

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПАРАФИНОВ

И.О. Аймбетова¹, У.С. Сулейменов¹, Е.А. Хадзарагова², М.И. Алкацев²

¹ Международный Казахско-Турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
Туркестан, Казахстан, e-mail: science@ayu.edu.kz;

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), Владикавказ, Россия

Аннотация: Рассмотрены проблемы использования парафинов – побочных продуктов утилизации нефтяного сырья Казахстана в качестве теплоаккумулирующего материала для ограждающих конструкций зданий. Исследованы физико-химические свойства парафинов и их узкой фракции. На основе смешения товарных и жидких парафинов, а также смешения n-алканов получены теплоаккумулирующие материалы с температурой плавления 25 °С и изготовлены образцы для проведения испытаний. Изучены компонентный состав и физико-химические свойства разработанных теплоаккумулирующих материалов. Обоснована возможность получения теплоаккумулирующих материалов заданного свойства на основе жидких и твердых парафинов. Системно исследованы теплофизические свойства разработанных теплоаккумулирующих материалов. Выявлено, что стабильными теплофизическими характеристиками обладают материалы, полученные на основе смешения индивидуальных n-алканов. Показано, что сумма энтальпии плавления и фазового перехода в кристаллическом состоянии теплоаккумулирующих материалов на основе парафинов зависит: от ширины фракционного состава теплоаккумулирующих материалов и чистоты по содержанию n-алканов; от фракционного состава; от содержания числа четных и нечетных n-алканов и их соотношения. Исследована усадка разработанных теплоаккумулирующих материалов при кристаллизации и расширении при плавлении в зависимости от температуры. Получены зависимости усадки теплоаккумулирующих материалов от температуры и проанализированы их коэффициенты усадки от температуры.

Ключевые слова: парафины, теплоаккумулирующие материалы, теплоаккумуляция, теплотехнические свойства, энтальпия, фракция, фазовый переход, n-алканы.

Для цитирования: Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Хадзарагова Е.А., Алкацев М.И. Исследование теплофизических и эксплуатационных свойств теплоаккумулирующих материалов на основе парафинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11-1. – С. 6–17. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-6-17.

Thermophysical properties and performance characteristics of paraffin heat-accumulating materials

I.O. Aimbetova¹, U.S. Suleimenov¹, E.A. Khadzaragova², M.I. Alkatsev²

¹ Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, e-mail: science@ayu.edu.kz

² North Caucasian Institute of mining and metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Abstract: The article deals with the problems of using paraffins-by-products of utilization of oil raw materials of Kazakhstan as a heat-accumulating material for fencing structures of buildings. Physical and chemical properties of paraffins and their narrow fraction are investigated. On the basis of mixing commodity and liquid paraffins, as well as mixing n-alkanes, heat-accumulating materials with a melting point of 250C were obtained and samples were made for testing. The component composition and physical and chemical properties of the developed heat storage materials are investigated. The possibility of obtaining heat-accumulating materials of a given property based on liquid and solid paraffins is justified. The thermophysical properties of the developed heat storage materials are systematically investigated. It was found that materials obtained by mixing individual n-alkanes have stable thermophysical characteristics. It is shown that the sum of the melting enthalpy and phase transition in the crystal state of heat-accumulating materials based on paraffins depends on the width of the fractional composition of heat-accumulating materials and the purity of the n — alkane content; from the fractional composition; from the content of the number of even and odd n-alkanes and their ratio. The shrinkage of the developed heat-accumulating materials during crystallization and expansion during melting, depending on the temperature, is investigated. The dependence of shrinkage of heat-accumulating materials on temperature is obtained and their shrinkage coefficients on temperature are analyzed.

Key words: paraffins, heat storage materials, heat storage, heat engineering properties, enthalpy, fraction, phase transition, n-alkanes.

For citation: Aimbetova I.O., Suleimenov U.S., Khadzaragova E.A., Alkatsev M.I. Thermophysical properties and performance characteristics of paraffin heat-accumulating materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):6-17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-6-17.

Введение

Вентиляционные стволы подземных рудников не имеют систем тепловой защиты от зимних холодов, поэтому в этот период года требуется обогрев вентиляционного ствола в реверсивном режиме проветривания рудника.

Строительство вспомогательной калориферной установки для обогрева вентиляционного ствола сопря-

жено с большими затратами, поэтому для поддержания плюсовой температуры вентиляционного ствола в реверсивном режиме проветривания применяют теплоизоляционные материалы, которые предохраняют крепь ствола от промерзания.

