

Определение параметров и разработка конструкции сливного резервуара установки для гидрофобизации шлакового щебня с погружным нагревателем

¹*КУНАЕВ Вячеслав Александрович, к.т.н., и.о. доцента, зав. кафедрой, kunaev91@list.ru,

²ТИМУХИНА Елена Николаевна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, ETimuhina@usurt.ru,

³ГЕОРГИАДИ Иван Владимирович, директор,

¹Карагандинский индустриальный университет, Казахстан, 101400, Темиртау, пр. Республики, 30,

²Уральский государственный университет путей сообщения, Россия, 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,

³ТОО «Имсталькон-Темиртау», Казахстан, 101403, Темиртау, пр. Мира, 1А,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье представлена конструкция установки для гидрофобизации шлакового щебня. Обоснована необходимость ее совершенствования для обеспечения ее работы при отрицательной температуре на открытом воздухе и в неотапливаемых помещениях. Выполнен расчет мощности погружного нагревателя, теплотеря и других параметров, позволивших определить требования к характеристикам погружного нагревателя. По установленным требованиям выбран нагреватель модели НФв 12-2-3х-н. Представлены чертеж и 3D-модель сливного резервуара с установленным погружным нагревателем.

Ключевые слова: шлаковый щебень, гидрофобизация, доменный шлак, погружной нагреватель, водоотталкивающий состав.

Введение

Доменный шлак, образующийся при производстве чугуна, представляет собой твердый отход, имеющий большое количество внутренних и внешних пор [1]. Одним из направлений его переработки является его использование в качестве дорожно-строительного шлакового щебня, при устройстве дорожных оснований. Однако дороги, построенные на основе такого материала, зачастую преждевременно разрушаются. Основной причиной этого является пористость доменного шлака. Влага, впитываемая порами шлакового щебня в летний период, замерзает зимой, и при расширении разрушает зерна шлака и дорогу, построенную на его основе.

Решить эту проблему можно, например, путем гидрофобизации материала – его пропитки водоотталкивающим составом, например, отработанным моторным маслом. Возможные варианты реализации обработки шлакового щебня этим способом описаны в работах [2-5] и др.

Теория вопроса

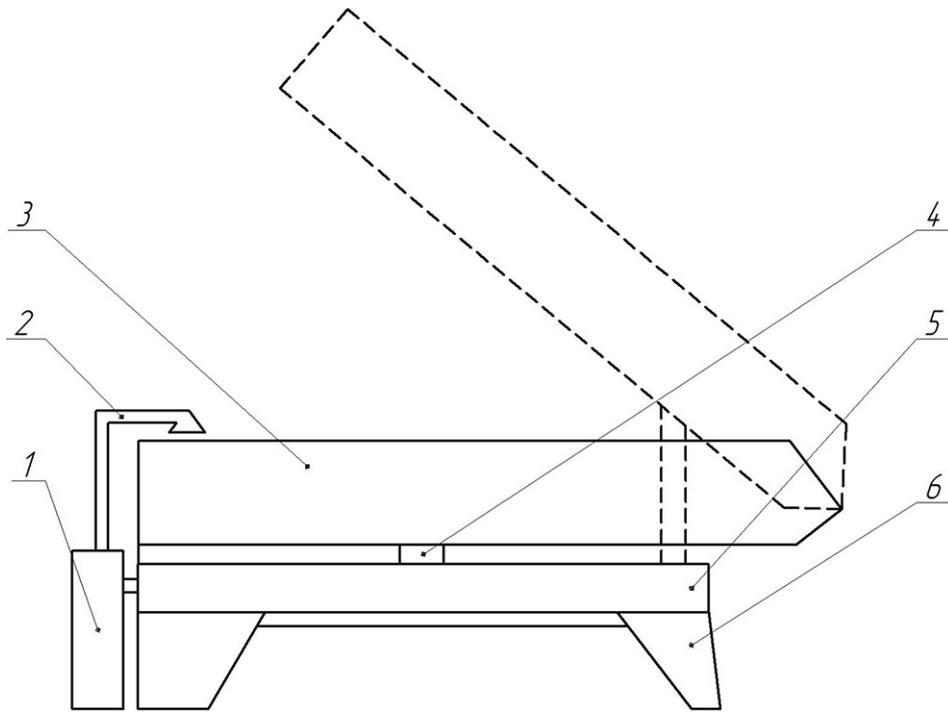
Пропитку шлакового щебня водоотталкивающим составом можно осуществлять, например,

при помощи установки, экспериментальная схема которой представлена на рисунке 1.

