

Practical implications. The use of concretes with an iron-based complex additive will allow all types of concrete to be worked on in an open area during a temperature fluctuation period, and will allow you to perform concrete work not only indoors but also outdoors when the temperature drops to -5°C .

Keywords: *open pit, concrete, mortar, cement, strength, bending, compression, mineral waste.*

УДК 622.272.6(477)

© И.А.Садовенко, А.В. Инкин, Н.И. Деревягина, Ю.В. Хрипливец

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО РЕСУРСА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНЫ

© I. Sadovenko, A. Inkin, N. Dereviahina, Yu. Hriplivec

SUBSTANTIATING OF THE PROSPECTS RATIONALE TO USING OF NATURAL AND TECHNOGENIC RESOURCE OF COAL DEPOSITS IN UKRAINE

Цель. Теоретическое и технологическое обоснование параметров и схем использования природно-техногенного ресурса отработанных угольных месторождений.

Методика исследования. Для достижения цели применен комплексный подход, включающий сбор, систематизацию и анализ фактических данных о фильтрационных и физико-механических свойствах вмещающих пород и горнотехнических условиях разработки пластов, которые влияют на формирование природно-техногенного ресурса угольных месторождений.

Результаты. Установлено, что двухвековая интенсивная разработка угля и ликвидация шахт в Украине привела к формированию на территории угледобывающих регионов техногенно-измененного породного массива, содержащего значительные запасы энергии в твердом, жидком и газообразном состоянии. К этим энергоносителям относятся оставленные после отработки шахтного поля остаточные запасы угля, находящиеся в затопленных горных выработках подземные воды и заключенные в слабопроницаемых углевмещающих породах горючие газы. Анализ мирового научно-практического опыта разработки таких энергоносителей свидетельствует о ее высокой рентабельности, а также о неэффективности используемых для этого в Украине геотехнологий. Предложенный в статье комплекс технологических решений позволит вести экологически безопасную разработку природно-техногенных ресурсов с согласованием стадии и интенсивности разработки энергоносителей с необходимыми объемами их потребления и хранения.

Научная новизна. Путем исследования протекающих в нарушенном породном массиве газодинамических, фильтрационных и тепловых процессов установлен механизм формирования природно-техногенных ресурсов в затопленном горном массиве ликвидированной шахты.

Практическое значение. Обоснованные в статье геотехнологии соответствуют мировым нормативам их рационального применения и обеспечат добычу энергоносителей в едином цикле с их сезонным хранением в природных коллекторах, что будет способствовать укреплению энергетической безопасности Украины.

Ключевые слова: угольные месторождения, нарушенный массив, затопленная шахта, тепловая энергия, геотехнология.

Введение. Занимая 0,45 % общемировой поверхности суши, Украина по объемам горнодобывающих работ, длительностью 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 отрасли в использовании природно-техногенных ресурсов сосредоточенных на отработанных площадях. Основной причиной сложившейся ситуации является несогласованность разных стадий разведки, разработки и свертывания горных работ, в особенности, на угольных месторождениях. В технико-экономических и геотехнических прогнозах эффективности отработки шахтных полей недостаточно рассматриваются предпосылки формирования 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.

Формулировка целей статьи. Для определения условий формирования и потенциала техногенных гидротермальных месторождений, технологического обоснования комплексного освоения энергоемкого ресурса угленосных площадей и ликвидируемых горнодобывающих предприятий, способного на современном уровне экономической эффективности удовлетворить потребности рынка страны в тепловой энергии, необходимы соответствующие количественные оценки. В связи, с чем целью данной работы является теоретическое и технологическое обоснование параметров и схем использования природно-техногенного ресурса отработанных угольных месторождений.

Изложение основного материала. Добыча газа из слабопроницаемых пород. Геологические оценки мировых запасов газообразных углеводородов, сосредоточенных в низкопроницаемых породах, зачастую намного превышают ресурсы традиционного газа. По мнению ряда специалистов [1], залежи этого вида топлива огромны, но подсчет его количества считается условным и отличается в зависимости от применяемой методики. Согласно работам немецкого эксперта Ганса-Холегра Рогнера, объем нетрадиционного газа на земном шаре равняется 456 трлн м³, в то же время, по данным Международного энергетического агентства, эта величина составляет всего 4 % доказанных запасов традиционного газа. Спорным также считается вопрос, связанный с гипотезой водородной дегазации Земли, предполагающей возобновляемость ресурсов нетрадиционного газа.