В обычном режиме проветривания вентиляционный ствол обогревается с одной стороны тепловой энергией

горного массива, с другой — теплом исходящей из рудника струи отработанного воздуха, поэтому угрозы замерзания ствола не существует.

В случае же реверсирования режима проветривания рудника в зимний период поступление холодного воздуха в ствол без подогрева вызывает деформацию крепи. Если в полости проникает вода, после ее замерзания деформации могут стать критическими для несущей способности.

Воздух, поступающий в подземные горные выработки, должен иметь температуру не менее +2 °С. Для обеспечения этого требования мощность калориферной установки рассчитывается с запасом на температуру +5 °С стволе.

При проектировании проветривания рудников находят разумный компромисс между обеспечением безопасных микроклиматических условий в вентиляционном стволе, мощностью калориферной установки и характеристиками конструкций ствола.

Использование главной системы воздухоподготовки для обогрева вентиляционного ствола при реверсировании в холодный период года позволяет обеспечить необходимые микроклиматические параметры воздуха в стволе путем использования инновационных теплоизоляционных материалов. При максимально возможной производительности главной вентиляционной установки калориферная установка в комбинации с такими материалами обеспечивает в вентиляционном стволе необходимую температуру воздуха.

Использование тепловой энергии главной системы воздухоподготовки для обогрева вентиляционного ствола при реверсировании в холодный период года позволяет обеспечить безопасные микроклиматические условия, не ограничивая допустимое время реверсиро-

вания. В реверсивном режиме проветривания рудника тепловая мощность системы воздухоподготовки возрастает.

По экономическим соображениям для горной промышленности Казахстана приоритетно использование теплоизоляторов местного производства, что обусловило поиски технологии их изготовления и применения на основе казахстанского нефтяного техногенного сырья, состоящего из более 380 товарных продуктов [1–3].

Побочные продукты нефтяного техногенного сырья, такие, как парафин, можно использовать в качестве фазо-переходного теплоаккумулирующего материала конструкций, инертного к металлам и со стабильными теплотехническими свойствами. Строительная промышленность, являющаяся основным потребителем материальных и энергетических ресурсов, имеет перспективу разработки инновационных энергосберегающих и термически эффективных строительных материалов [4, с. 109; 5, с. 192].

Обзор ситуаций применения материалов с фазовым изменением в строительстве и горном деле рассмотрены в таких аспектах, как изменение фазы, теплофизические свойства материалов и эффективность их применения [6, с. 22; 7, с. 70].

Материалы с изменением фазы для хранения тепловой энергии являются потенциальными из-за их тепловой массы и теплового комфорта. Материалы для скрытого хранения тепла обладают чрезвычайно высокой плотностью хранения энергии, чем обычные [8, с. 129].

Авторы статьи считают, что необходимо использовать парафины в качестве теплоаккумулирующего материала для ограждающих конструкций зданий на основе отходов промышленного

производства (узких фракции товарных парафинов) с температурой фазового перехода до 25 °С и повышенной теплоемкостью для использования в качестве покрытий или строительных конструкций в комплексе крепления шахтных вентиляционных стволов.

Литературный обзор показал, что более предпочтительными с точки зрения теплофизических свойств, эксплуатационных характеристик, доступности, коррозионной активности к конструкционному материалу являются твердые и жидкие парафины.

Методы исследования. Известно, что товарные парафины обладают высокой молекулярной дисперсностью и не имеют постоянного состава. Это приводит к нестабильности свойств материалов, в которые вводят парафиновые композиции. Фракционный состав зависит как от технологии получения парафинов, так и от состава нефти, из которой они получены. Естественно, свойства парафинов зависят от их фракционного состава.

Для установления состава парафинов и выделения легкоплавких фракции из него использован метод, основанный на последовательной экстракции фракций растворителями или их смесями, отличающимися по параметрам растворимости [9, с. 70]. С использованием разработанного метода проведено фракционирование товарного парафина и выделение фракции с низкой температурой плавления.

Описание материалов. Точный фракционный состав твердых парафинов определен газохроматографическим анализом на газовом хромато-масс-спектрометре GGMS-QP 2010Ultra, а жидких парафинов на жидкостном хроматографе LC-20P (Япония) на базе Испытательной региональной лаборатории инженерного профиля «Конструкционные и биохимические материалы» ЮКГУ им. М. Ауэзова.