Эта установка функционирует следующим образом. Шлаковый щебень загружается одноковшовым погрузчиком в пропиточный резервуар 3. После этого насосом 1 из дополнительного сливного резервуара 5 в пропиточный резервуар 3 нагнетается водоотталкивающий состав (отработанное моторное масло). При этом объем водоотталкивающего состава должен быть таким, чтобы все зерна шлакового щебня находились ниже его уровня. Далее осуществляется пропитка шлакового щебня гидрофобизатором в течение заданного времени, после чего гидрофобизатор возвращается по трубопроводам 4 в сливной резервуар. Пропиточный резервуар 3 опрокидывается для выгрузки гидрофобизированного щебня. Затем начинается новый рабочий цикл.

Описание материалов и методов анализа

Предварительные экспериментальные исследования [5] подтвердили эффективность предложенного Кунаевым В.А. способа обработки шлакового щебня. Однако при эксплуатации установки для гидрофобизации шлакового щебня



1 – насос для перекачивания водоотталкивающего состава; 2 – заливной трубопровод; 3 – пропиточный резервуар; 4 – сливной трубопровод; 5 – сливной резервуар; 6 – рама

Рисунок 1 – Схема установки для гидрофобизации шлакового щебня

в зимний период в условиях резко континентального климата Республики Казахстан на открытом воздухе или в неотапливаемом помещении необходим нагрев водоотталкивающего состава на основе синтетических масел до температуры $0...+20^{\circ}\text{C}$, а составов на основе минеральных масел, а также других вязких жидкостей до температуры $+20...+40^{\circ}\text{C}$.

Для нагрева водоотталкивающего состава до необходимой температуры предлагается использовать специализированные погружные нагреватели для нефтепродуктов. В качестве места для установки погружного нагревателя выбран сливной резервуар. Для экономичного расходования тепла, излучаемого нагревателем, стенки сливного резервуара оборудуются изоляцией толщиной 2,5 см. Выполним расчет мощности погружного нагревателя, необходимой для нагрева водоотталкивающего состава, находящегося в сливном резервуаре. Установленная мощность $P_{\text{уст.}}$ определяется как сумма мощности, необходимой для повышения температуры заданного объема жидкости $P_{\text{пов.темп.}}$, тепловых потерь.

$$P_{\text{уст.}} = P_{\text{пов.темп.}} + P_{\text{потер.}}, \quad (1)$$

Мощность, требуемая для повышения температуры заданного объема жидкости, рассчитывается по общеизвестной зависимости:

$$P_{\text{пов.темп.}} = \frac{M \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \cdot 1.2}{860 \cdot t_{\text{нагр.}}}, \quad (2)$$

где M – масса водоотталкивающего состава, кг;
 $C_p = 0,4$ ккал/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ – удельная теплоемкость водоотталкивающего состава на основе отработанного моторного масла);
 $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$ – необходимая конечная температура;
 $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$ – начальная температура водоотталкивающего состава;
 $t_{\text{нагр.}} = 2...15$ час. (var) – время нагрева.
 Теплотери $P_{\text{потер.}}$ определяются по формуле:

$$P_{\text{потер.}} = \frac{S_{\text{пов.рез.}} \cdot (t_2 - t_a) \cdot K \cdot 1.2}{860}, \quad (3)$$

где $S_{\text{пов.рез.}}$ – площадь поверхности теплообмена резервуара, м 2 ;
 $t_a = t_1 = -10^{\circ}\text{C}$ – температура окружающей среды;
 $K = 2.1$ ккал/(час \cdot м 2 $\cdot^{\circ}\text{C}$) – коэффициент теплообмена при расположении резервуара вне помещения, наличии изоляции толщиной 2,5 см и скорости ветра не более 10 км/час;
 1.2 – коэффициент запаса, связанный с производственными допусками и изменениями в напряжении сети питания.