Несмотря на диаметрально противоположные взгляды экспертов по оценке количества и восполняемости газа слабопроницаемых пород, большинство из них считает его наиболее перспективным энергоресурсом на ближайшие десятилетия. При этом повышенный интерес к нему, как потенциальному источнику энергетической независимости ряда стран мира, возник только в последнее время. Во мно-

гом этому поспособствовал прогресс американской компании Chesapeake Energy на месторождении Barnett Shale (штат Техас), благодаря которому США с 1990 по 2010 гг. увеличили количество нетрадиционного газа в общей добыче с 10 до 40 %, что снизило импорт сжиженных газообразных углеводородов на 2,6 % [2]. Наряду с Barnett, в 2003 – 2007 гг. началось освоение восьми других месторождений, наиболее крупными из которых являются Fayetteville, Haynesville и Marcellus. В результате разработки этих участков США в 2009 г. добыли 623 млрд м³ природного газа и обогнали Россию (540 млрд м³) став лидером мировой газодобывающей промышленности. По прогнозам Департамента энергетики, в 2016 г. объем добычи нетрадиционного газа в стране должен составить 180 млрд м³, в 2020 г. – свыше 220 млрд м³, а к 2030 г., по сравнению с 2003 г., его роль как энергоносителя возрастет в 10 раз (рис. 1).

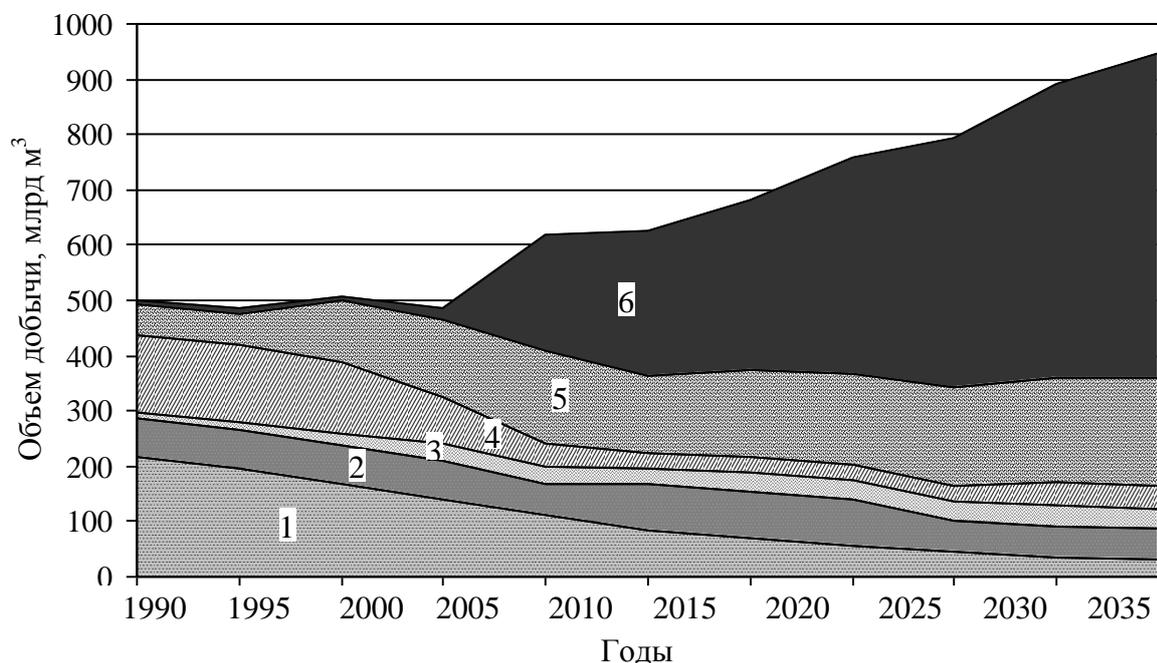


Рис. 1. Динамика добычи газа в США: 1 – 6 – соответственно традиционного, попутного, угольных пластов, шельфового, плотных пород и сланцевого