Согласно разрабатываемой методике получения теплоаккумулирующих материалов для ограждающих конструкций зданий с требуемыми теплофизическими характеристиками возможно смешивание жидкого и твердого парафина.

В связи с этим в качестве исходного жидкого парафина использован парафин нефтяной жидкий марки А по СТП ТУ КОМП 2–760–16, состав которого исследовали методами ИК-спектроскопии на Фурье – спектрометре IRPrestige-21 на базе Испытательной региональной лаборатории инженерного профиля «Конструкционные и биохимические материалы» ЮКГУ им. М. Ауэзова (рис. 1).

ИК-спектры парафинов с четным числом атомов углерода согласно рис. 1 имеют интенсивные полосы около 1462 см⁻¹ (от С4 до С14) и 1029 см⁻¹ (С6 и высшие углеводороды). Причем интенсивная полоса видна при 730 см⁻¹, соответствующая деформационным колебаниям группы СН₂ в парафиновых цепях. Более раскрытая ИК-спектрограмма показана на рис. 2.

Как видно из рис. 2 внеплоскостные деформационные колебания СН свидетельствуют о присутствии ароматических соединений [10].

Результаты исследований. На первом этапе исследования подготовлено по три образца ТАМ одного состава согласно табл. 1.

В соответствии с методикой получения ТАМ с заданными эксплуатационными свойствами ископаемый материал будет получен подбором фракционного состава ТАМ путем смешения твердого и жидкого парафинов.

На каждом этапе исследования образца ТАМ будут определяться его температура плавления и фракционный состав.

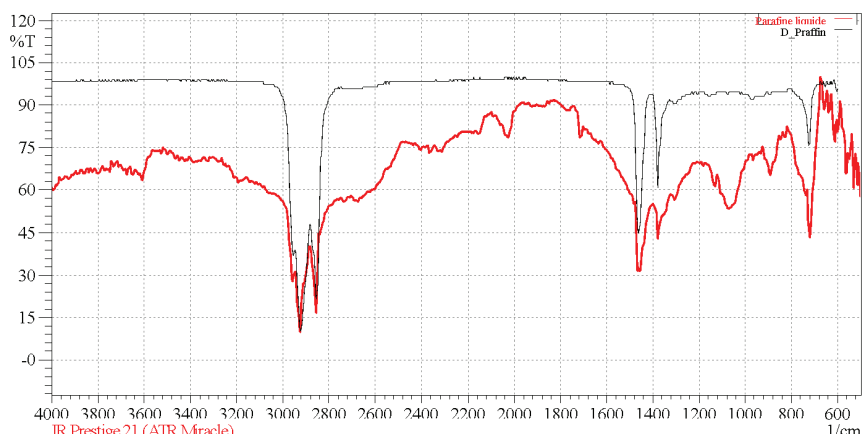


Рис. 1. ИК-спектрограммы жидкого нефтяного парафина
 Fig. 1. Infra red spectrograms of liquid petroleum paraffin

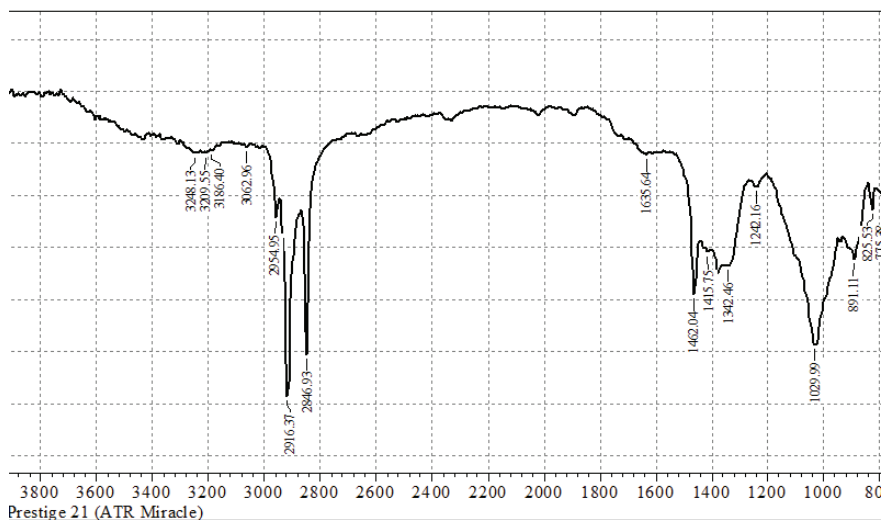


Рис. 2. ИК-спектры жидкого парафина
 Fig. 2. IR-spectra of liquid paraffin

Таблица 1

Массовые доли жидкого и твердого парафина в исследуемом составе теплоаккумулирующего материала