В качестве ограничения для упрощения расчета площади поверхности теплообмена $S_{\text{пов.рез.}}$ принято, что сливной резервуар, в котором устанавливается погружной нагреватель, имеет форму прямоугольного параллелепипеда с размерами сторон $a = 5$ м, $b = 1,5$ м, $c = 0.4$ м. Тогда площадь поверхности теплообмена $S_{\text{пов.рез.}}$ составит:

$$S_{\text{пов.рез.}} = 2ab + 2bc + 2ac = 2 \cdot 5 \cdot 1.5 + 2 \cdot 1.5 \cdot 0.4 + 2 \cdot 5 \cdot 0.4 = 20.2 \text{ м}^2. \quad (4)$$

Масса водоотталкивающего состава рассчитывается как произведение его плотности $\rho_{\text{вод.сост.}}$ (для моторного масла составляет 900 кг/м^3) и занимаемого объема $V_{\text{вод.сост.}}$, который, в свою очередь, можно выразить в качестве произведения напора (высота столба водоотталкивающего состава) и площади основания пропиточного резервуара:

$$M = \rho_{\text{вод.сост.}} \cdot V_{\text{вод.сост.}} = \rho_{\text{вод.сост.}} \cdot H \cdot S_{\text{осн}} = 900 \cdot 0.456 \cdot 6 = 2462 \text{ кг}. \quad (5)$$

Выполнив преобразования, получим конечную формулу для расчета мощности погружного нагревателя, необходимой для нагрева водоотталкивающего состава в сливном резервуаре:

$$P_{\text{уст.}} = \frac{M \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \cdot 1.2}{860 \cdot t_{\text{нагр.}}} + \frac{S_{\text{пов.рез.}} \cdot (t_2 - t_a) \cdot K \cdot 1.2}{860}, \quad (6)$$

Проверим правильность формулы (6) путем подстановки соответствующих единиц измерения:

$$\begin{aligned} [P_{\text{уст.}}] &= \frac{[M] \cdot [C_p] \cdot [t] \cdot 1.2}{860 \cdot [t_{\text{нагр.}}]} + \frac{[S_{\text{пов.рез.}}] \cdot [t] \cdot [K] \cdot 1.2}{860} = \\ &= \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{час}} + \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}{\text{час}} = \\ &= \frac{\text{ккал}}{\text{час}} = \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{час}} = \text{кВт}. \end{aligned} \quad (7)$$

Мощность измеряется в киловаттах (кВт), следовательно, формулу можно использовать для расчета.

Выполним расчет мощности погружного нагревателя для минимального времени нагрева ($t_{\text{нагр.}} = 2 \dots 15$ час), подставив исходные данные в формулу (6):

$$P_{\text{уст.}} = \frac{2462 \cdot 0.4 \cdot (20 - (-10)) \cdot 1.2}{860 \cdot 2} + \frac{20.2 \cdot (20 - (-10)) \cdot 2.1 \cdot 1.2}{860} = 22.39 \text{ кВт}. \quad (8)$$

Для выбора оптимального времени нагрева на основании расчетов по формуле (6) построен график (рисунок 2), показывающий зависимость необходимой мощности $P_{\text{уст.}}$ от времени нагрева водоотталкивающего состава $t_{\text{нагр.}}$.

Построенная графическая зависимость аппроксимируется степенной функцией с коэффициентом достоверности $R_2 = 0.996$:

$$y = 36.51x^{-0.78}. \quad (9)$$

Подставляя в выражение (9) вместо x необходимое время нагрева $t_{\text{нагр.}}$, на выходе можно получить требуемую мощность погружного нагревателя.

Визуальный анализ графической зависимости на рисунке 2 показывает, что наиболее значительное снижение требуемой мощности $P_{\text{уст.}}$ (с 22,39 до 10,02 кВт) достигается при увеличении времени нагрева $t_{\text{нагр.}}$ с 2 до 5 часов.

Конструктивно погружной нагреватель должен обладать малой высотой (не более 0,4 м). В противном случае он не поместится внутри сливного резервуара.

