

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТНОЙ ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

В.К. Костенко, С. Салехирадж, Е.Л. Завьялова

Донецкий национальный технический университет, Украина

Резюме. Рассмотрены теоретические аспекты, выполнены экспериментальные исследования и проведена эколого-экономическая оценка эффективности использования низкопотенциальной геотермальной энергии, извлекаемой из отработанных участков горного массива глубоких угольных шахт.

Sammary. The theoretical aspects, carried out experimental studies and conducted ecological and economic evaluation of the use of low-grade geothermal energy extracted from the black mountain areas of deep coal mines

Актуальность темы. Ухудшение экологической обстановки в горнодобывающих регионах в значительной степени связано с интенсивным потреблением шахтами различных видов энергии, производимой из традиционных видов топливных ресурсов: природного газа, угля, нефтепродуктов и урана. Основными стационарными потребителями энергии и топлива являются электродвигатели горношахтного оборудования, шахтные котельные установки, вспомогательное оборудование. Их работа приводит к выбросам теплоты, парниковых и токсичных газов, аэрозолей, что негативно отражается, в первую очередь, на состоянии абиотических факторов природы и существенно снижает уровень экологической безопасности техногенной урбоэкосистемы шахты. В связи с этим замена привносимых в экосистему извне традиционных видов горючих внутрисистемным теплом недр представляется важной экологической и ресурсосберегающей задачей.

Для горнодобывающих регионов Украины, в которых отсутствуют неглубоко расположенные высокопотенциальные термальные ресурсы, перспективным источником является теплота, получаемая из недр через стенки горных выработок глубоких шахт. При реализации такой технологии равномерно распределенная в горном отводе шахты геотермальная энергия может быть сконцентрирована в заполненных теплоносителем протяженных каналах (выработках) лабиринтной конфигурации и утилизирована. Использование выработанных пространств подземных горнодобывающих предприятий - это надежный способ, в меньшей степени подверженный многим присущим скважинным технологиям недостаткам.

В ДонНТУ предложен способ использования низкопотенциальной энергии поступающей из недр снимаемой теплоносителем со стенок горных выработок. Особенность способа состоит в том, что для этого используют выработанные пространства, то есть участки горного массива, из которых извлечено полезное ископаемое и практического использования их не предусматривается в перспективе. В таких условиях теплосъем может производиться десятки и сотни лет, так как источник теплоты будет существовать в обозримом будущем. В отличие от скважинных технологий в этом способе процесс теплообмена является контролируемым, угроза суффозии или кольматации - минимальна. Однако, это перспективное для

горнодобывающих регионов техническое решение существует на уровне эскизного предложения и нуждается в научном обосновании.

Цель данной работы – повышение экологической безопасности техногенной урбоэкосистемы шахты путем раскрытия закономерностей перераспределения геотермальной энергии в горном массиве, обоснования способов и средств утилизации внутрисистемной теплоты недр и сокращения потребления привносимых в экосистему энергоресурсов.

Теоретические исследования были посвящены исследованию режимов работы и совершенствованию математической модели; математическому описанию и оценке эффективности эксплуатационного режима работы шахтного геотермального теплообменника (ШГТ).

Выделено несколько характерных режимов работы теплообменников. При проходке выработок - режим строительства (РС), когда обнаженная поверхность выработки охлаждается воздухом от температуры массива (T_M) до температуры воздушного потока (T_B). При эксплуатации выработки в качестве ШГТ используется основной режим “разрядки” аккумулятора тепла или рабочий режим (РР), горные породы охлаждаются за счет теплообмена с вентиляционной струей от температуры массива (T_M) до некоторой допустимой (T_D) за период (t_p). Этому предшествует период “отстоя” свежeproйденной выработки, т.е. восстановлению температурного поля массива от (T_B) до (T_M) или подготовительный режим (ПР), продолжительностью (t_n). Подобный период существования ШГТ необходим для восстановления температуры от (T_D) до (T_M) в течение времени (t_3) - режим “зарядки” аккумулятора тепла (РЗ), при этом охлажденная зона массива прогревается за счет теплопритоков из недр (рис.1).