Пути интенсификации газодобычи из слабопроницаемых коллекторов намечаются также в совершенствовании технологии бурения и гидроразрыва пород. Согласно мировому научно-практическому опыту, наклон вертикально-горизонтальной скважины должен соответствовать углу падения разрабатываемого пласта, а ствол скважины находиться в пределах его мощности на достаточном расстоянии от кровли и подошвы, что позволит предотвратить миграцию добываемого газа в вышележающие слои. Газодобыча на месторождениях США показала, что применение данных технологических рекомендаций в 2 – 3 раза активизирует дебиты эксплуатационных скважин, а создание системы трещин гидроразрыва позволяет ввести в разработку слабодренлируемые зоны и пропластки [3].

Вместе с тем, разработка нетрадиционного газа в Украине по американской технологии сопряжена с определенными трудностями и негативными последст-

виями для окружающей среды. Для проведения гидроразрыва горных пород используется дорогостоящее эксклюзивное оборудование вертикально-горизонтального бурения. Создание сверхвысокого давления при гидроударе залегающих недостаточно глубоко коллекторов может привести к повреждению скважин и фундаментов близко расположенных зданий. Поддержание заданной пористости пород требует применения различных химикатов, солей органических кислот, дизельного топлива и других веществ, загрязняющих атмосферу и подземные воды. Такие нарушения экологического равновесия природной среды повлекли за собой загрязнение р. Атабаска полициклическими ароматическими углеводородами при разработке сланцев в провинции Alberta (Канада). В штате Колорадо (США) жители нескольких городов (Форт-Коллинз, Боулдер и Лафайет) проголосовали за введение пятилетнего моратория на гидравлический разрыв пластов ввиду его опасности для поверхностных водоемов и воздуха.

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что эффективное использование нетрадиционного газа в Украине требует разработки собственной экологически безопасной технологии его извлечения. Добыча газа из слабопроницаемых пород может быть осуществлена только путем обоснования комплексной инфраструктуры его отбора с применением современных технологий активизации газовыделения, адаптированных к отечественному буровому оборудованию.

Использование затопленных горных выработок для размещения теплоносителей. Несмотря на интенсивное мировое освоение и экологическую безопасность тепла Земли геотермальные технологии в Украине еще не достигли должного развития. Прежде всего, это связано с высокой стоимостью механического бурения глубоких и сверхглубоких скважин, а также непригодностью отечественной техники и оборудования к высоким температурам (150 – 200 °С) и агрессивному воздействию подземных вод. Применение геотермальных, как правило, сильноминерализованных теплоносителей приводит к зарастанию скважин оксидом железа, карбонатом кальция и силикатными образованиями. Эрозионные и коррозионные процессы резко уменьшают срок эксплуатации буровых машин и механизмов. Кроме того, источники геотермальной энергии в подавляющем большинстве отдалены от потребителя, что создает большие потери добываемого тепла в процессе транспортировки.

Пути увеличения процентного содержания геотермальной энергии в топливно-энергетическом комплексе Украины намечаются в освоении повсеместно распространенного низкопотенциального тепла горных пород, рост интереса к которому возник в последние годы и вызван, главным образом, внедрением теплонасосных систем, отличающихся высокой экономической (коэффициент преобразования тепла 2,5 – 5) и экологической (отсутствие вредных выбросов) эффективностью. Источником тепла для насосов могут служить восполняемые запасы подземных вод, заключенные в неглубоко залегающих пластах и затопленных горных выработках.

