

УДК: 504.062.2.:662.997

**Е.Л. Завьялова** (доц., канд. техн. наук)

**А.С. Шипика** (студентка)

**И.В. Скринецкая** (студентка)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ АНКЕРОВ

Исследована зависимость коэффициента теплопроводности глино-графитной смеси от ее состава для подтверждения возможности применения этой смеси в качестве теплопроводящего состава. Увеличение теплоотдачи породного массива при использовании глино-графитной смеси позволит повысить эффективность работы теплопроводящих анкеров.

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, шахтный геотермальный теплообменник, теплопроводящий анкер, коэффициента теплопроводности, глино-графитная смесь.

**Проблема и ее связь с важнейшими научными и практическими задачами.** В настоящее время актуальность проблемы поиска альтернативных источников энергии не вызывает сомнений в связи с исчерпанием и существенным удорожанием традиционных источников энергии. Среди альтернативных источников энергии особое место занимает геотермальная энергия как один из наиболее надежных и постоянных источников альтернативной энергетики, так как используемое тепло земли имеет стабильную температуру на протяжении длительного времени.

Анализ показывает, что запасы геотермальной энергии на планете достаточны для того, чтобы на длительное время обеспечить потребности всего человечества, а ее стоимость – одна из самых низких среди возобновляемых источников энергии. Однако приемлемые для использования в современных энергетических установках уровни теплоты, с температурой более  $150^{\circ}\text{C}$ , находятся на значительных глубинах, порядка 4-5 тыс.м [1]. 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. Таким образом, создание экологически безопасной технологии рационального использования теплоты недр на глубоких угольных шахтах является актуальным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время проводится огромное количество исследований и разработок в области получения и использования геотермальной энергии. Основное количество способов получения геотермальной энергии основано на скважинных технологиях. При этом способе бурятся скважины, в которые подается холодная вода, а на выходе получают горячую воду или пар.

Данному способу присущи такие недостатки как: высокая стоимость буровых работ; малая производительность установок, обусловленная низкой пропускной способностью скважин и высоким аэрогидродинамическим сопротивлением трещинных и поровых коллекторов в породах; угроза закупорки или размывания теплопроводящих каналов в трещиноватом горном массиве, недоступность и невозможность контролировать работу подземного теплообменника.

Учеными Донецкого национального технического университета предложен способ извлечения низкопотенциальной энергии, поступающей из недр и снимаемой теплоносителем со стенок горных выработок [2] с помощью шахтного геотермального теплообменника.

Шахтный геотермальный теплообменник (ШГТ) – совокупность горных выработок, пройденных в горном массиве с температурой пород 30-50°C и выше, в которых происходит извлечение теплоты недр путем нагревания, движущегося в выработках теплоносителя, как правило, воздуха или воды. Особенность способа состоит в том, что для этого используют выработанные пространства, то есть участки горного массива, из которых извлечено полезное ископаемое, и их практическое использование не предусматривается в перспективе. В таких условиях теплообмен 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 кольяматации – минимальна. Длительность существования такого типа установок определяется только устойчивостью пространства, в котором осуществляется теплопередача.

Продолжительность работы ШГТ в эксплуатационном режиме определяется соотношением поступающей из недр и отводимой нагретым носителем теплоты. В том случае, когда количество уносимой теплоты меньше или равно количеству поступающей, теплообменник может бесконечно долго работать в эксплуатационном режиме. Однако задача обеспечения потребителей максимальным количеством энергии решается за счет увеличения расхода теплоносителя в ШГТ, что влечет за собой сокращение срока его работы в рабочем режиме.

Интенсивное охлаждение стенок теплообменника приводит к снижению температуры во вмещающей горную выработку породном массиве. Обеспечение постоянства теплового состояния породного массива вблизи канала теплообменника возможно только за счет притока тепла недр.