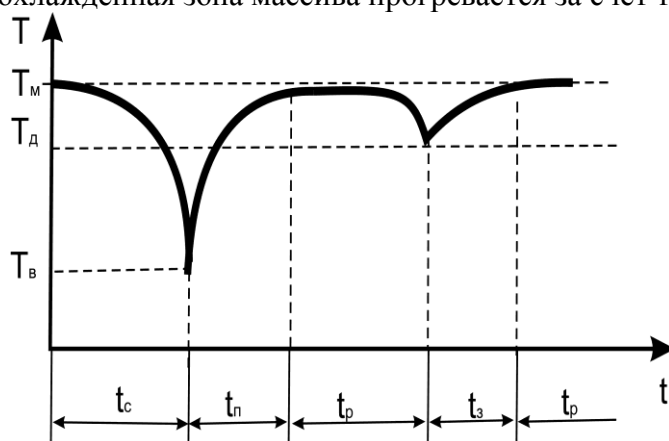


Рис. 1. Изменение температуры (T) на поверхности канала шахтного геотермального теплообменника в периоды: строительства (t_c); подготовки к работе (t_n); работы (t_p); зарядки (t_3): T_M , T_B , T_D – температуры, соответственно, массива, теплоносителя, допустимого охлаждения стенок канала

Модель рабочего режима (разрядки) геотермального аккумулятора должна позволять определить следующие величины: температурное поле в массиве в произвольный момент времени $t > 0$; температуру воздуха на выходе из выработки в любой момент времени t – $T_{BL}(t)$; время оптимального режима эксплуатации (эффективного нагрева воздушной струи) – t_p .

Для определения температурного поля в массиве рассмотрена краевая задача:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_M \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial T}{\partial x} \right), T = T(r, x, t), r \in (R_0, \infty), x \in (0, L), t > 0 \quad (1)$$

$$T(r, x, t) \Big|_{t=0} = T_M(H) = const, r \in (R_0, \infty), x \in (0, L)$$

где: $T_M(H)$ – температура в нетронутом массиве на глубине H ; $T(r, x, t)$ – распределение температуры в горном массиве; $a_i = \lambda_i \cdot \tilde{N}_i^{-1}$, λ_i, \tilde{N}_i – соответственно

теплопроводность и удельная теплоемкость массива; R_0 , L - радиус сечения и длина выработки; r и x – координаты точки в нормальном и продольном к оси выработки направлениях; индексы m и v означают, что данная величина относится к массиву или воздуху.

Проведена экспериментальная оценка мощности низкопотенциальных геотермальных потоков в глубокой угольной шахте. В качестве экспериментального участка для определения параметров тепловых потоков выбрана сеть горных выработок шахты им. А.Ф.Засядько. Это обусловлено тем, что шахта является одной из самых глубоких в Донбассе, она ведет горные работы на глубинах 1000...1300м и более, температура массива горных пород достигает 45...51°C.

Определяли изменение температуры воздуха на входе и выходе воздухоподающих, очистных (лав) и вентиляционных выработок в различные периоды отработки запасов угля в выемочном участке. При этом в точках измерения температуры фиксировали расход воздуха.

Результаты показали однозначную зависимость получаемой воздушным потоком тепловой энергии от протяженности маршрута движения воздуха. В начальный период отработки участка, когда длина воздухоподающей и вентиляционной выработок была максимальной, энергия теплопритока достигала 420 кВт. После выемки основной части запасов и сокращения протяженности маршрута движения воздуха эта величина сократилась более чем на порядок до 10...50 кВт.

Показательным является изменение показателя $T_{\text{вн}}=T_2-T_1$, а именно, связь между протяженностью воздухоподающей выработки и величиной прироста температуры воздуха в ней.

Установлено, что за период перемещения по горным выработкам добычных участков потоки воздуха, используемого для проветривания, нагреваются на 4,3-13К. В среднем, в воздухоподающих выработках участков пласта m_3 воздух нагревался на один градус, перемещаясь на 300...400 м.

