление с районами, имеющими подобные горно-геологические условия, показывает, что себестоимость добычи сланцевого газа в Украине выше газа плотных пород и колеблется в пределах 2100 – 2800 грн/тыс. м³. При надлежащих инвестициях (35 – 45 млрд грн) потенциал добычи этого газа к 2030 г. может составить 6 – 11 млрд м³.

Исходя из геоструктурных особенностей месторождений и физико-химических свойств нетрадиционных газов, можно сделать вывод, что в Украине наиболее перспективным в экономическом и технологическом отношении является газ плотных углевмещающих пород, обладающий наименьшей себестоимостью добычи и значительными запасами.

Среди тепловых ресурсов Донбасса, сформировавшихся в результате проведения горнодобывающих работ, необходимо выделить ресурсы, возникающие после закрытия и мокрой консервации шахт. В затопленных выработках сосредоточены техногенные запасы тепловой энергии, к которым относятся – геотермальная энергия, накопленная в шахтных водах, и некондиционные и маломощные угольные пласты, оставленные после отработки шахтного поля. Количество неиспользованного угля может достигать 30 – 50 % разведанных запасов шахты (десятки млн тонн), а температура подземных вод, заполняющих объем выработанного пространства (сотни млн м³), доходить до 33 – 35 °С. При этом количество планируемых к закрытию угольных предприятий в соответствии с различными реструктуризационными программами постоянно увеличивается. Если первоначальным постановлением Кабинета Министров Украины № 280 от 28 марта 1997 г. в списке приостанавливаемых числилось 76 шахт, из которых к 2001 г. 72 шахты были приняты к ликвидации (наиболее крупные – им. Ильича, «Кочегарка», «Красногвардейская»), то в 2002 г. государственным предприятием «Укруглереструктуризация» этот список был дополнен еще 29 угледобывающими предприятиями («Черноморская», «Советская», «Украина», «Снежнянская» и т.д.). Последующие документы и нормативы правительства («Порядок ликвидации убыточных угледобывающих предприятий», «О предотвращении кризисных явлений в угольной отрасли», «Уголь Украины») были направлены на дальнейшую консервацию и закрытие нерентабельных шахт. На начало 2014 г. была полностью ликвидирована 61 шахта, из которых за последние 3 года – 34, что подтверждает активизацию процесса их закрытия (рис. 1). В настоящее время в стадии консервации находятся 82 угольных предприятия, на этапе подготовки к закрытию – 12, еще 29 шахт признаны глубокоубыточными и в последующем также будут ликвидированы. Таким образом, в ближайшем будущем (до 2020 г.) на территории Донбасса появятся 183 закрытых шахты, постоянно требующие крупных финансовых затрат (3,69 млрд грн) на свое безопасное гидродинамическое содержание (рис. 2). Вместе с тем, ликвидированные угольные предприятия являются хранилищем огромных ресурсов тепловой энергии, которые, несмотря на положительный мировой научно-практический опыт разработки [6], в настоящее время практически не используются в Украине.