Зарубежный научно-практический опыт использования шахтных вод для отопления зданий показывает возможность реализации и рентабельность этой геотехнологии [4]. В настоящее время в мире выполняется много мелкомас-

штабных проектов, в которых тепло воды из затопленных шахт применяют для обогрева одно-двухэтажных зданий (Германия, Франция, Англия). Наиболее масштабным считается голландский проект, который получил название MinewaterProject. В шахтерском городке Херлен вода шахты, простоявшей затопленной около 30-ти лет, сейчас обогревает около 350 зданий, из которых более 200 – жилые дома. В рамках проекта в пяти разных местах над сетью штолен были пробурены скважины до глубины 700 м. Вода, наполняющая шахту, на такой глубине имеет постоянную температуру 32 °С, и с помощью насосов выкачивается наверх. Далее, успев остыть до 28 °С, она попадает в тепловой насос, где используется в качестве низкопотенциального источника тепла для доведения воды в трубах теплоцентрали города до кондиционной температуры. Отдав тепло насосам, вода возвращается в шахту и вновь нагревается. Необходимо отметить, что в летний период эта же система способна осуществлять охлаждение зданий путем отбора воды из более высоких горизонтов (глубиной 100 – 200 м), где она имеет температуру 10 – 13 С.

Рентабельность применения шахтных вод с помощью тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения зданий была также подтверждена в Украине на шахте «Благодатная» ОАО «Павлоградуголь». Их отбор в количестве 200 м³/ч с коэффициентом преобразования тепла 3,5 позволил компании ДТЭК достичь годовой экономии в размере 60 тыс. долларов США [5]. При этом работа насоса исключала загрязнение окружающей среды, что особенно важно для экологически небезопасных угледобывающих регионов. Однако применение тепловых насосов на шахтах Донецкого бассейна не получило широкого распространения ввиду больших капитальных затрат на их установку и обслуживание.

Необходимо отметить что, несмотря на довольно обширный положительный опыт применения тепловых геоциркуляционных систем в затопленных горных выработках, на сегодняшний момент еще не существует четких технологических регламентов их работы в различных горно-геологических условиях. Это свидетельствует о необходимости поиска на территории Украины ликвидированных угледобывающих предприятий, способных аккумулировать значительные объемы тепловой энергии, а также разработки адаптированных к ним численных моделей фильтрации и теплопереноса, отражающих пространственно-временную динамику движения и изменения свойств используемых теплоносителей. С помощью разработанных и протестированных моделей представляется возможным обосновывать технологический регламент и термодинамические параметры работы аккумулирующих геосистем в выделенных геологических структурах, что позволит снизить потребление природных энергоносителей для теплоснабжения зданий и экологическую нагрузку в угледобывающих регионах.

Подземное сжигание остаточных запасов угля. Максимальная эффективность отработки шахтных полей достигается путем совмещения механической добычи залегающего в наиболее благоприятных условиях угля с первоначальной дегазацией вмещающих пород и подземным сжиганием остаточных запасов. Количество неизвлеченного угля, в зависимости от применяемых технологических схем разработки, изменяется от 30 до 50 % и объясняется сложными

геолого-гидрогеологическими и горнотехническими условиями месторождений Украины (прежде всего Донецкого бассейна): неустойчивостью и высокой обводненностью горных пород, малой мощностью угольных пластов, большой глубиной и высокой газообильностью подземных выработок. Пути активизации газовыделения из слабопроницаемого углепородного массива были охарактеризованы в работе [6], а принципы функционирования подземного теплогенератора на основе неиспользованного угля (технологические целики, выбросо- и удароопасные зоны, забалансовые и некондиционные запасы) с получением на поверхности горячей воды или пара состоят в следующем (рис. 2).

