И.А. Садовенко
А.В. Инкин

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ ОСВОЕНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДОНБАССА

В статье приведены результаты исследований, которые позволили оценить закономерности распределения и использования энергетического и емкостного потенциала техногенных гидротермальных месторождений Донбасса. На основе изучения геолого-гидрогеологических факторов формирования месторождений создана параметрическая основа геотехнологии отбора, сезонной аккумуляции и искусственного пополнения энергоносителей. Представленные технологические варианты и схемы позволяют обеспечить экономически эффективную разработку гидротермальных ресурсов, нацеленную на синхронизацию потребления энергоносителей и улучшения экологической ситуации территории отработанных угольных месторождений.

Ключевые слова: угольные месторождения, гидротермальные ресурсы, тепловая энергия, геотермальные системы.

Постановка задачи исследований.

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 [1, 2]. 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.

Для определения условий формирования и потенциала техногенных гидротермальных месторождений, технологического обоснования комплексного освоения энергоемкостного ресурса угленосных площадей и ликвидируемых горнодобывающих предприятий, способных на современном уровне экономической эффективности удовлетворить потребности рынка страны в тепловой энергии, необходимы соответствующие количественные оценки. Поэтому совмещение этапов отработки угольных месторождений на единой теоретической основе, с определением параметров геотехнологических модулей по использованию природно-

техногенного ресурса энергии и емкостных свойств отработанного массива и смежных площадей является актуальной и стратегически важной научно-практической задачей.

В работе представлено теоретическое и технологическое обоснование параметров и схем формирования и использования природно-техногенного теплового и емкостного ресурсов отработанных угольных месторождений с помощью комплекса геомодулей, обеспечивающих их активизацию, отбор и хранение синхронно с сезонной неравномерностью потребления энергоносителей.

Обоснование моделей аккумуляции теплоносителей в водоносных горизонтах.

Среди нетрадиционных способов тепло- и холодоснабжения сооружений в последнее время широко применяются аккумулирующие геосистемы, предназначенные для отопления и кондиционирования зданий за счет сохранения летнего тепла и зимнего холода в водоносных коллекторах. Такая система состоит из скважин, через которые с земной поверхности в пласт закачивается вода с температурой, характерной для данного времени года (рис. 1). Одни скважины служат для хранения тепла, другие – холода. Летом вода из «холодных» скважин поступает в систему кондиционирования воздуха и, отдав холод, уже с более высокой температурой закачивается в пласт через «теплые» скважины. Таким образом, по мере подачи холодоносителя потребителю, в пласте происходит сокращение запаса холода и одновременное увеличение запаса тепла. Зимой направление процесса меняется. Теплая вода подается в тепловой насос для отопления и горячего водоснабжения зданий и, после отдачи тепла, поступает в пласт-коллектор

через «холодные» скважины. При этом в пласте возрастает запас холода, а запас тепла уменьшается.

- 1 – здание; 2 – водоносный коллектор;
3, 4 – «холодные» и «теплые» скважины;
5 – путь движения воды из «холодной» скважины летом; 6 – система кондиционирования воздуха; 7, 8 – наружный и охлажденный воздух;
9 – путь движения воды из «теплой» скважины зимой; 10 – тепловой насос

Рис. 1. Схема тепло- и холодоснабжения зданий с помощью системы подземного аккумулирования тепловой энергии

Система подземного аккумулирования тепла рентабельна в условиях, когда ее горно-геологические условия и технологические режимы работы исключают возможность взаимного влияния тепловых ореолов скважин; при этом потери тепловой энергии не должны превышать 25 %. С учетом сложности протекающих физических процессов и основанных на мировом научно-практическом опыте рекомендаций [3] применение данной геотехнологии должно быть обосновано численным моделированием фильтрации и теплопереноса в водоносном горизонте, который используется как коллектор нагретой и охлажденной воды.

Уравнение фильтрации при нагнетании и откачке в напорном режиме записывается в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(Km \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Km \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q_{\Sigma} - \frac{K_1}{m_1} (H_1 - H) - \frac{K_2}{m_2} (H - H_2) = S_s \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

где K и m – коэффициент фильтрации и мощность водоносного горизонта; K_1 и m_1 , K_2 и m_2 – соответственно те же параметры его кровли и подошвы; H , H_1 и H_2 – напор в водоносном горизонте, выше- и нижележащем водоносных пластах соответственно; Q_{Σ} – переменная во времени суммарная интенсивность отбора и нагнетания воды скважинами

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_i \delta(x - x_i, y - y_i),$$

Q_i – дебит i -й скважины; x_i , y_i – ее координаты; S_s – упругость пласта.