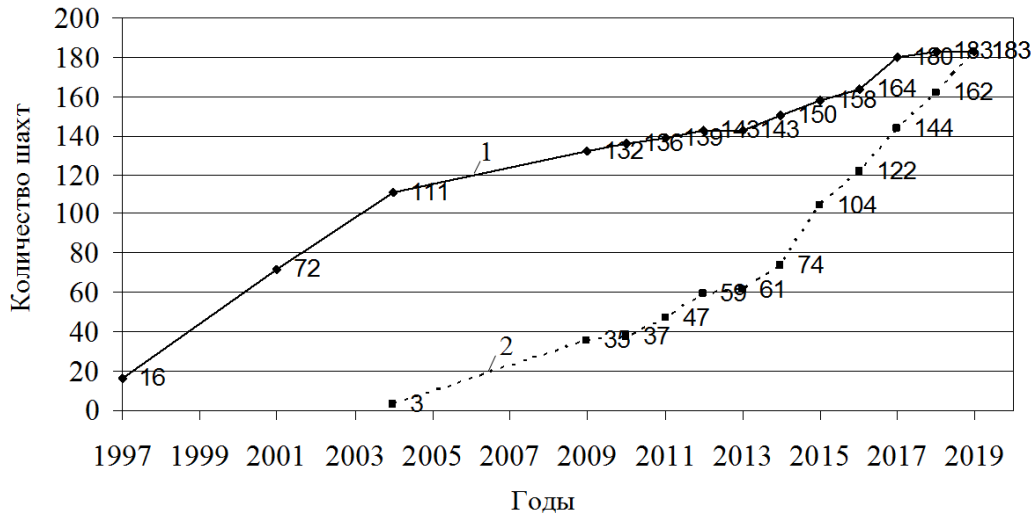


Рис. 1. Реальная и прогнозная динамика закрытия шахт в Украине:
1, 2 – соответственно шахты принятые к ликвидации и полностью закрытые

Помимо ресурсов жидких и газообразных теплоносителей энергетически важной составляющей техногенно-природной среды Донбасса являются пласты-коллекторы, обладающие хорошими фильтрационно-емкостными и герметичными свойствами. К ним относятся водовмещающие породы, залегающие в непосредственной близости от земной поверхности и пригодные для хранения летнего тепла и зимнего холода, а также более глубокие водоносные горизонты, способные аккумулировать газообразные углеводороды. По геолого-гидрогеологическим условиям и физико-механическим свойствам пород, наилучшими коллекторскими параметрами для периодического накопления и отбора газа обладают пермско-триасовые песчаники, распространенные в Днепровско-Донецкой впадине, Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловинах (рис. 3). Для выделенной толщи характерна хорошая обводненность, высокая минерализация ($3 - 15 \text{ г/дм}^3$) и сульфатно-хлоридно-натриево-кальциевый состав. Коэффициенты фильтрации пород толщи изменяются от 0,3 до 0,9 м/сут, а дебиты скважин составляют $1,9 - 5 \text{ дм}^3/\text{с}$ при понижении 1 – 3 м. Пермско-триасовый водоносный горизонт имеет напор, увеличивающийся по мере его погружения под вышележащий пласт слабопроницаемых глин. Мощность отложений изменяется от 170 до 750 м и разделяется двумя свитами (табл. 3).

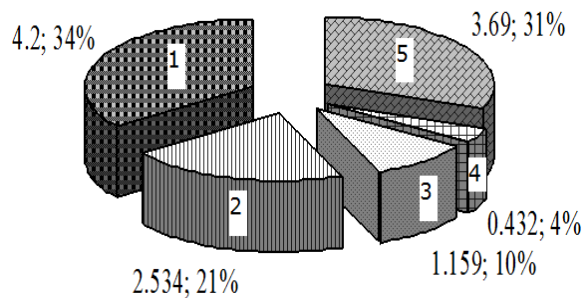


Рис. 2. Соотношение затрат (млрд грн) при ликвидации 82 украинских шахт:
1 – демонтажные работы; 2 – бытовое топливо; 3 – преодоление социально-экономических последствий; 4 – прочие затраты; 5 – содержание шахт после закрытия

В качестве коллекторов, пригодных для сохранения теплоносителей с целью отопления и охлаждения зданий при помощи геосциркуляционных систем могут использоваться неглубоко залегающие водоносные горизонты, не применяемые для централизованного питьевого водоснабжения. На территории Донбасса к таким могут быть отнесены практически повсеместно распространенные на глубине от 30 до 150 м водовмещающие породы неогеновых и палеогеновых отложений, а также коры выветривания карбона. Коллекторы представлены мелко- и сред-

незернистыми песками с прослоями кварцитовидных песчаников. Мощность водоносных толщ, подстилаемых мергелями и перекрывааемых красно-бурыми глинами, изменяется от 10 до 25 м. Водоносные горизонты безнапорные со средним дебитом скважин 1 – 3 дм³/с и коэффициентом фильтрации от 0,7 до 3,6 м/сут. Воды имеют пеструю минерализацию от 0,7 до 5,3 г/дм³ и общую жесткость от 2,8 до 8 мг-экв/дм³, по химическому составу они относятся к гидрокарбонатно-кальциевым и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевым.