Mass fractions of liquid and solid paraffin in the studied composition of the heat storage material

Исходный товарный парафин	Массовая доля исходных парафинов в ТАМ, % масс									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жидкий парафин по СТП ТУ КОМП 2 – 760 – 16	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Парафин марки Т-2 по ГОСТ 23683 – 89	85	84	83	82	81	79	78	77	76	75

Плотность и кинематическая вязкость разработанного теплоаккумулирующего материала определяются по ГОСТ 3900–85 и ГОСТ 33–2000 соответственно.

Сумму энтальпии плавления и фазового перехода теплоаккумулирующих материалов и *n*-алканов можно определять по нижеприведенным формулам:

Для четных *n*-алканов:

$$\Delta H = \frac{4093n - 11733,3}{14n + 2} \quad (1)$$

для нечетных *n*-алканов:

$$\Delta H = \frac{4093(n - 1) - 11733,3}{14n + 2} \quad (2)$$

где *n* – среднее число атомов углерода в молекуле *n*-алкана или теплоаккумулирующего материала.

Теплопроводность теплоаккумулирующего материала будет определена на аппарате ИТ-λ-400.

На первом этапе температуру плавления смеси парафинов предварительно определяют расчетом с последующим уточнением экспериментально по ГОСТ 4255–75.

Усадку смеси парафинов и ТАМ определяют в стеклянном dilatометре, который представляет собой стеклянный шарик с капилляром. Капилляр тщательно тарируется. В dilatометр вводят навеску исследуемого ТАМ и помещают в водяную баню, которую нагревают или охлаждают со скоростью 1°C/мин. Усадку ТАМ определяют по изменению объема навески. По результатам замеров строится график зависимости скорости усадки от температуры $f = (\Delta V / \Delta t)$.

Определение содержания ароматических углеводородов производится по ГОСТ 27808–88. Так как растворимость капельной воды в парафине очень низка, содержание капельной воды в теплоаккумулирующем матери-

але определяется визуально. Капельная вода в теплоаккумулирующем материале отстаивается в лабораторной посуде. Содержание растворенной влаги выше 0,001 % масс определялись по потрескиванию ТАМ при нагреве до температуры 100 °С. При этом смесь парафина начинает трескаться и пениться.

Стабильность свойств теплоаккумулирующего материала определяется путем выдержки длительного времени ряда герметичных емкостей с ТАМ при температуре не выше температуры плавления. Такое повышение температуры эквивалентно ускорению процесса окисления в 40–50 раз. Отбор проб производится каждые 2 месяца, определяются теплофизические свойства и сравниваются с предыдущими данными испытаний.

Важной эксплуатационной характеристикой ТАМ является количество рабочих циклов плавления и кристаллизации, которые определялись их многократной тепловой обработкой [11, с. 2; 12, с. 77]. Для этого теплоаккумулирующий материал помещают в пробирки. Далее пробирки с ТАМ опускают в водяную ванну с температурой 80–85 °С (на 60 °С выше температуры плавления) на время 1 час для его расплавления. Затем пробирки помещают в ванну с температурой на 15–20 °С (на 5 °С ниже температуры плавления) на 1 час для кристаллизации ТАМ. Разработанный ТАМ испытывали свыше 1000 циклов расплавления – кристаллизации. Далее теплофизические свойства ТАМ анализировались, образцы визуально осматривались и сравнивались температуры плавления, оценивалась стабильность и обратимость температуры плавления. По методике, описанной выше, была определена температура плавления образцов теплоаккумулирующего материала

соответствующего состава. Определено среднее значение температуры плавления и сравнено с требуемой температурой эксплуатации ограждающей конструкций. Оценены стабильность и обратимость температуры плавления. По значениям температур плавления, находящихся в пределах требуемой температуры эксплуатации, отобраны образцы ТАМ для дальнейших исследований теплофизических и эксплуатационных свойств.

На втором этапе исследования были изучены состав, физико-химические и теплофизические свойства разработанных теплоаккумулирующих материалов. По результатам исследования отобраны составы ТАМ с оптимальными физико-химическими и теплофизическими свойствами.