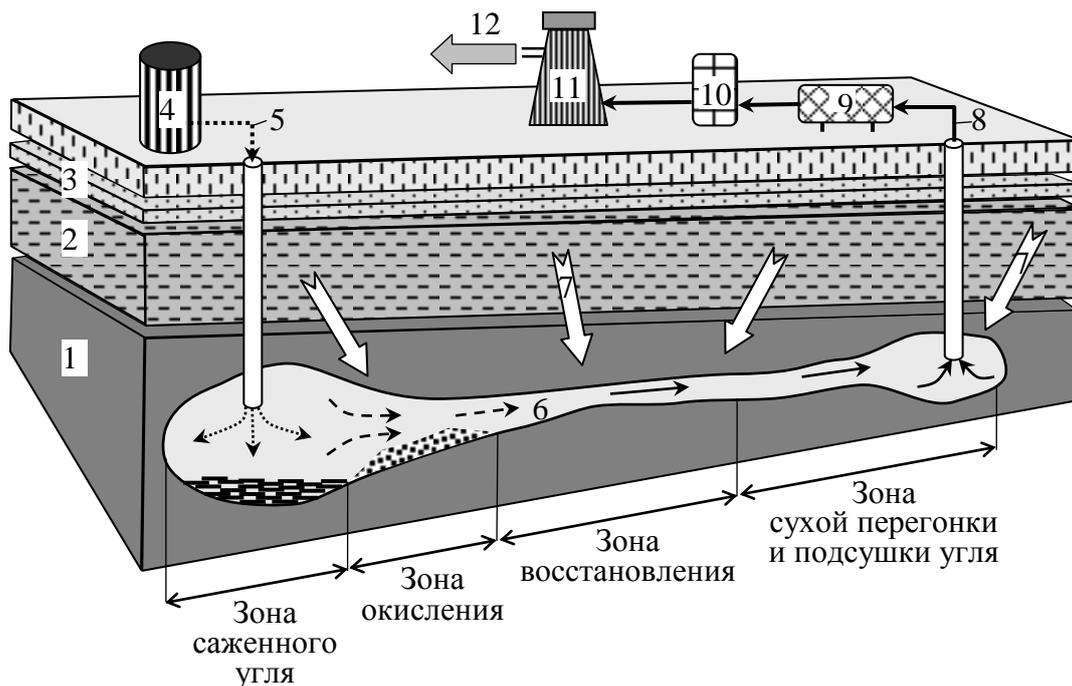


Рис. 2. Горно-энергетический модуль подземного сжигания угля (ПСУ):

- 1 – угольный пласт; 2 – породы кровли; 3 – водоносный горизонт;
- 4 – компрессор; 5 – дутье; 6 – подземный теплогенератор; 7 – водоприток;
- 8 – продуктивный газ; 9, 10 – оборудование для механической и химической очистки газа; 11 – теплообменник; 12 – тепловая энергия

Подготовка угольного участка к подземному сжиганию начинается с бурения нагнетательной и газоотводящей скважин. Для взаимодействия угля с дутьем в пласте между скважинами создается реакционный канал, при образовании которого применяют фильтрационную, гидроразрывную, электрическую или буровую сбойки. После сбойки скважин происходит поджиг угля и подача реагентов (воздуха, кислорода или водяного пара) в виде дутья через нагнетательную скважину. Образованный газ по продуктивной скважине выводится на поверхность и через трубопровод попадает в установки для очистки. Утилизация физического тепла газа производится в теплообменниках, работающих в широких диапазонах: высоко- (800 – 600 °С), средне- (600 – 400 °С) и низкотемпературном (400 – 150 °С). В зависимости от температуры исходящего газа получаемая тепловая энергия может быть в виде горячей воды или пара.

Существенным преимуществом метода подземного сжигания угля, обусловившим его использование, является экологическая чистота производимой тепловой энергии, незначительная степень воздействия на природный ландшафт и отсутствие опасного труда горнорабочих под землей. Кроме того, повышенный интерес к этой технологии обоснован возможностью разработки большого количества угля, который сосредоточен в крутонаклонных пластах и не извлечен традиционными способами из-за тектонических нарушений. Мировой научно-практический опыт подземного сжигания угля подтверждает универсальность применения данного метода в различных горно-геологических условиях. Так, промышленно-экспериментальные работы по подземной газификации и сжиганию угля в бывшем СССР проводились на глубинах до 250 м, в США – до 300 м, в Австралии – до 500 м и в Европе – до 1300 м. При этом мощность разрабатываемых пластов соответственно изменялась в диапазонах 0,5 – 8 м, 2 – 17 м, 4 – 18 м и 0,5 – 3,5 м.