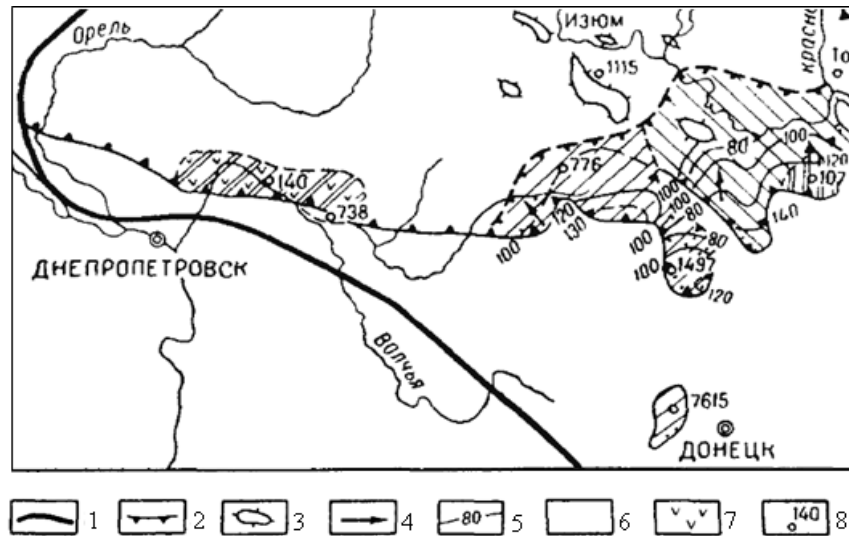


Рис.3. Схематическая карта распространения водоносных горизонтов пермско-триасовых отложений:

- 1 – граница Донбасса; 2 – контур водоносных горизонтов;
 3 – участки, где отсутствуют триасовые отложения; 4 – линии тока;
 5 – пьезоизогипсы; 6, 7 – соответственно воды с минерализацией 1 – 3 и свыше 10 г/дм³; 8 – скважины и их номер

Таблица 3. Литологический состав отложений триаса в Донбассе

Мощность и литологический состав	Бахмутская котловина			Кальмиус-Торецкая котловина		
	Криволукская мульда	Краматорско-Часовская мульда	Торско-Добрыцкое поднятие	Райско-Александровская мульда	Волчанская син-клиналь	Верхове р. Самара
Общая мощность, м	750	360	420	420	380	177
Протопивская свита						
Песчаники, %	50	54	58	70	67	100
Глины, алевролиты и аргиллиты, %	50	46	42	30	33	—
Мощность свиты, м	350	160	180	150	380	57
Серебрянская свита						
Песчаники, %	60	43	45	75	—	50
Глины, алевролиты и аргиллиты, %	40	57	55	25	—	50
Мощность свиты, м	400	200	240	270	—	120

Выводы.

Занимая 0,45 % общемировой поверхности суши, Украина по объемам горнодобывающих работ, продолжающихся более 200 лет и сопровождающихся значительным влиянием на окружающую среду, входит в первую десятку стран мира. Для старых угледобывающих регионов характерна существенная техногенная перестройка разрабатываемых геологических структур и критическая экологическая ситуация, что с учетом существующей острой проблемы нехватки энергоносителей свидетельствует о технологическом отставании страны в использовании природно-техногенных ресурсов, сосредоточенных на отработанных участках. Основной причиной сложившейся ситуации является несогласованность разных стадий разведки, разработки и свертывания горных работ на угольных месторождениях. В технико-экономических и геологических прогнозах эффективности отработки шахтных полей недостаточно рассматриваются предпосылки формирования и объемы сопутствующих полезных компонентов и коллекторов, гидротермальный ресурс которых оценивается как негативный на этапе разработки угольных пластов, а на этапе завершения горных работ вообще не учитывается. Изучение баланса соотношений природных и технологических факторов формирования природно-техногенных ресурсов позволит обосновать геотехнологические модули разработки не используемых ранее теплоносителей в едином цикле с их хранением в подземных коллекторах, что будет способствовать укреплению энергетической безопасности Украины.