Учитывая ограничения, накладываемые кон-

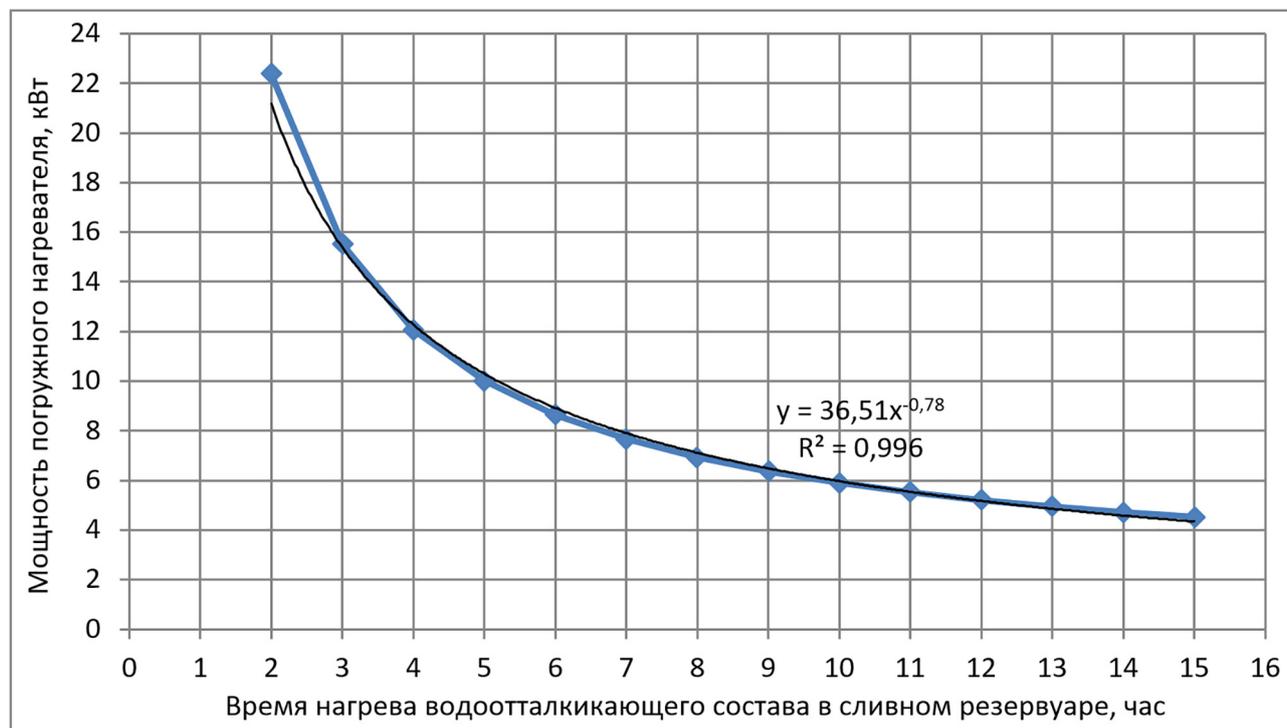


Рисунок 2 – Зависимость требуемой мощности погружного нагревателя от времени нагрева

струкцией установки для гидрофобизации шлакового щебня, и результаты анализа зависимости $P_{уст.} = f(t_{нагр.})$, примем, что мощность погружного нагревателя должна соответствовать условию $P_{уст.} \geq 10,02$ кВт при высоте корпуса нагревателя, соответствующей условию $h_{нагр.} \leq 0,4$ м.

Данным условиям соответствует погружной нагреватель модели НФв 12-2-3х-н, представленный на рисунке 3 [6].

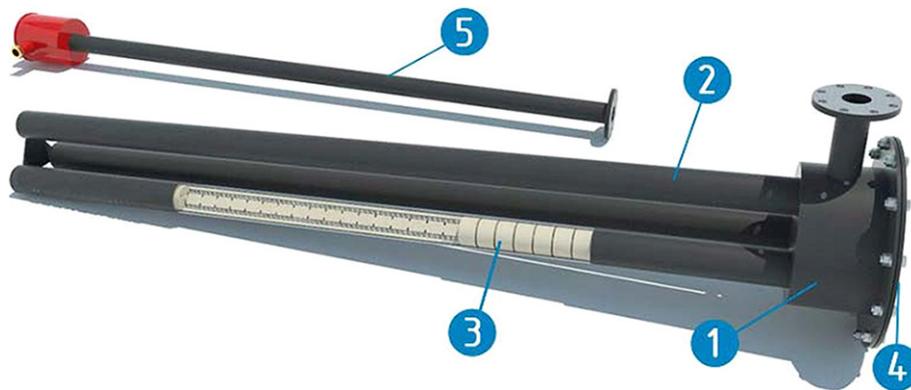
Технические характеристики погружного нагревателя нефтепродуктов НФв 12-2-3х-н представлены в таблице [6]. Чертеж сливного резервуара с установленным в нем погружным нагревателем с необходимыми размерами показан на рисунке 4. Расположение погружного нагре-

вателя в сливном резервуаре приведено также на 3D-модели, представленной на рисунке 5.