Двухмерная в плане миграция тепла в подземных водах описывается уравнением

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda m \frac{\partial T}{\partial x} - \rho_w C_w v_x m T \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda m \frac{\partial T}{\partial y} - \rho_w C_w v_y m T \right) + m q_{\Sigma} - q_b - q_i = m [n \rho_w C_w + (1-n) \rho_{sk} C_{sk}] \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности пород водоносного горизонта; ρ_w , ρ_{sk} – плотности воды и скелета пород; T – температура подземной воды; q_i и q_b – тепловые потоки из водоносного горизонта в его кровлю и подошву; C_w , C_{sk} – удельные теплоемкости подземной воды и скелета пород; q_{Σ} – распределенная в объеме пласта интенсивность источников и стоков тепла

$$q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N q_i \delta(x - x_i, y - y_i),$$

где q_i – интенсивность i -го источника (стока) тепла, который соответствует месту расположения i -й скважины для нагнетания (отбора) воды.

Интенсивность теплового потока при нагнетании и отборе воды через скважину определяется по формуле

$$q_i = C_w \rho_w Q_i \Delta T_i,$$

где $\Delta T_i = T_i - T_0$ – при закачке;

$\Delta T_i = T(x_i, y_i, t) - T_0$ – при отборе воды. Здесь T_i – температура воды, нагнетаемой через i -ю скважину; $T(x_i, y_i, t)$ – температура воды, отбираемой из i -й скважины; T_0 – существующая температура подземных вод.

Теплофизические свойства воды определяются для участка водоносного горизонта вблизи скважины.

Потоки тепла через кровлю и подошву пласта определяется по формулам

$$q_t = -\frac{\lambda}{n} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=m}; \quad q_b = \frac{\lambda}{n} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0}.$$

Разделив обе части уравнения (2) на произведение $n C_w \rho_w$ можно перейти к уравнению

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda m}{C_w \rho_w n} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{v_x m}{n} T \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda m}{C_w \rho_w n} \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{v_y m}{n} T \right) + \frac{mq_\Sigma - q_b - q_t}{C_w \rho_w n} = m R_T \frac{\partial T}{\partial t},$$

$$\text{где } R_T = 1 + \frac{1-n}{n} \cdot \frac{\rho_{sk} C_{sk}}{\rho_w C_w} - \text{коэффициент, аналогичный т.н. коэффициенту запаздывания в уравнении массопереноса в подземных водах; } n - \text{пористость.}$$

Численная модель, основанная на уравнениях (1) и (3) с нестационарными источниками и стоками воды и тепла, позволяет описывать переходные режимы теплопереноса с произвольным расположением нескольких скважин, различной температурой закачиваемой и отбираемой воды, неоднородной структурой и переменной мощностью водоносного горизонта. Получить соответствующее аналитическое решение такой краевой задачи теплопереноса не представляется возможным.

Оценивание теплового баланса в водоносных породах над подземным газогенератором. Источником энергии, необходимой для превращения угольного пласта в газ, является сжигаемый уголь. Тепло для газификации выделяется в результате интенсивного массообмена, что обеспечивает протекание химических реакций и дальнейшее термическое разложение угля. При этом часть тепла расходуется на нагрев продуктов газификации и теряется в породном массиве (физическое тепло), а другая часть заключена в горючих компонентах вырабатываемого газа (химическое тепло). Общее количество тепла сжигаемого топлива определяет КПД процесса ПСУ как отношение химического тепла к общему.

Научно-производственный опыт работы станций «Подземгаз» показывает, что их КПД на практике не превышает 65 % и требует разработки мер по его повышению. В связи с этим необходимо установление динамики формирования теплового поля вокруг подземного теплогазогенератора и возможности отбора тепла, поступающего во вмещающие породы.