В качестве теплоаккумулирующего материала в крепи шахтных стволов можно использовать индивидуальные *n*-алканы или их смеси [13, с. 124]. Воспользуемся основными справоч-

ными теплотехническими свойствами индивидуальных *n*-алканов от $C_{14}H_{30}$ до $C_{24}H_{50}$, входящих в состав товарных жидких и твердых парафинов в соответствии с таблицей 2 [14, 15].

По табл. 2 по температуре плавления индивидуальных *n*-алканов выбраны *n*-алканы: $C_{16}H_{34}$ с температурой плавления $-18,2\text{ }^{\circ}C$ и $C_{18}H_{38}$ с температурой плавления $-20\text{ }^{\circ}C$. Сравнение газохроматографических составов разработанных ТАМ (таблица 3) показывают, что теплоаккумулирующий материал ТАМ-25 – 3, полученный смешением твердого и жидкого парафина, имеет более широкий фракционный состав и более высокомолекулярные *n*-алканы от $C_{15}H_{32}$ до $C_{23}H_{48}$, общее количество которых составляет 90,39 %.

Полученные теплоаккумулирующие материалы ТАМ-25 не содержат кислых и щелочных компонентов, не вызывают коррозию, а содержание серы в них не превышает 0,0002 % по массе.

Таблица 2

Основные теплотехнические свойства индивидуальных *n*-алканов от $C_{14}H_{30}$ до $C_{24}H_{50}$
Basic thermal properties of individual *n*-alkanes from $C_{14}H_{30}$ to $C_{24}H_{50}$

Н-алкан	Молекулярная масса	Температура, $^{\circ}C$		Суммарная теплота плавления и фазового перехода, Дж/г	Плотность в жидком состоянии, $кг/м^3$
		плавления	фазового перехода		
$C_{14}H_{30}$	198,2	5,9	-	205,2	712,7
$C_{15}H_{32}$	212,4	9,9	-2,3	206,8	719,2
$C_{16}H_{34}$	226,4	18,2	16,2	212,7	725,0
$C_{17}H_{36}$	240,5	21,7	10,5	212,7	730,0
$C_{18}H_{38}$	254,5	28,0	27,3	214,4	734,0
$C_{19}H_{40}$	268,5	32,0	22,8	214,4	739,0
$C_{20}H_{42}$	282,5	36,7	36,2	218,1	738,0
$C_{21}H_{44}$	296,6	40,3	32,5	219,8	746,8
$C_{22}H_{46}$	310,6	44,5	43,0	221,9	748,8
$C_{23}H_{48}$	324,6	47,4	40,5	221,5	753,1
$C_{24}H_{50}$	338,6	50,8	48,1	221,9	756,2

Таблица 3

Данные по компонентному составу ТАМ-25-1 и ТАМ-25-2 (по результатам газохроматографического анализа)

Data on the component composition of HSM-25-1 and HSM-25-2 (based on the results of gas chromatographic analysis)

Н-алканы	Значение, %					
	образец 1		образец 2		образец 3	
	ТАМ-25-1	ТАМ-25-2	ТАМ-25-1	ТАМ-25-2	ТАМ-25-1	ТАМ-25-2
$C_{16}H_{34}$	0,95	0,95	0,94	0,96	0,93	0,95
$C_{17}H_{36}$	42,9	43,4	42,8	43,14	43,9	43,3
$C_{18}H_{38}$	52,7	2,71	52,8	2,36	52,7	2,62
$C_{19}H_{40}$	0,83	50,8	0,86	50,61	0,83	50,59
Массовая доля воды, не более, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Массовая доля кислот на пересчете HCl , не более, %	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Массовая доля твердых примесей, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Массовая доля предельных углеводородов, %, не более	97,38	97,86	97,4	97,07	97,38	97,46

Важной характеристикой теплоаккумулирующего материала является температура плавления и фазового перехода. Для определения температуры плавления разработанных ТАМ по ГОСТ-4255 – 75 пробы исследуемого ТАМ охлаждали в морозильной камере. Охлажденный теплоаккумулирующий материал тщательно перемешивали и заливали в охлажденный прибор Жукова. После того как расплавленный продукт переходил в кристаллическое состояние, температуру плавления определяли при комнатных значениях.