Сливной резервуар предлагаемой конструкции (рисунок 5) подходит для использования в составе установки для гидрофобизации шлакового щебня при ее эксплуатации в зимний период.

Заключение

Дальнейшие исследования в области разработки конструкции для гидрофобизации шлакового щебня направлены на определение водостойкости гидрофобизированного шлакового щебня при многократном повторении циклов водонасыщения и установлении допустимого времени насыщения водой без ущерба водостойкости.

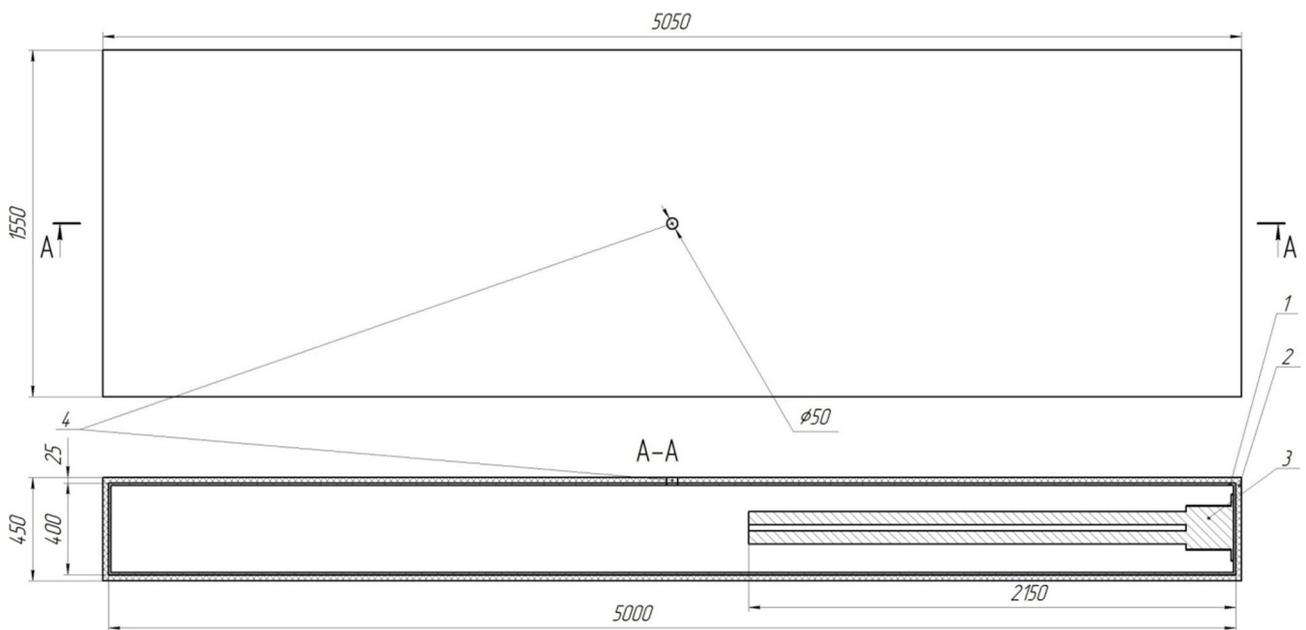


1 – корпус нагревателя во взрывозащищенном исполнении, 2 – лакокрасочное покрытие, 3 – керамические нагревательные стержни с нихромовыми спиралями, 4 – соединительная коробка во взрывозащищенном исполнении, 5 – погружная штанга во взрывозащищенном исполнении

Рисунок 3 – Устройство погружного нагревателя нефтепродуктов НФв 12-2-3х-н

Технические характеристики погружного нагревателя НФв 12-2-3х-н

№	Параметр	Значение
1	Удельная поверхностная мощность, Вт/см ²	до 1,1
2	Номинальная мощность, кВт	12
3	Напряжение питающей сети, В	220/380
4	Рабочие среды	светлые и темные нефтепродукты, минеральные масла, битум, мазут, водные растворы, дизельное топливо, нефтешламы
5	Категория взрывоопасных смесей	IIA, IIB группы T1...T3
6	Зоны эксплуатации	не взрывоопасные
7	Внешний диаметр труб, мм	60
8	Материал	Ст3, 09Г2С, AISI304, AISI321, AISI316
9	Маркировка взрывозащиты	1ExdIIBT3X
10	Количество трубных нагревателей, шт.	3
11	Габаритные размеры (длина, мм х диаметр монтажного отверстия, мм)	2150x295
12	Масса без учета погружной стойки, кг	75