Рассмотрим данный процесс на примере системы, состоящий из трёх пластов, имеющих непосредственный тепловой контакт друг с другом. В процессе сжигания нижнего угольного пласта часть тепла расходуется для перехода в горючие компоненты, другая часть поступает во вмещающие породы. Так как нагретые продукты горения значительно легче дутьевых компонентов, подающихся в реакционный канал, то при сжигании они будут занимать верхнюю часть выгазованного пространства, создавая там наиболее высокую температуру. Таким образом, породная кровля угольного пласта подвергается наибольшему термическому воздействию. Этот слой прогревается над реакционным каналом при сжигании угля и остывает после прекращения дутья. Выше лежащий водоносный горизонт нагревается под воздействием теплового потока, проходящего его почву из кровли нижележащего слоя. Для обоснования технологически рациональных параметров отбора накапливающейся в горизонте тепловой энергии необходимо выполнить моделирование распространения формирующихся в нем геотермических полей.

Принципиально важным этапом разработки модели является корректная формулировка граничного условия по температуре на подошве водоносного горизонта над реакционным каналом. Для определения температуры подземных вод в данной части водоносного пласта выделяется объемный блок малой толщины в виде параллелепипеда, расположенный непосредственно над нагретым разделяющим пластом (водоупором), где происходит теплообмен (рис. 2). Баланс тепла в блоке устанавливается на основе равенства количества тепла (U_Σ), которое приходит в блок или выносится из него за промежуток времени τ и количества тепла, которое расходуется на нагрев подземных вод и горных пород непосредственно в блоке ($U_{нагр.}$).

Изменение температуры воды и пород в блоке определяется уравнением баланса тепла [4]

$$U_\Sigma = (q_0 + q_1 - q_2 - q_3)\tau = U_{нагр.} = (T_1 - T_0) \cdot B; \quad (4)$$

$$\text{где } q_1 = A T_w; \quad q_2 = A \cdot \frac{T_1 + T_0}{2}; \quad (5, 6)$$

$$q_3 = D \cdot \left(\frac{T_1 + T_0}{2} - T_w \right); \quad D = \frac{\lambda \Delta x \Delta y}{\Delta z}, \quad (7, 8)$$

$$A = \Delta y \cdot \Delta z \cdot v \cdot C_w \rho_w; \quad (9)$$

$$B = \rho_w C_w V_w + \rho_{sk} C_{sk} V_{sk}; \quad (10)$$

где T_0 , T_1 – соответственно температура воды и пород в блоке объемной сетки размерами $\Delta x \Delta y \Delta z$ на начало и в конце промежутка времени τ , v – скорость фильтрации; V_w , V_{sk} – объем воды и пород в блоке; q_0 – тепловой поток от реакционного канала; q_1 и q_2 – конвективные потоки тепла вдоль направления фильтрационного потока; q_3 – кондуктивный тепловой поток от блока к блоку расположенному выше; λ – теплопроводность водоносного пласта; ρ_w , C_w , V_w – плотность, теплоемкость и объем воды в блоке; ρ_n , C_n , V_n – плотность, теплоемкость и объем пород в блоке.

Рис. 2. Схема баланса тепла в блоке водоносного пласта над кровлей реакционного канала

Подставляя выражения (5) – (10) в (4), получим уравнение для временного ряда температур

$$T_i = T_{i-1} + \frac{q_0 - (A + D) \cdot (T_{i-1} - T_w)}{B + (A + D)\tau/2} \cdot \tau,$$

где T_i – температура в блоке объемной сетки в течение i -го периода осреднения.

Оценка точности модели путем решения эпигнозной задачи. Разработанный способ активизации энергоемкости водонасыщенного массива затопленной шахты в параметрическом модельном воспроизведении тестировался на опубликованных фактических данных масштабного промышленного эксперимента по подземной газифика-

ции угля (участок Rocky Mountain, США) [5]. В этом эксперименте использованный нами эффект рассматривался как побочное осложнение.