Для смесей н-алканов (ТАМ-25 – 1 и ТАМ-25 – 2) или парафинов (ТАМ-25 – 3) расчетным способом определить температуру плавления смеси по температурам плавления отдельных компонентов невозможно. При разности температур плавления отдельных компонентов теплоаккумулирующего материала, составляющих до 10 °С,

наблюдается аддитивность (среднеарифметичность) температуры плавления, а при температурах выше 25 °С среднеарифметического не наблюдается.

Обсуждение результатов исследования. Результаты сравнения температур плавления и фазового перехода, представленные в табл. 4, показывают, что более стабильные значения температур плавления наблюдаются в теплоаккумулирующих материалах ТАМ-25 – 1 и ТАМ-25 – 2, полученных смешением индивидуальных н-алканов. Интервал температур плавления и фазового перехода составил 3 – 4 °С для ТАМ-25 – 1 и ТАМ-25 – 2, и 7 – 9 °С – для ТАМ-25 – 3. Высокие значения интервала температур плавления и фазового перехода в ТАМ-25 – 3 объясняются широким фракционным составом полученного материала. Учитывая такую разницу температур выделения тепла при охлаждении и поглощении тепла при нагреве

Таблица 4

Физико-химические свойства ТАМ-25-1, ТАМ-25-2, ТАМ-25-3
Physical and chemical properties of HSM-25-1, HSM-25-2, HSM-25-3

Показатель	Значение		
	образец 1 ТАМ-25-1/ ТАМ- 25-2/ ТАМ-25-3	образец 2 ТАМ-25-1/ ТАМ- 25-2/ ТАМ-25-3	образец 3 ТАМ-25-1/ ТАМ- 25-2/ ТАМ-25-3
Температура плавления, °С	23-25/24-26/22-26	23-25/24-25/22-25	23-24/24-26/23-26
Температурные пределы плавления и фазового перехода, °С	3-4/3-4/7-9	3-4/3-4/7-8	3-4/3-4/7-9
Плотность, г/см ³	0,79/0,80/0,79	0,78/0,81/0,78	0,78/0,81/0,79
Температура кипения, °С начало: конец	243/244/186 314/314/320	241/243/188 313/313/321	242/244/188 313/315/321

ТАМ, при выборе теплоаккумулирующего материала следует температуру плавления выбирать по температуре эксплуатации. Для ограждающих конструкций зданий, согласно работе [16, с. 224], температуру плавления следует принять равной $\pm(5-7)$ °С, основываясь на допускаемых температурах воздуха в помещении.

Результаты проведенных исследований физико-химических свойств ТАМ приведены в таблице 4.

Результаты исследования представляют интерес при изготовлении теплоаккумулирующего состава для покрытия крепи и армировки шахтных вентиляционных стволов [17, 18].

Технология нанесения покрытия на крепь ствола аналогична технологии нанесения бетонной или торкрет-бетонной крепи и в детализации не нуждается. Использование новых материалов является этапом реали-

зации программ утилизации отходов собственного и смежных производств в горной отрасли [19–21].

Заключение

Разработанные на основе индивидуальных n-алканов в теплоаккумулирующем материале позволяют получить состав, подходящий для использования в качестве теплоаккумулирующих материалов для крепи и армировки шахтных вентиляционных стволов. Экономическая эффективность заявляемой композиции обусловлена ее малой компонентностью, использованием доступного исходного сырья и низкой себестоимостью. Кроме того, относительно высокая теплота фазового перехода позволяет использовать данный состав в качестве теплоаккумулирующего материала, работающего в сложных условиях с повышенной надежностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егорова Е.В., Ключев Р.В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Оценка использования эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы нефтегазового комплекса // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. — № 3. — С. 392–403.

2. Юн Р.Б., Босиков И.А., Ключев Р.В., Дзеранов Б.В. Оценка перспектив нефтегазоносности территорий Северного Кавказа и Казахстана с помощью структурно-гео-

динамических предпосылок // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — № 2. — С. 172—178.

3. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джекказганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — № 3. — С. 321—330.

4. Cheng F., Wen R., Huang Zh. Preparation and analysis of lightweight wall material with expanded graphite (EG)/paraffin composites for solar energy storage // Applied Thermal Engineering, 2017, vol. 120 pp. 107—114. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.03.129.

5. Serrano S., Barreneche C., Fernandez A.I. Composite gypsum containing fatty-ester PCM to be used as constructive system: Thermophysical characterization of two shape-stabilized formulations // Energy and Buildings. 2015, vol. 86, pp. 190—193. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.015.