Очевидной является эффективность использования металлических элементов крепи для улучшения отдачи тепла массивом горных пород. Причем более перспективным представляется использование анкерной крепи выработок. Ее преимущества проявляются не только в технико-экономических показателях, таких как снижение трудозатрат на возведение и меньшая материалоемкость. Дополнительный 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. Анкер является проводником тепловой энергии, интенсивно проводя ее в область пониженных температур – в полость выработки.

Исходя из этих соображений, был предложен усовершенствованный способ анкерного крепления выработок [3], в котором на участке разрушенных пород шпур бурят диаметром не менее двух диаметров анкера (рис.1). После закрепления анкера, зазор между ним и стенкой шпура заполняют теплопроводным наполнителем и устанавливают теплообмен с воздухом выработки с помощью опорной шайбы в виде радиатора, чем обеспечивается достижение технического результата - увеличение коэффициента теплопроводности горных пород, вмещающих выработку-канал, что позволяет увеличить эффективность передачи тепла из массива горных пород теплоносителю.

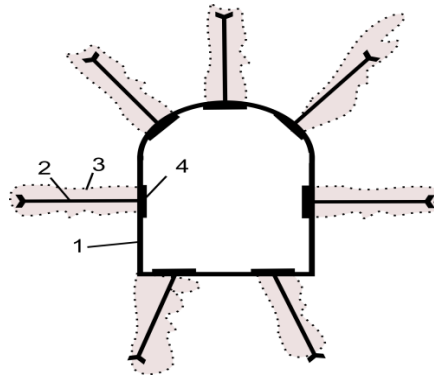


Рис. 1. Конструкция крепи выработки-канала теплообменника: 1 – контур выработки; 2 – анкер из теплопроводящего материала; 3 – закрепляющий состав; 4 – шайба-радиатор.

Для обеспечения наилучшей теплопередачи из глубины массива к контуру горной выработки необходимо максимально снизить негативное влияние техногенной трещиноватости горных пород вблизи поверхности канала. Искусственное увеличение коэффициента теплопроводности ( $\lambda_r$ ) трещиноватых горных пород возможно в случае, когда открытые макротрещины заполняют способным отвердевать составом (т.е. уменьшать пористость среды), имеющим  $\lambda_r$  большую, чем вода. Такими характеристиками обладает суспензия бентонитовой глины  $0,7 < \lambda_r < 0,98$ . Особенно увеличивает значение коэффициента теплопроводности добавление в суспензию тонкодисперсного порошка графита, имеющего уникальный показатель  $116 < \lambda_r < 174$ . Таким образом, нагнетание суспензии бентонитовой глины с графитом в окружающий выработку массив позволяет сократить негативное влияние техногенной и природной трещиноватости и обеспечить улучшение тепловых характеристик ШГТ. В этом случае теплопроводность обработанной породы существенно увеличивается, а соответственно возрастает мощность ШГТ.

**Постановка задачи исследований.** Целью данной работы является исследование зависимости коэффициента теплопроводности глино-графитной смеси от ее состава для подтверждения возможности применения этой смеси в качестве теплопроводящего раствора, что позволило бы повысить эффективность работы теплопроводящих анкеров.

**Методика исследований.** Для исследования и подтверждения возможности применения глино-графитной смеси в качестве теплопроводящего раствора был проведен ряд опытов.

Приготовление образцов осуществлялось в лаборатории с использованием пресса. На технических весах с ценой деления 0,05г взвешивали графитный порошок и бентонитовую глину для приготовления образцов с содержанием графита 0%, 5%, 10%, 15%, 20% (вес.).

После взвешивания компонентов проводили их смешивание. Завершающим этапом в приготовлении образцов являлось придание глино-графитной смеси формы таблеток диаметром 44 мм и толщиной 10мм и 15мм с помощью пресса. Масса образцов составила 30г и 40 г соответственно.