Согласно рекомендациям, предложенным в работах [6, 7], разбивка исследуемого участка Hanna – 1 размерами 500 x 500 м аппроксимируется сеткой с шагом 25 x 25 м и его уменьшением в 5 раз вблизи модулей сжигания, что позволяет точно фиксировать конфигурацию формирующихся термо- и пьезоизогипс (рис. 3). В соответствии с данными геологического строения область фильтрации рассматривается как многослойная толща со средней мощностью угольного пласта 10 м, водоупора – 7 м и водоносного пласта – 15 м. Расположенная в пределах области Скалистая гора, простирающаяся с юго-востока на северо-запад, является барьером для движения воды и задается в виде непроницаемой гидродинамической границы. По остальному контуру участка Hanna – 1, ввиду отсутствия детальной информации об области питания и разгрузки водоносного горизонта, задаются граничные условия первого рода с величинами напоров, воспроизводящими реальный гидравлический уклон подземных вод (0,006).

Рис. 3. Схематизация модели участка Hanna – 1 в программном комплексе ModFlow

Внутренними границами модели являются полости сжигания, также отображаемые граничными условиями первого рода с величиной гидродинамического напора, равной абсолютной отметке почвы угольного пласта. Положение этих границ осуществлялось путем нанесения контуров отработанных участков на расчетные слои. При моделировании работы модулей ПСУ после прекращения подачи дутья внутренние граничные условия отключались.

На рис. 4 представлено сопоставление натурных и модельных данных об изменениях температуры подземных вод в скважинах расположенных вблизи модулей сжигания угля. Анализ графиков показывает, что максимальная относительная погрешность расчетов не превышает 5 % и свидетельствует о достоверности полученных результатов. Приведенные данные подтверждают адекватность предложенной модели теплопереноса и возможность ее использования в практических задачах по оценке теплового ресурса водоносных горизонтов при подземном сжигании угольных пластов.

Рис. 4. Динамика изменения температуры подземных вод на участке Hanna – 1

Параметризация освоения, активизации и использования теплового потенциала ликвидируемой шахты «Новгородовская 2». Одним из кардинальных направлений реструктуризации угольной отрасли Украины и восстановления естественного природного режима в угледобывающих регионах является закрытие отработанных и нерентабельных шахт. Так, согласно «Инвестиционной программе развития угольной промышленности»,

в 2011 – 2015 гг. на территории Донбасса намечены к ликвидации 16 угольных предприятий, большая часть из которых уже закрыта. Благодаря этому множество небольших шахтерских городов на фоне постоянно растущих цен на бензин и дизтопливо стали ощущать острую нехватку в тепловой энергии. Примером сложившейся ситуации может служить шахта «Новгородовская 2» ГП «Донуглереструктуризация» в Красноармейском углепромышленном районе, принятая к ликвидации приказом Министерства угольной промышленности Украины № 237 от 24.05.2001 с поддержанием уровня затопления водоотливным режимом. В непосредственной близости от нее (в 10 км) расположен г. Новгородовка с населением в 15 тыс. человек, часть промышленных и гражданских объектов которого после закрытия шахты в холодное время года остались без отопления и горячего водоснабжения. Вместе с тем, мировой научно-практический опыт (Германия, Франция, Англия) показывает примеры рентабельного использования низкопотенциального тепла воды из затопленных шахт для обогрева одно-двухэтажных зданий различного назначения, в сравнении с другими видами энергоносителей. В связи с чем становится актуальным вопрос о количественной оценке теплового и емкостного ресурсов шахты «Новгородовская 2», а также установлении возможности и эффективности его использования для отопления зданий.

По результатам предварительных расчетов было установлено, что общее количество тепловой энергии, аккумулированной водами, содержащимися в затопленных горных выработках шахты «Новгородовская 2», в среднем составляет 1300 ТДж [8]. Ее использование с помощью геомодуля может рассматриваться в двух технологических вариантах (рис. 5), первый из которых связан с освоением естественного теплового ресурса шахты («холодная скважина»), второй – с его дополнительной активизацией за счет подземного сжигания остаточных запасов угля («теплая скважина»).

В летний период воды, сосредоточенные в затопленных горных выработках в интервале $\pm 0...+100$ м и имеющие среднюю температуру $+12$ °C, через куст «холодных» скважин, расположенных на территории шахтного поля, откачиваются на дневную поверхность и поступают в тепловые насо-

сы. После чего они, нагретые в результате кондиционирования зданий до температуры наружного воздуха (около 30 °С), через куст «теплых» скважин возвращаются в затопленные выработки, но уже на горизонт –300...–400 м со средней температурой 26 °С. Спустя два месяца после прекращения охлаждения помещений (окончания лета) вода из нижних горизонтов через «теплые» скважины вновь подается на дневную поверхность и используется в качестве источника низкопотенциальной энергии в тепловых насосах для обогрева зданий. Отдав тепло и остыв до 7 °С, отработанные воды через «холодные» скважины вновь поступают на горизонт ±0...+100 м. Продолжительность этого этапа эксплуатации геомодуля составляет пять месяцев (ноябрь – март), после чего следует двухмесячный период простоя, на протяжении которого могут проводиться ремонтно-профилактические работы.