1 – корпус сливного резервуара; 2 – изоляция (толщиной 25 мм), 3 – погружной нагреватель НФв 12-2-3х-н,
4 – отверстие для слива водоотталкивающего состава из пропиточного резервуара

Рисунок 4 – Сливной резервуар с установленным погружным нагревателем (вид сверху, вид спереди)

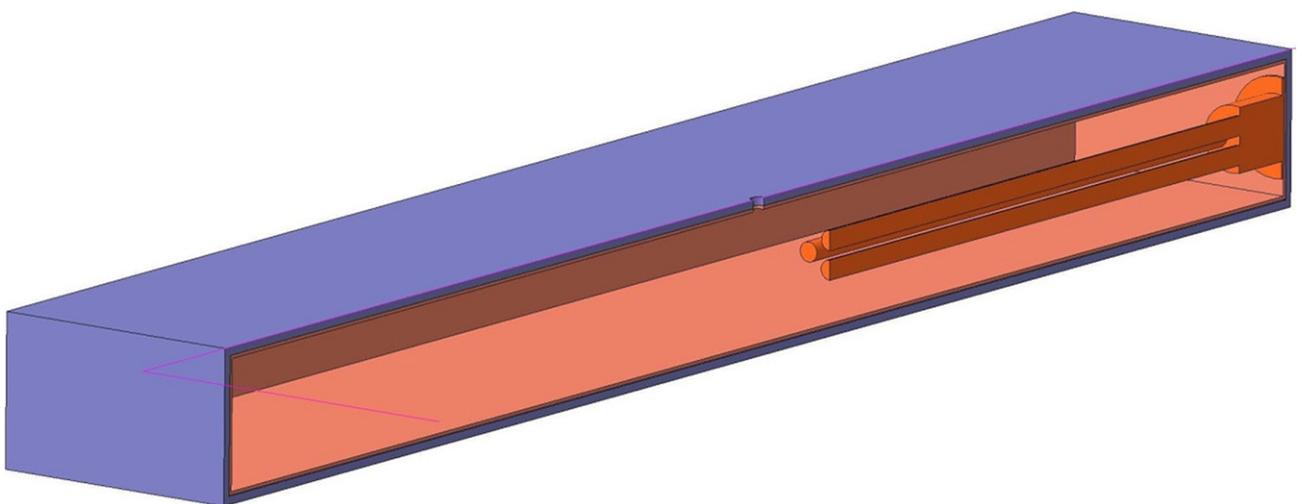


Рисунок 5– 3D-модель сливного резервуара с установленным погружным нагревателем (в разрезе)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 8269.0-97 – Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
- Кадыров А.С., Кунаев В.А., Георгиади И.В. Отходы черной металлургии и отработанные технические жидкости для получения материала дорожных оснований // Экология и промышленность России. 2017. – 21(12). – С. 44-48.
- Кадыров А.С., Кунаев В.А., Байджанов Д.О. Способ обработки шлакового щебня. Патент на полезную модель (Казахстан). № 2611. 12.02.2018. Бюл. № 6.
- Kadyrov A.S., Kunaev V.A., Georgiadi I.V. Prospects for processing of ferrous metallurgical waste based on Arcelormittal Temirtau experience // Metallurgist. – 2018. – Vol. 62 (Issue 1-2). – P. 22-28.
- Кунаев В.А., Кадыров А.С., Георгиади И.В. Разработка и исследование математической модели процесса гидрофибизации шлакового щебня // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникации им. М. Тынышпаева. – 2017. – № 4 (103). – С. 298-306.
- Нагреватели взрывозащищенные НФв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tdsarrz.ru/produksiya/sistemy_obogreva_rezervuarov_i_emkostey/nagrevateli_vzryvozaschischennyye_nfv.html (дата обращения: 07.07.2021).