Проведение непосредственных измерений осуществлялось согласно ГОСТ 25493-82 [4]. Тепловые параметры образцов измеряли, подавая тепловые импульсы на один из торцов цилиндрического образца с плоскопараллельными основаниями, а временной сдвиг теплового импульса, связанный со скоростью распространения тепла в образце изучали на другом торце. В установке реализован метод одиночно-

го короткого импульса с известной длительностью  $\tau$  и фиксированной величиной теплового импульса  $Q$  (рис. 2).

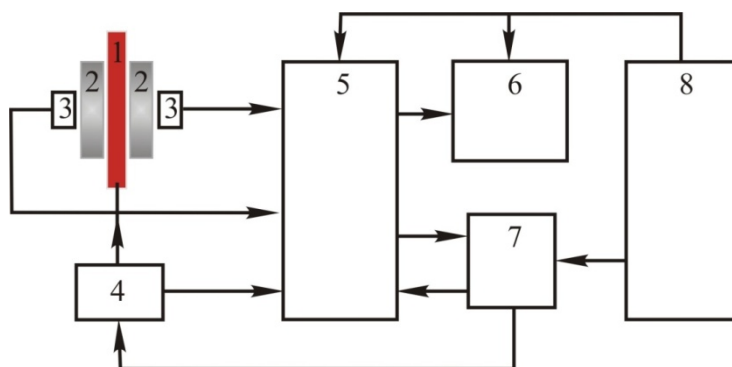


Рис. 2 - Структурная схема установки для исследования тепловых свойств: 1 – нагреватель; 2 – образцы горных пород; 3 – датчики температуры «холодных» торцов; 4 – блок управления током нагревателя; 5 – процессор; 6 – дисплей; 7 – вторичный источник питания; 8 – первичный источник питания.

Выполнение измерений с помощью установки производилось в строго определенной последовательности.

1. Измерение геометрических размеров и веса образцов.

2. Включение установки в сеть нажатием клавиши «Power». При достижении номинального напряжения, контроллер разрешает установке начать цикл автоматических измерений.

3. Начало цикла измерений отмечается показаниями информационной строки. В строке показываются данные о текущей величине теплового импульса. По окончании теплового импульса появляется сообщение о величине теплового импульса в джоулях ( $Q$ ) и длительности теплового импульса в секундах ( $\tau$ ). Величина и длительность теплового импульса несколько зависят от окружающей температуры, однако, в каждом цикле измерений они известны с достаточной точностью.

4. Через 30 – 60 секунд после появления сообщения о величине и длительности теплового импульса в верхней и нижней строках дисплея появляются сообщения о температурах холодных торцов образцов и интервалах времени между отсчетами температуры. В это время не следует ничего записывать, т.к. этот режим выполняется автоматически, а индикация служит лишь для сообщения о нормальной работе. Окончание этого режима работы индицируется сообщением «END CONV.», т.е. «Конец преобразований».

5. Нажимая необходимое число раз клавишу «ОПРОС ДАТЧИКОВ» на лицевой панели установки, необходимо записать порядковый номер измерения и результаты измерений температуры на холодных торцах образцов и время ( $t_i$ ), необходимое для нагревания холодных торцов образцов до каждого текущего значения температуры ( $T_i$ ).

6. Вычисление коэффициента теплопроводности проводилось по формуле:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \Delta l}{S \cdot \Delta t_m \cdot \Delta T}, \quad (1)$$

где  $L$  – толщина диска образца, м;  
 $S$  – площадь торца диска, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_m$  – время, за которое температура «холодного» торца диска достигнет максимума, с;

$\Delta T$  – максимальный перегрев «холодного» торца диска по отношению к равновесной температуре, °С.