1 – здание; 2 – продуктивная толща с затопленными горными выработками; 3, 4 – «холодная» и «теплая» скважины; 5 – некондиционный угольный пласт; 6 – пакер; 7, 8 – путь движения шахтных вод из «холодной» и «теплой» скважин; 9, 10 – направления течения дутьевого (газового) и теплового потоков при сжигании угля

Рис. 5. Технологическая схема геомодуля на территории поля шахты «Новгородовская 2»:

Эффективность создания и эксплуатации геомодуля напрямую зависит от соотношения его термодинамических, технологических и гидродинамических параметров с возникающими при отоплении г. Новгородка тепловыми нагрузками. При этом эта величина в среднем оценивается в 30 ГДж/ч, что составляет приблизительно 100 ТДж тепла за весь период отопления и менее 10 % естественного теплового ресурса затопленной шахты (1300 ТДж). Однако, несмотря на имеющийся значительный запас тепловой энергии, использование шахтных вод по первому технологическому варианту на практике сопряжено с рядом трудностей. Прежде всего, это связано с необходимостью снижения их минерализации и солёности перед использованием в тепловых насосах. Кроме того, применение самих насосов требует значительных капитальных вложений на их установку. Увеличение дебитов и числа скважин на территории шахтного поля также не приведет к положительным результатам ввиду несоответствия температуры шахтных вод показателям, необходимым для теплоснабжения сооружений без дополнительного подогрева.

Вместе с тем, нагрев вод из затопленных выработок до кондиционного состояния (например, без применения тепловых насосов) возможен при работе геомодуля по второму технологическому варианту, предполагающему повышение их температуры за счет подземного сжигания остаточных запасов угля. Сжигание некондиционных и маломощных пластов, залегающих в пределах поля шахты «Новгородовская 2» (κ_7^5 , κ_8^u , l_4 и l_5), предполагается производить на протяжении 100 сут (ноябрь – январь) по методике, подробно описанной выше, с откачкой нагретых вод из вышерасположенных затопленных выработок. При этом оценка распространения температурных ореолов в затопленном массиве, вызванных периодическим отбором и закачкой шахтных вод, а также потоком тепла, поступающим из реакционного канала, позволит наиболее полно использовать тепловой потенциал шахты и минимизировать его потери, связанные с взаимовлиянием «холодных» и «теплых» фронтов.

Анализ диаграмм рис. 6 показывает, что тепловой ресурс, вырабатываемый геомодулем по второму варианту, практически полностью покрывает тепловые потребно-

сти, возникающие во время отопительного периода в г. Новогородовка. Это дает основание рассматривать данную технологическую схему как наиболее перспективную при использовании ресурсов ликвидируемой шахты «Новогородовская 2». В случае работы геомодуля по первому варианту и применению шахтных вод в качестве низкопотенциального источника энергии в тепловых насосах затрачиваемая ими энергия для отопления зданий в среднем составит 150 ГДж/сут, что в четыре раза меньше необходимого для этого теплового потока. Результативность первой технологической схемы может быть повышена путем замены дорогостоящих тепловых насосов на систему отопления «теплый пол».

1 – 3 – тепловой поток соответственно, необходимый для обогрева г. Новогородовка, вырабатываемый модулем по второму и первому технологическим вариантам; 4 – тепловой эквивалент мощности, требуемой насосу для обогрева зданий при использовании шахтных вод (1-й вариант) в качестве источника низкопотенциальной энергии

Рис. 6. Производительность геомодуля на территории поля шахты «Новогородовская 2»:

Выводы. Длительная разработка угольных месторождений и ликвидация шахт в Украине привели к формированию на территории угледобывающих регионов природно-техногенной среды, содержащей большие запасы энергетических ресурсов в виде остаточных и некондиционных запасов угля, теплых шахтных и подземных вод.