Предотвратить конструктивные недостатки геотермальных теплообменников, заключающиеся в истощении теплоты при интенсивном теплосъеме, можно путем создания ШГТ комбинированных конфигураций, сочетающих последовательные и параллельные схемы. Непрерывность работы ШГТ такого вида обеспечивается путем периодического отключения отдельных параллельных ветвей для рекреации, и использования при этом остальных ветвей для продуктивной работы. В ШГТ комбинированного типа параллельные ветви следует располагать в начале маршрута движения нагреваемого воздуха. Переключением режимов работы параллельных ветвей обеспечивается непрерывная работа теплообменника.

Вокруг контура подготовительной выработки под действием сил горного давления формируется зона разрушенных горных пород. В процессе проведения и дальнейшего поддержания подготовительных горных выработок во вмещающих их породах происходит развитие существовавших в массиве микротрещин и переход их в разряд макротрещин. Наличие такого рода разрывов сплошности пород приводит к резкому ухудшению теплопроводности среды. В случае заполнения трещин искусственным материалом, например бентонитовой глиной с добавлением графитового порошка, происходит увеличение коэффициента теплопроводности массива. При этом, чем больше была исходная трещиноватость массива, тем выше становится способность его проводить тепло после нагнетания.

Эффект от использования анкерных крепежных систем состоит в том, что изготовленные из металла или углепластика стержневые или тросовые элементы крепи в несколько раз лучше проводят тепло чем окружающие выработку породы, даже специально обработанные. При этом замковая часть анкера располагается за пределами

трещиноватой области, окружающей выработку, т.е. в области температур горного массива. Предложен теплопроводящий анкер, который является проводником тепловой энергии, интенсивно проводя ее в область пониженных температур – в полость выработки.

Прогнозируемый экономический эффект от предлагаемых мероприятий составит 4,442...6,225 млн. грн. Затраты на проведение мероприятий оцениваются в сумме 85820 грн. Описанное мероприятие является среднзатратным и высокоэффективным, поскольку окупается менее чем через один календарный месяц.

Из подземных горных выработок в атмосферу поступает дополнительная тепловая энергия, количественно она может быть оценена из выражения:

$$\Delta U = C \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \cdot t, \text{ Дж},$$

где: C - теплоемкость воздуха, Дж/(кг К); ρ - плотность воздуха, кг/м³; Q – объемный расход воздуха в канале вентиляционного ствола, м³/с; ΔT – разность между температурами в канале вентиляционного ствола и среднегодовым уровнем на поверхности, К, t - продолжительность работы установки, с.

Вероятность (P) негативного воздействия шахтной теплоты на обстановку в тропосфере определена из прироста температуры:

$$P = 1 - \frac{T_a}{T_a + T_b},$$

где: T_b , T_a – температуры воздуха, соответственно, в вентиляционном потоке и среднегодовая в приповерхностном слое тропосферы, К.

Риск негативного воздействия выбрасываемой из шахты тепловой энергии на окружающую среду можно определить как произведение прироста температуры на поверхности (P), мощности (Φ), сообщаемой вентиляционной установкой воздушному потоку и длительности (t) действия теплового источника:

$$R = P \Phi t, \text{ Дж}$$

Диверсификация расходуемой вентиляторами электрической на геотермальную энергию позволяет примерно на два порядка сократить этот экологический риск с 1600 до 16 ГДж.

Подобный подход использован для оценки экологических рисков, связанных с использованием геотермии для подогрева воздуха, подпиточной воды и топлива в энергогенерирующих установках.

Величина вероятности (P_t) наступления экологического события, связанного с нанесением ущерба от тепловых выбросов, зависит от расходов топлива в котельной при обычном режиме работы (Q_t) и с подогревом воздуха (Q_a):

$$P_t = \frac{Q_t - Q_a}{Q_t},$$

а экологический риск оценен как произведение вероятности наступления экологического события (P_t), тепловой мощности (Φ_t) котельной установки и длительности ее работы (t_i):

$$R_t = P_t \Phi_t t_i, \text{ Дж}.$$

Экологический эффект использования геотермальной энергии для подогрева подпиточной воды и использования подогретого воздушного дутья типичной шахтной котельной, где работают два котла типа ДКВР 10-13, а расход природного газа $Q^2 = 1105 \text{ м}^3/\text{ч}$, составляет 49 ТДж.