**Результаты исследований.** Для подтверждения возможности применения глино-графитной смеси в качестве теплопроводящего состава было приготовлено более 40 образцов с различной концентрацией графитового порошка. Полученные коэффициенты теплопроводности представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Влияние содержания графита на величину коэффициента теплопроводности сухой глино-графитной смеси

Содержание графита в сухой глино-графитной смеси, $C_{гр}$ , % вес.	Коэффициент теплопроводности сухой глино-графитной смеси, $\lambda_{сх}$ , Дж/(м·°С)	Увеличение коэффициента теплопроводности сухой глино-графитной смеси, %
0	4,87	0
5	5,1	4,72
10	5,7	17,0
15	6,69	37,4
20	7,69	57,9

Кроме того, были проведены измерения коэффициента теплопроводности глино-графитной смеси в увлажненном состоянии. Для этого образцы помещались в эксикатор над поверхностью воды и выдерживались в нем до достижения максимальной степени водонасыщения, которая определялась по увеличению веса образца. Полученные коэффициенты теплопроводности увлажненной глино-графитной смеси представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние содержания графита на величину коэффициента теплопроводности увлажненной глино-графитной смеси

Содержание графита в увлажненной глино-графитной смеси, $C_{гр}$ , % вес.	Влажность глино-графитной смеси, $W_{см}$ , % .	Коэффициент теплопроводности увлажненной глино-графитной смеси, $\lambda_{вл}$ , Дж/(м·°С)	Увеличение коэффициента теплопроводности увлажненной глино-графитной смеси, %	Увеличение коэффициента теплопроводности увлажненной глино-графитной смеси относительно сухой, %
0	3,8	6,18	0	26,89
5	1,35	6,7	8,4	37,57
10	1,0	7,25	17,3	48,87
15	0,68	7,66	23,9	57,28
20	2,11	8,41	36,08	72,68

На рис.3 представлены зависимости коэффициента теплопроводности сухой и увлажненной глино-графитной смеси от концентрации графитового порошка.

При этом зависимость коэффициента теплопроводности сухой глино-графитной смеси описывается формулой:

$$\lambda_{\text{сух}} = 4,6723 \cdot e^{0,0237C_{\text{сп}}} \quad (2)$$

с коэффициентом парной корреляции  $|r|= 0,9674$ .

Зависимость коэффициента теплопроводности увлажненной глино-графитной смеси от содержания графита описывается формулой:

$$\lambda_{\text{вл}} = 6,1963 \cdot e^{0,015C_{\text{сп}}} \quad (3)$$

с коэффициентом парной корреляции  $|r|= 0,9953$ .