Нарушенный породный массив имеет значительный емкостный ресурс, способный аккумулировать теплоносители в объеме, достаточном для сглаживания сезонных колебаний их потребления.

Основным инструментом исследований были созданные модели фильтрации и теплопереноса в обводненных породах, отражающие термогидродинамические процессы работы геодинамической системы, которая обеспечивает отопление и кондиционирование промышленных и гражданских зданий за счет сохранения летнего тепла и зимнего холода в нарушенных водоносных породах.

Динамика формирования и конфигурация объемов теплового ресурса в водоносном горизонте, залегающем над сжигаемым угольным пластом, в зависимости от угла его падения, стадии разработки угля и мощности водоупора воспроизведена численным моделированием. Модель идентифицирована на основе эпигнозного моделирования промышленного эксперимента по подземному сжиганию угля на месторождении Rocky Mountain (США). Относительная погрешность расчетов не превышает 5 %.

Обоснован геотехнологический модуль, обеспечивающий эффективное освоение теплового ресурса затопленной шахты за счёт отбора и закачки вод различных горизонтов для тепло- и холодоснабжения зданий в соответствии с температурой наружного воздуха, а также его периодическую активизацию путем подземного сжигания остаточных угольных запасов. На примере ликвидируемой шахты «Новогородовская 2» в Донбассе доказано, что образующийся при сжигании угля и откачке нагретых вод тепловой поток (500 – 580 ГДж/сут) практически полностью покрывает тепловые потребности населенного пункта с 15 тыс. жителей.

Научная новизна работы состоит в установлении закономерностей протекания геотехнологических процессов при разработке угольных месторождений, приводящих к формированию природно-техногенного емкостного и энергетического ресурсов, а также определении схем их использования на основе разработанных моделей теплопереноса и гидродинамики в нарушенном породном массиве.

Литература

1. Развитие процессов подтопления земной поверхности под влиянием закрывающихся шахт / В.Н. Ермаков, А.П.Семенов, О.А.Улицкий [и др.] // Уголь Украины. – 2001. – № 6. – С. 12 – 13.
2. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины / под ред. Ю.Н. Гавриленко. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 631 с.
3. Andersen L.J., Madsen B., Bull N. Hydrogeological investigations as a basis for heat storage in aquifers // IANS Publ. – 1985. – № 154.
4. Садовенко И.А. Численное исследование особенностей теплового поля вокруг подземного газогенератора / И.А. Садовенко, Д.В. Рудаков, А.В. Инкин // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – № 39. – С. 11 – 20.
5. Berdan G. A. Restoration plan for the Hanna. Underground coal gasification site in carbon county. / G. Berdan. // Wyoming – 1993. – 128 p.
6. Садовенко И.А. Синтезирование численных моделей при решении задач управления геофильтрационным состоянием горного массива / И.А. Садовенко // Горный журнал. – 1991. – № 12. – С. 19 – 22.
7. Рудаков Д.В. Моделирования в гидрогеологии / Д.В. Рудаков. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 88 с.
8. Садовенко И.А. Обоснование параметров отбора тепловой энергии в условиях затопленной шахты / И.А. Садовенко, А.В. Инкин // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 82 – 90.
1. V.N. Ermakov, A.P. Semenov., O.A. Ulitskiy (2001), "Development of processes of flooding of the earth's surface under the influence of the closing mines", ["Razvitiye protsessov podtopleniya zemnoy poverkhnosti pod vliyaniem zakryvayushchikhsya shakht"], *Ugol Ukrainy*, No. 6, pp. 12-13 (in Russian).
2. Yu.N. Gavrilenko (2004), "Technogenic consequences of the closure of the coal mines of Ukraine", ["Tekhnogennyye posledstviya zakrytiya ugolnykh shakht Ukrainy"], Donetsk: Nord-press, 631 p. (in Russian).
3. Andersen L.J., Madsen B., Bull N. (1985). "Hydrogeological investigations as a basis for heat storage in aquifers", New York: IANS Publ, 154 p. (in English).
4. I.A. Sadovenko, D.V. Rudakov, A.V. Inkin (2012), "Numerical study of the features of the thermal field around an underground gas generator", ["Chislennoye issledovaniye osobennostey teplovogo polya vokrug podzemnogo gazogeneratora"], *Zbirnik naukovikh prats NGU*, No. 39, pp. 11-20 (in Russian).
5. Berdan G. A. (1993). "Restoration plan for the Hanna. Underground coal gasification site in carbon county", Wyoming, 128 p.
6. I.A. Sadovenko (1991), "Synthesis of numerical models for solving problems of controlling the geofiltration state of a mountain massif", ["Sintezirovaniye chislennykh modeley pri reshenii zadach upravleniya geofiltratsionnym sostoyaniyem gornogo massiva"], *Gornyy zhurnal*, No. 12, pp. 19-22 (in Russian).
7. D.V. Rudakov (2011), "Modeling in hydrogeology", ["Modelirovaniye v gidrogeologii"], Dnepropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy universytet, 88 p. (in Ukrainian).
8. I.A. Sadovenko, A.V. Inkin (2014), "Justification of the parameters of heat energy extraction in the conditions of a flooded mine", ["Obosnovaniye parametrov otbora teplovoy energii v usloviyakh zatoplennoy shakhty"], *Gornyy zhurnal*, No. 7, pp. 82-90 (in Russian).