Библиографический список

1. Геолого-гідрогеологічне та геофізичне обґрунтування параметрів експлуатації і акумуляції теплової енергії техногенних газогідротермальних родовищ Донбасу: звіт про НДР (заключний); / Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»; кер. І.О. Садовенко; ДР 0111U002813. – Дніпропетровськ, 2013. – 99 с.
2. Почкун О. Газовидобування в Україні – 2012 / – К.: Baker Tilly International, 2012. – 11 с.
3. Соловьев В.О. Нетрадиционные источники углеводородов: проблемы их освоения / В.О. Соловьев, И.М. Фык, Е.П. Варавина. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 92 с.
4. Лукин А.Е. О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли / А.Е. Лукин // Доповіді Національної академії наук України. – 2011. – № 3. – С. 114 – 123.
5. США увеличили прогноз запасов сланцевого газа в Украине [Электронный ресурс]: «STATUS QUO» – 2013. Режим доступа: http://www.sq.com.ua/rus/news/mezhdunarodnye_novosti/13.06.2013/ssha_uzvelichili_prognoz_zapasov_slancevogo_gaA.Bza_v_ukraine/. – Загл. с экрана.
6. Wieber G. A Source of Geothermal Energy – Examples from the Rhenish Massif / G. Wieber, S. Pohl // Mine Water: In: Technical University of Ostrava Faculty of Mining and Geology, In: Proceedings of the 10th IMWA Congress – 2008.in Karlovy Vary, Check Republic, p. 113 – 116.

Надійшла до редакції 28.04.2017

І.О. Садовенко, О.В. Інкін

ДВНЗ «Національний гірничий університет», Україна, м. Дніпро

ОГЛЯД І КІЛЬКІСНА ХАРАКТЕРИСТИКА НЕВИКОРИСТОВУВАНИХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ РЕСУРСІВ ДОНБАСУ

У статті наведено результати досліджень, які показали, що двовікова інтенсивна розробка вугілля і ліквідація шахт в Донбасі призвела до формування на його території техногенно-зміненого породного масиву, який містить значні запаси енергії в твердому, рідкому і газоподібному стані. До цих енергоносіїв відносяться залишені після відпрацювання шахтного поля залишкові і некондиційні запаси вугілля, підземні води, що знаходяться в затоплених гірничих виробках, горючі гази які містяться в слабопроникних вуглевміщуючих породах. Крім того, змінений в результаті гірничих робіт масив вміщає потужний ємнісний ресурс, здатний акумулювати рідкі і газоподібні енергоносії в обсязі, достатньому для згладжування сезонних коливань їх споживання. Встановлений енергетичний і колекторський потенціал відпрацьованих вугільних родовищ, поряд з назріваючою в країні паливною кризою, робить актуальним завдання обґрунтування нетрадиційних геотехнологічних методів його освоєння.

Ключові слова: некондиційне вугілля, шахтні води, газ слабопроникних порід, ємнісний ресурс.

I. Sadovenko, O. Inkin

State higher educational institution "National mining university", Ukraine, Dnipro

REVIEW AND QUANTITATIVE CHARACTERIZATION OF NATURAL AND MAN-MADE RESOURCES DONBASS UNUSED

The results of studies that have shown that two centuries of intensive development and the elimination of coal mines in Donbass led to the formation of the territory of the coal regions of technologically-altered rock mass, which contains significant reserves of energy in solid, liquid and gaseous state. These include energy left after working a mine field and the remaining sub-standard coal, underground waters are flooded mines, combustible gases contained in the low permeable host rocks. In addition, modified as a result of mining capacitive array contains a powerful resource that can accumulate liquid and gaseous energy in an amount sufficient to smooth out seasonal fluctuations in consumption. Installed power capacity and collection of waste coal deposits, along with the looming fuel crisis in the country, makes important tasks justification heotehnological unconventional methods of its development.

Keywords: substandard coal mine water, gas low permeable rocks capacitive resource.