Один из крупнейших промышленных экспериментов по подземной газификации угля был проведен в США на участке Rocky Mountain, месторождение Hanna, в 1987 – 1988 гг. Главной целью проекта, продолжавшегося 100 сут, было установление экономической эффективности данной геотехнологии и возможности управления негативным воздействием на природную среду в процессе сжигания угля. В ходе эксперимента было отработано около 10 тыс. тонн угля и получено 13 млн м³ газа с теплотой сгорания 10,8 МДж/м³. В табл. 1 приведено технико-экономическое сравнение газа из наземных и подземных газогенераторов, заменителя природного и синтез-газа для получения электроэнергии. Анализ представленных данных показывает, что стоимость энергоносителей, вырабатываемых из газа ПСУ, ниже, чем из газогенераторов, установленных на дневной поверхности. Американские исследования также показали, что предприятия ПСУ носят модульно-мобильный характер, обеспечивающий возможность их расширения без значительных капитальных затрат, и могут быть ориентированы на экологически безопасную разработку запасов угля, недоступных для традиционной добычи.

Таблица 1

Сравнение стоимости энергетических продуктов, полученных из наземных и подземных газогенераторов

Продукт	Название наземного газогенератора	Отношение стоимости продукта подземного газогенератора к наземному, %
Синтез-газ	Тексако	57
Заменитель природного газа	Лурги	87
Заменитель природного газа	Вестинхауз	90
Электричество	Парогазовый цикл	73

В бывшем СССР для достижения максимальных экономических и энергетических показателей работы станции «Подземгаз» постоянно внедрялись и испытывались различные технологические схемы [7 – 9]. Сжигание угля прово-

дилось по восстанию и простиранию пласта боковым и обратным газоотводом, а также реверсом газодутьевых потоков, предварительной термоподготовкой и направленной подачей дутья. При этом КПД подземной газификации, определяемый как отношение тепла, заключенного в горючих компонентах вырабатываемого газа, к общему количеству тепла сжигаемого топлива на большинстве предприятий не превышал 50 %. Такой незначительный показатель эффективности процесса переработки угля методом ПСУ объясняется большими (до 38 %) утечками газа, которые вызывают рассеивание в породном массиве образующейся в результате горения тепловой энергии. Необходимо отметить, что утилизация физического тепла вырабатываемого газа через теплообменники осуществлялась только на некоторых экспериментальных участках расположенных в Подмосковном (шахта «Киреевская 3» ПО «Тулауголь»), Донецком (шахта № 1 «Острый» ПО «Селидовуголь») и Кузнецком (15-й газогенератор Южно-Абинской станции) бассейнах. Всего в выделенных теплогенераторах было сожжено 459, 470 и 20 тыс. тонн угля марок Б₂, Д и К соответственно. Анализ их работы (табл. 2) показал, что на всех участках температура получаемых теплоносителей соответствовала кондиционным показателям: пар (120 – 180 °С) и вода (65 – 85 °С).

Таблица 2

Технико-экономическая характеристика экспериментальных участков ПСУ

Бассейн	Температура, С		Дебит газа, м ³ /с	Депрессия, кПа	Тепловая мощность, Вт	Состав газа, %			Скорость горения, кг/с
	пара	воды				CO ₂	O ₂	H ₂	
Подмосковский	120	75	2,0	1,3	0,81	8,0	8,3	3,1	8 – 10
Донецкий	180	85	3,8	0,5	0,70	5,1	10,8	0,2	5 – 7
Кузнецкий	150	65	0,8	2,3	0,93	7,8	3,3	3,8	3 – 4

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что в Украине разработка остаточных и некондиционных запасов угля, залегающих в различных горно-геологических условиях, может быть осуществлена с помощью подземного сжигания. Данный способ совмещается в едином технологическом цикле механической отработки запасов и свёртывания горных работ с формированием теплоаккамулирующих ёмкостей в отработанном массиве в виде основного элемента геоциркуляционных систем. Отбор теплоносителя является управляемым, с поддержанием тепловой и гидрогазодинамической депрессии обеспечивающей экологичность процесса.

Выводы. Двухвековая интенсивная разработка угля и ликвидация шахт в Украине привела к формированию на территории угледобывающих регионов 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. Энергетический и коллекторский потенциал отработанных угольных месторождений, наряду с назревающим в стране топливным кризисом, делает актуальной задачу обоснования адаптированных к отечественному оборудованию нетрадиционных геотехнологических методов его активизации и освоения.