Батырылатын жылытқышы бар қожды қиыршық тасты гидрофобизациялауға арналған қондырғының ағызу резервуарының параметрлерін анықтау және конструкциясын әзірлеу

¹*КУНАЕВ Вячеслав Александрович, т.ф.к., доцент м.а., кафедра меңгерушісі, kunaev91@list.ru,

²ТИМУХИНА Елена Николаевна, т.ф.д., профессор, кафедра меңгерушісі, ETimuhina@usurt.ru,

³ГЕОРГИАДИ Иван Владимирович, директор,

¹Қарағанды индустриалды университеті, Қазақстан, 101400, Теміртау, Республика даңғылы, 30,

²Орал мемлекеттік жолдар хабарламалар университеті, Ресей, 620034, Екатеринбург, Колмогоров көшесі, 66,

³«Имсталкон Теміртау» ЖШС, Қазақстан, 101403, Теміртау, Бейбітшілік даңғылы, 1А,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада қож қиыршық тасты гидрофобизациялауға арналған қондырғының құрылымы берілген. Ашық ауада және жылытылмайтын бөлмелерде теріс температурада жұмыс істеуді қамтамасыз ету үшін оны жетілдіру қажеттілігі негізделген. Батырылатын жылытқыштың қуатын, жылу шығынын және басқа параметрлері есептелді, бұл батырылатын жылытқыштың сипаттамаларына қойылатын талаптарды анықтауға мүмкіндік берді. Белгіленген талаптарға сәйкес НФв 12-2-3х-н модельдік жылытқышы таңдалды. Ағызу резервуарының сызбасы мен 3D моделі ұсынылған.

Кілт сөздер: қож қиыршық тас, гидрофобизация, домна пеші, батырылатын жылытқыш, су өткізбейтін композиция.

Determination of Parameters and Development of the Design of the Drain Tank of the Installation for the Hydrophobization of Crushed Slag with an Immersion Heater

¹*KUNAEV Vyacheslav, Cand. Tech. Sci., acting Associate Professor, Head of Department, kunaev91@list.ru,

²TIMUHINA Elena, Dr. Tech. Sci., Professor, Head of Department, ETimuhina@usurt.ru,

³GEORGIADI Ivan, Director,

¹Karaganda Industrial University, Kazakhstan, 101400, Temirtau, Republic Avenue, 30,

²Ural State University of Railway Transport, Russia, 620034, Yekaterinburg, Kolmogorov Street, 66,

³«Imstalkon-Temirtau» LLP, Kazakhstan, 101403, Temirtau, Mir Avenue, 1A,

*corresponding author.

Abstract. The article presents the construction of the machine for the hydrophobization of slag crushed stone. It also substantiates the necessity of its improvement to ensure its operation at negative temperatures outside and in unheated rooms. The calculation of the power of the immersion heater, heat loss and other parameters was carried out. It made it possible to determine the requirements for the characteristics of the immersion heater. According to the established requirements, the heater model NFv 12-2-3x-h was selected. A drawing and a 3D-model of a drain tank with an installed immersion heater are presented.

Keywords: slag crushed stone, hydrophobization, blast furnace slag, immersion heater, water-repellent composition.

REFERENCES

1. GOST 8269.0-97 – Shcheben' i gravij iz plotnyh gornyh porod i othodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitel'nyh rabot. Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytanij.
2. Kadyrov A.S., Kunaev V.A., Georgiadi I.V. Othody chernoj metallurgii i otrabotannye tekhnicheskie zhidkosti dlya polucheniya materiala dorozhnyh osnovanij // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. – 21(12). – pp. 44-48.
3. Kadyrov A.S., Kunaev V.A., Bajdzhанov D.O. Sposob obrabotki shlakovogo shchebnya. Patent na poleznuyu model' (Kazakhstan). No. 2611. 12.02.2018. Byul. No. 6.
4. Kadyrov A.S., Kunaev V.A., Georgiadi I.V. Prospects for processing of ferrous metallurgical waste based on Arcelormittal Temirtau experience // Metallurgist. – 2018. – Vol. 62 (Issue 1-2). – pp. 22-28.
5. Kunaev V.A., Kadyrov A.S., Georgiadi I.V. Razrabotka i issledovanie matematicheskoy modeli processa gidrofobizacii shlakovogo shchebnya // Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacii im. M. Tynyshpaeva. – 2017. – No. 4 (103). – pp. 298-306.
6. Nagrevateli vzryvozaschischennyye NFv [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://tdsarrz.ru/produkcija/sistemy_obogreva_rezervuarov_i_emkostey/nagrevateli_vzryvozaschischennyye_nfv.html (data obrashcheniya: 07.07.2021).