References

1. V.N. Ermakov, A.P. Semenov., O.A. Ulitskiy (2001), "Development of processes of flooding of the earth's surface under the influence of the closing mines",

Надійшла до редакції 01.11.2017
Рецензент д-р. техн. наук, доц. І.Г. Сахно.

Садовенко Иван Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ГВУЗ «Национальный горный университет» (пр. Д. Яворницкого 19, Днепр, 49005, Украина), e-mail: sadovenko.i.o@nmu.one

Инкин Александр Викторович – доктор технических наук, доцент, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ГВУЗ «Национальный горный университет» (пр. Д. Яворницкого 19, Днепр, 49005, Украина), e-mail: inkin@ua.fm

ГЕОТЕХНОЛОГІЯ ОСВОЄННЯ ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДОНБАСУ

Аннотация. У статті наведено результати досліджень, які дозволили оцінити закономірності розподілу й використання енергетичного і ємнісного потенціалу техногенних гідротермальних родовищ Донбасу. На основі вивчення геолого-гідрогеологічних чинників формування родовищ створена параметрична основа геотехнології відбору, сезонної акумуляції та штучного поповнення енергоносіїв. Надані технологічні варіанти і схеми дозволяють забезпечити економічно ефективну розробку гідротермальних ресурсів, що націлене на синхронізацію споживання енергоносіїв і поліпшення екологічної ситуації території відпрацьованих вугільних родовищ.

Ключові слова: вугільні родовища, гідротермальні ресурси, тепла енергія, геокриляційні системи.

Садовенко Иван Олександрович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри гідрогеології та інженерної геології ДВНЗ «Національний гірничий університет» (пр. Д. Яворницького 19, Дніпро, 49005, Україна), e-mail: sadovenko.i.o@nmu.one

Інкін Олександр Вікторович – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри гідрогеології та інженерної геології ДВНЗ «Національний гірничий університет» (пр. Д. Яворницького 19, Дніпро, 49005, Україна), e-mail: inkin@ua.fm

GEOTECHNOLOGY OF DEVELOPMENT HYDROTHERMAL RESOURCES DONBASS

Abstract. The article describes the results of research that have assessed the patterns of distribution and use of the energy and capacitive potential of technogenic hydrothermal deposits in the Donets Basin. Based on the study of geological and hydrogeological factors in the formation of deposits, the parametric basis of geotechnology selection, seasonal accumulation and artificial recharge of energy has been established. The technological options and schemes presented allow for the cost-effective development of Donbass hydrothermal resources aimed at synchronizing energy consumption and improving the environmental situation of the territory spent coal deposits.

Key words: coal deposits, hydrothermal resources, thermal energy, geocirculation systems.

Sadovenko Ivan – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of the National Mining University (D. Yavornytskoho Ave. 19, Dnipro, 49005, Ukraine), e-mail: sadovenko.i.o@nmu.one

Inkin Aleksandr – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of the National Mining University (D. Yavornytskoho Ave. 19, Dnipro, 49005, Ukraine), e-mail: inkin@ua.fm