6. Cui Y., Xie, Jingchao; Liu, Jiaping; et al. A review on phase change material application in building // Advances In Mechanical Engineering, 2017, vol. 9 (6), pp. 22—45. DOI: 10.1177 / 1687814017700828.

7. Sharma A. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009, vol. 13, pp. 318—345. DOI: 10.1016/j.rser.2007.10.005.

8. Переверзев А.Н., Калиниченко А.Ю., Овчаров С.Н. Исследование усадки теплоаккумулирующих материалов, полученных смешением индивидуальных n-алканов и фракций жидких парафинов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Приложение № 2. — 2004. — С. 129—130.

9. Терешко А.Е., Голиков И.В., Индейкин Е.А., Краснобаева В.С. Фракционирование парафиновых углеводородов // Химия и химическая технология. — 2006. — Т. 49 (3). — С. 69—71.

10. Eraky M.T., Zubov D.V., Krysanov K.S. Investigation of inverse kinematics software program of KUKA manipulator robot and creation of optimal trajectory control for quality evaluation within chemical production lines // International Journal of Engineering Research and Technology. 2018, vol. 11, № 12, pp. 2135—2158.

11. Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Калшабекова Э.Н., Риставлетов Р.А. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов, применяемых в строительстве // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 12. — С. 1—6.

12. Кобелев Н.С., Котенко Э.В., Умеренков Е.В. Решение задачи отвода теплоты от затвердевающего теплоаккумулирующего материала (ТАМа) // Известия Курского государственного технического университета. — 2010. — № 1(30). — С. 77—80.

13. Левина Ю.С., Усачев С.М., Усачев А.М. Получение энергосберегающих строительных материалов на основе традиционного сырья и теплоаккумулирующих добавок // Международный научно-исследовательский журнал. — 2018. — № 4 (46). — С. 124—126.

14. Babaev B.D. Principles of Heat Accumulation and Heat-Accumulating Materials in Use // High Temperature, 2014, vol. 52(5), pp. 736—751.

15. Снежкин Ю.Ф., Михайлик В.А., Коринчевская Т.В. Удельная теплоемкость и теплопроводность теплоаккумулирующих материалов на основе парафина, буроугольного и полиэтиленового восков // Problemele Energeticii Regionale. Termo Energetica. 2014, vol. 2(25), pp. 38—46.

16. Хатина Е.В. Динамическая теплоизоляция ограждающих конструкций зданий // Ползуновский Вестник. — 2011. — № 1. — С. 224—228.

17. Цидаев Б.С., Логачев А.В., Голик В.И. Повышение рентабельности добычи нефти путем диверсификации технологий // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 98—104.

18. Гиясов А.А., Тускаева З.Р., Гиясова И.В. Использование особенностей сложного рельефа для устойчивого развития горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 558–565.

19. Голик В.И., Комащенко В.И., Страданченко С.Г., Масленников С.А. Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля // Горный журнал. 2012. № 9. С. 91–95.

20. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Каргинов К.Г. Основа устойчивого развития РСО-Алания – горнодобывающая отрасль // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9. № 2 (32). С. 163–171.

21. Голик В.И., Габараев О.З., Качурин Н.М., Стась Г.В. Влияние режима подготовки вяжущей добавки при изготовлении бетонов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. – № 3. – С. 315–320. **ИВАС**

REFERENCES

1. Egorova E.V., Klyuev R.V., Bosikov I.I., Cidaev B.S. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. no. 3. pp. 392–403. [In Russ]

2. Yun R.B., Bosikov I.A., Klyuev R.V., Dzeranov B.V. The petroleum potential estimation of the north Caucasus and Kazakhstan territories with the help of the structural geodynamic prerequisites. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. no. 2. pp. 172–178. [In Russ]

3. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Majer A.V. Complex analysis of genetic features of mineral substance and technological properties of useful components of Dzhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. no. 3. pp. 321–330. [In Russ]

4. Cheng F., Wen R., Huang Zh. Preparation and analysis of lightweight wall material with expanded graphite (EG)/paraffin composites for solar energy storage. *Applied Thermal Engineering*, 2017, vol. 120 pp. 107–114. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.03.129.

5. Serrano S., Barreneche C., Fernandez A.I. Composite gypsum containing fatty-ester PCM to be used as constructive system: Thermophysical characterization of two shape-stabilized formulations. *Energy and Buildings*. 2015, vol. 86, pp. 190–193. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.015.