Анализ мирового научно-практического опыта разработки природно-техногенного ресурса угольных месторождений свидетельствует о ее высокой рентабельности в ряде стран мира (например, в старых угольных районах Польши, Германии и США), а также о неэффективности существующих в Украине геотехнологий и значительном ее отставании в этом направлении. Таким образом, освоение тепловых и емкостных потенциалов отработанных угольных месторождений, основанное на фундаментальном термодинамическом подходе, сочетающем представление о формировании, техногенном преобразовании и извлечении теплоносителей в едином технологическом цикле с их хранением в пластах-коллекторах будет способствовать укреплению энергетической независимости страны.

Публикация содержит результаты исследований, проведенных при грантовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований по конкурсному проекту Ф83/93-2018.

Перечень ссылок

1. Филонова, В.Ф. (2008). Моделирование гидравлического разрыва в пористой среде (Автореф. дисс. на соиск. научн. степ. канд. физ.-мат. наук: спец. 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»). Москва, 28 с.
2. Левинбук, М.И., Котов, В.Н. (2013). Изменение структуры потребления основных энергоносителей в США – один из вызовов энергетической безопасности России. *Мир нефтепродуктов*. Москва, (9), 3-14.
3. Лукин, А.Е. (2011). О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли. *Доповіди Національної академії наук України*. Киев, (3), 114-123.
4. Banks, D., Fraga Pumar, A., Watson, I. (2009). The operational performance of Scottish minewater-based ground source heat pump systems. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. (3), 347-357.
5. Табаченко, М.М., Самуся, В.І., Дичковський, Р.О., Фальштинський, В.С. (2012). Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла: Монографія. *Дніпропетровськ. Національний гірничий університет*, 247 с.
6. Питин, Р.Н., Фарберов И.Л. (1955). Подземная газификация. Москва. *Академиздат*, 80 с.
7. Крейнин, Е.В., Федоров, Н.А., Звягинцев, К.Н., Пьянкова, Т.М. (1982). Подземная газификация угольных пластов. Москва. *Недра*, 151 с.
8. Скафа, П.В. (1958). Подземная газификация углей в СССР. Москва. *Углетехиздат*, 40 с.
9. Пархоменко, А.И. (2002). Использование газа подземной газификации углей. *Уголь Украины*. Киев, (6), 9-11.

АНОТАЦІЯ

Мета. Теоретичне і технологічне обґрунтування параметрів і схем використання природно-техногенного ресурсу відпрацьованих вугільних родовищ.

Методика дослідження. Для досягнення мети статті застосовано комплексний підхід, що містить: збір, систематизацію й аналіз фактичних даних про фільтраційні та фізико-механічні властивості вміщуючих порід і гірничотехнічні умови розробки пластів, які впливають на формування природно-техногенного ресурсу вугільних родовищ.

Результати. Встановлено, що двовікова інтенсивна розробка вугілля і ліквідація шахт в Україні призвела до формування на території вугледобувних регіонів техногенно-зміненого породного масиву, що містить значні запаси енергії в твердому, рідкому і газоподібному стані. До цих енергоносіїв відносяться залишені після відпрацювання шахтного поля залишкові запаси вугілля, підземні води які знаходяться в затоплених гірничих виробках і горючі гази щільних вуглевміщуючих порід. Аналіз світового науково-практичного досвіду розробки таких енергоносіїв свідчить про її високу рентабельність, а також про неефективність використовуваних для цього в Україні геотехнологій. Запропонований в статті комплекс технологічних рішень дозволить вести екологічно безпечну розробку природно-техногенних ресурсів з узгодженням стадії і інтенсивності розробки енергоносіїв з необхідними обсягами їх споживання і зберігання.

Наукова новизна. Шляхом дослідження газодинамічних, фільтраційних і теплових процесів, що протікають в порушеному породному масиві встановлено механізм формування природно-техногенних ресурсів в затопленому гірському масиві ліквідованої шахти.