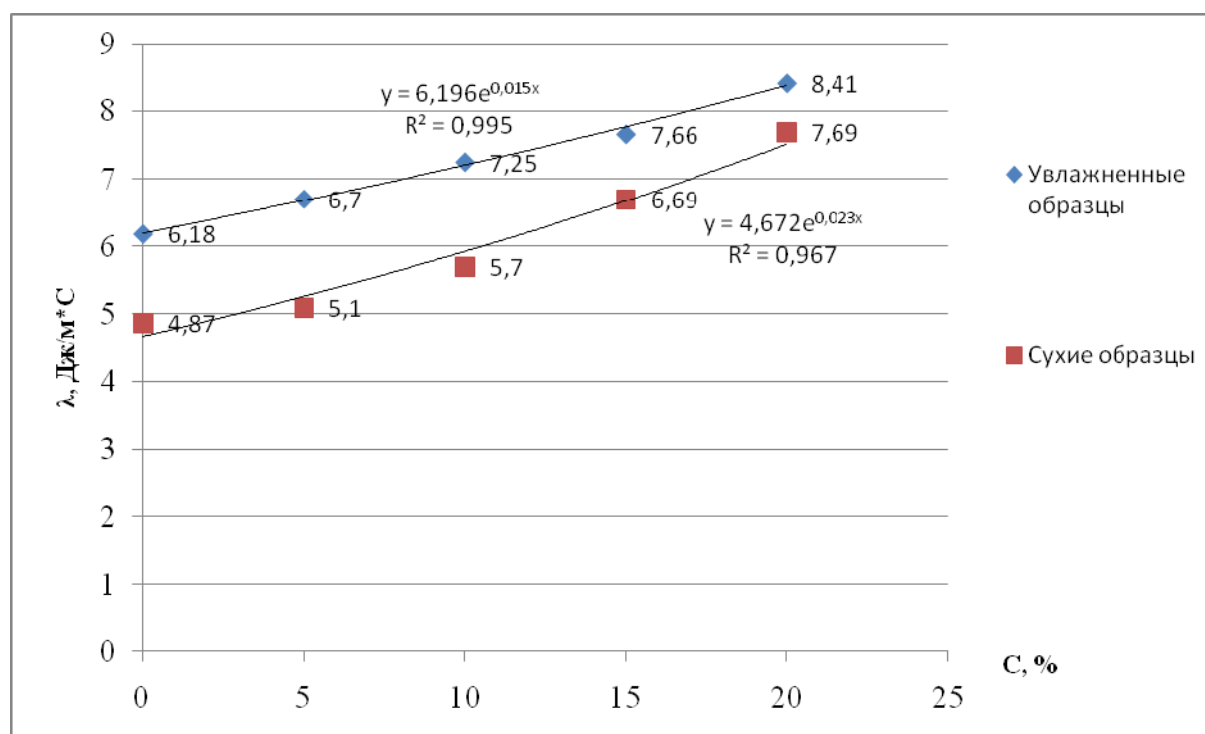


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности сухой и увлажненной глино-графитной смеси от концентрации графитового порошка.

**Выводы.** Таким образом, исходя из полученных данных, можно сделать вывод об увеличении коэффициента теплопроводности при увеличении содержания порошка графита в глино-графитной смеси. Для сухих смесей увеличение коэффициента теплопроводности составило 57,9 %, для увлажненных 72,68 %. Если учесть, что коэффициент теплопроводности породного массива находится в пределах  $0,91 < \lambda_n < 0,512$ , то использование глино-графитной смеси в качестве теплопроводящего состава позволит увеличить его теплопроводящие свойства более, чем в 10 раз, что позволит повысить эффективность работы теплопроводящих анкеров.

### Список использованной литературы

1. Дворов И.М. Геотермальная энергетика / И.М. Дворов. – М.: Наука, 1976. – 215 с.

2. Патент на винахід №82121 Україна МПК F24 J3/08, F03 G41/00. «Спосіб одержання геотермальної енергії» / Костенко В.К. Костенко О.В., Костенко Т.В. [Заявник і власник ДонНТУ]. – № u200603145; заявл. 03.04.2006; опубл. 11. 03. 2008, бюл. №5.

3. Патент на корисну модель № 70012 Україна, МПК E21D 13/00. Спосіб анкерного кріплення виробки / В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, С. Саліхерадж, О.С. Шипика [Заявник і власник ДонНТУ]. – № u201112926; заявл. 03.11.2011; опубл. 25.05.2012, бюл. №10.

4. ГОСТ 25493-82 Порода горные. Метод определения удельной теплоемкости и коэффициента температуропроводности.

*Надійшла до редакції 30.11.2012*

О.Л. Зав'ялова, А.С. Шипика, І.В. Скрінецкая

#### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНИХ АНКЕРІВ

Досліджено залежність коефіцієнта теплопровідності глино-графітної суміші від її складу для підтвердження можливості застосування цієї суміші в якості теплопровідного складу. Збільшення тепловіддачі породного масиву при використанні глино-графітної суміші дозволить підвищити ефективність роботи теплопровідних анкерів.

Ключові слова: геотермальна енергія, шахтний геотермальний теплообмінник, теплопровідні анкер, коефіцієнта теплопровідності, глино-графітна суміш.

H. Zavyalova, A. Shipika, I. Skrinetskaya

#### IMPROVING THE EFFICIENCY OF HEAT-ANCHORS

The dependence of the coefficient of thermal conductivity of clay-graphite mixture on its composition to confirm the applicability of this mixture as a heat conducting structure. Increase heat rock mass using clay-graphite mixture will improve the efficiency of heat-anchors.

Keywords: geothermal energy, coal geothermal heat exchanger, conductive glue, thermal conductivity, clay-Graphite mixture.