6. Cui Y., Xie, Jingchao; Liu, Jiaping; et al. A review on phase change material application in building. *Advances In Mechanical Engineering*, 2017, vol. 9 (6), pp. 22–45. DOI: 10.1177 / 1687814017700828.

7. Sharma A. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, vol. 13, pp. 318–345. DOI: 10.1016/j.rser.2007.10.005.

8. Pereverzev A.N., Kalinichenko A.Yu., Ovcharov S.N. A study of the shrinkage of the heat storage material obtained by the mixture of individual n-alkanes and fractions of liquid paraffin. *Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki*. Prilozhenie no. 2. 2004. pp. 129–130. [In Russ]

9. Tereshko A.E., Golikov I.V., Indejkin E.A., Krasnobaeva V.S. Fractionation of paraffin hydrocarbons. *Himiya i himicheskaya tekhnologiya*. 2006. T. 49 (3). pp. 69–71. [In Russ]

10. Eraky M.T., Zubov D.V., Krysanov K.S. Investigation of inverse kinematics software program of KUKA manipulator robot and creation of optimal trajectory control for quality evaluation within chemical production lines. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2018, vol. 11, no. 12, pp. 2135–2158.

11. Ajmbetova I.O., Sulejmenov U.S., Kambarov M.A., Kalshabekova E.N., Ristavletov R.A. Thermophysical properties of phase-shifting heat-accumulating materials used in construction. *Advances in current natural sciences. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. no. 12. S. 1–6. [In Russ]

12. Kobelev N.S., Kotenko E.V., Umerenkov E.V. Solution of the problem of heat removal from the solidifying heat storage material (HSM). *Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. no. 1(30). pp. 77–80. [In Russ]

13. Levina Yu.S., Usachev S.M., Usachev A.M. Obtaining energy-saving building materials based on traditional raw materials and heat storage additives. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2018. no. 4 (46). S. 124–126. [In Russ]
14. Babaev B.D. Principles of Heat Accumulation and Heat-Accumulating Materials in Use. *High Temperature*, 2014, vol. 52(5), pp. 736–751.
15. Snezhkin Yu.F., Mihajlik V.A., Korinchevskaya T.V. Specific heat capacity and thermal conductivity of heat-accumulating materials based on paraffin, brown-coal and polyethylene waxes. *Problemele Energeticii Regionale. Termo Energetica*. 2014, vol. 2(25), pp. 38–46. [In Russ]
16. Hatina E.V. Dynamic insulation of buildings and constructions. *Polzunovskij Vestnik*. 2011. no. 1. pp. 224–228. [In Russ]
17. Cidaev B.S., Logachev A.V., Golik V.I. Profitability increase for oil production by diversification of technologies. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. T. 11. no. 1. pp. 98–104. [In Russ]
18. Giyasov A.A., Tuskaeva Z.R., Giyasova I.V. Complex landscapes peculiarities use for sustainable development of mountain territories. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 4. pp. 558–565. [In Russ]
19. Golik V.I., Komashchenko V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Improving the completeness of the use of mineral resources through the deep utilization of coal enrichment waste. *Gornyj zhurnal*. 2012. no. 9. pp. 91–95. [In Russ]
20. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov K.G. The basis of sustainable development of North Ossetia-Alania is the mining industry. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. T. 9. no. 2 (32). pp. 163–171. [In Russ]
21. Golik V.I., Gabaraev O.Z., Kachurin N.M., Stas' G.V. Influence of the mode of preparation of cementitious additive in the manufacture of concrete. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. T. 11. no. 3. pp. 315–320. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аймбетова Индира Оразгалиевна¹ — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, science@ayu.edu.kz;

Сулейменов Уланбатор Сейтказиевич¹, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры;
Хадзарагова Елена Александровна², д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры;
Алкацев Михаил Иосифович², д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры;

¹ Международнйй Казахстанско-Турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави;

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).

Для контактов: Аймбетова И.О., e-mail: science@ayu.edu.kz.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aimbetova I.O.¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: science@ayu.edu.kz.

Suleimenov U.S.¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor.

Khadzaragova E.A.², Dr. Sci. (Eng.), Professor.

Alkatsev M.I.², Dr. Sci. (Eng.), Professor.

¹ Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, 161200, Turkestan, Kazakhstan,

² North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Russia.

Corresponding author: I.O. Aimbetova, e-mail: science@ayu.edu.kz.

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 28.06.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 26.05.2020; received after the review 28.06.2020; accepted for printing 10.10.2020.