Практичне значення. Обґрунтовані в статті геотехнології відповідають світовим нормативам їх раціонального застосування і забезпечать видобуток енергоносіїв в єдиному циклі з їх сезонним зберіганням в природних колекторах, що сприятиме зміцненню енергетичної безпеки України.

Ключові слова: *вугільні родовища, порушений масив, затоплена шахта, теплова енергія, геотехнологія.*

ABSTRACT

Purpose. Objective is to study a theoretical and technological parameters and schemes for using the natural and technogenic resource of spent coal deposits.

The methods. An integrated approach is applied, including the collection, systematization and analysis of actual data on filtration and physicommechanical properties of the host rocks and mining conditions of the reservoir development. The studies were carried out by means of substantiation of models of filtration and heat transfer within the water-flooded rocks representing thermodynamical processes of the proposed geocirculating system operation.

Findings. Long-term mining of coal deposits in Ukraine and liquidation of mines have resulted in the formation of natural and technogenic environment within coal-mining regions; the environment contains substantial reserves of energy resources in the form of remaining and off-grade coal as well as warm mine and underground water. Disturbed rock mass has significant capacitive resource capable of accumulating heat carriers which amount is quite sufficient to mitigate seasonal fluctuations of their consumption. Analysis of the global scientific and practical experience in the development of such energy sources indicates its high profitability and the inefficiency of geotechnologies used in Ukraine. The complex of technological solutions allows the environmentally safe development of natural and man-made resources with the coordination of the stage and intensity of the development of energy carriers with the necessary volumes of their consumption and storage.

The originality. The developed models of filtration and heat-transfer have become the research basic instrument since they reflect thermodynamical processes of a geocirculating system providing both warming and conditioning of industrial and civic buildings at the expense of summer heat and winter cold preserved within the disturbed water-bearing rocks.

Practical implications. Thus, geotechnical modulus has been substantiated. The modulus provides efficient development of thermal resource of the flooded mine while intaking pumping water from different levels for heat and cold supply of buildings depending upon outdoor temperature as well as its periodical activation by means of underground combustion of residual coal.

Key words: coal deposits, disturbed massif, submerged mine, thermal energy, geotechnology.

УДК 622.235:622.271

© А.А. Скачков, С.А. Жуков

АДАПТАЦИЯ МЕТОДА КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ К ЗАДАЧАМ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ЭНЕРГОНАСЫЩЕНИЯ МАССИВА ПОРОДКОМБИНИРОВАННЫМИ СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ

© A. Skachkov, S. Zhukov

ADAPTATION OF THE CONFORMAL MAPPINGS METHOD TO THE TASKS OF DIFFERENTIATED ENERGY SATURATION OF THE ROCK MASSIF BY COMBINED BOREHOLE CHARGES

Цель исследования – анализ возможности и перспектив адаптации методов конформных отображений функции комплексного переменного для установления закономерностей пространственной концентрации взрывной энергии в массиве скальных пород сложной структуры в зависимости от конструкции скважинного заряда и условий его взрывания; оценка влияния на действие взрыва разработанных авторских решений по конструкции скважинных зарядов для формирования направленных зон взрывных напряжений в массивах с целью создания дополнительных отражающих волны щелей.

Методически определение состояния твердой среды после взрыва в ней заряда ВВ определялось, исходя из уравнений Лапласа. Для решения плоских задач при этом использовались апробированные методы конформных отображений функции комплексного переменного, а также методы аналитических расчетов и геометрических построений; обоснование механизма формирования в анизотропной кристаллической среде концентраторов напряжений с применением пространственно-математических методов решения задач и сравнительной оценки их результатов.

Результаты исследований. Анализируется метод конформных отображений функции комплексного переменного на пригодность его для условий использования в карьере зарядов авторской конструкции. Обосновывается принцип реализации данной адаптации для формирования сети взрывных скважин. Выявлены особенности формирования контуров в массиве горных пород максимально и минимально напряженных зон вокруг скважинных зарядов в зависимости от конструкции последних и свойств среды в условиях авторской идеи симметричного подрыва породного массива, дифференцированно насыщенного взрывом.