

ВЛИЯНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Атрощенко В.А., Волчихина А.А., Васильева М.А.
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: горнодобывающие предприятия, модернизация горного оборудования, гидротранспорт, концентрированные смеси, износостойкость, энергозатраты.

Аннотация. В статье рассмотрен актуальный вопрос модернизации применяемого горнотранспортного оборудования, а именно объектов трубопроводного транспорта, перекачивающих гидросмесь, приготовленную на основе продуктов обогащения минерального сырья. В процессе эксплуатации гидроабразивный износ, в том числе линейных участков труб, является наиболее частой причиной выхода из строя гидротранспортных системы, приводящих к существенному снижению его эффективности. Одним из направлений повышения ресурса элементов оборудования гидравлического транспорта и его эксплуатационных характеристик является применение материалов футеровки внутренней поверхности труб. В результате выполненных исследований было установлено, что применение полиуретановых покрытий трубопроводов существенно снижает удельную энергоемкость процесса транспортирования и значительно увеличивает срок эксплуатации гидротранспортной системы. Оценка применения модернизированных систем гидротранспорта, оснащенных трубами с футеровкой внутренней рабочей поверхности для перекачивания гидросмесей с высокой концентрацией твердой фазы показало значительное снижение удельных потерь напора, что в свою очередь влечет снижение энергоемкости процесса и значительный экономический эффект.

INFLUENCE OF MODERNIZATION OF THE LINEAR SECTION OF THE HYDROTRANSPORTATION SYSTEM OF THE MINING ENTERPRISE ON THE ENERGY INTENSITY OF THE HYDROTRANSPORTATION PROCESS

Atroshchenko V.A., Volchikhina A.A., Vasilyeva M.A.
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: mining enterprises, modernization of mining equipment, hydrotransportation, concentrated mixtures, wear resistance, energy costs.

Abstract. The article considers the topical issue of modernization of the used mining transport equipment, namely the pipeline transport facilities, which pump the hydraulic mixture prepared on the basis of mineral raw material enrichment products. In the course of operation hydroabrasive wear, including linear sections of pipes, is the most frequent reason of breakdown of hydrotransport systems, leading to a significant decrease in its efficiency. One of the directions of increasing the resource of elements of hydraulic transport equipment and its operational characteristics is the use of materials for lining the inner surface of pipes. As a result of the executed researches it has been established that the application of polyurethane coatings of pipelines considerably reduces specific power consumption of the process of transportation and considerably increases the operational life of hydraulic transport systems. Evaluation of application of the modernized hydraulic transport systems equipped with pipes with lining of the inner working surface for pumping hydraulic mixtures with high concentration of a solid phase showed a significant reduction of specific head losses, which in its turn results in reduction of energy intensity of the process and a significant economic effect.

Введение

Системы трубопроводного транспортирования горных предприятий имеют различную структуру затрат, зависящих от основных узлов транспорта, их значимости, мощности станций, производительности установок и др. Основными частями трубопроводного транспорта являются узел подготовки гидросмеси, транспортная линия и узел обезвоживания [1]. Трубопроводный транспорт горных предприятий имеет узлы подготовки и обезвоживания гидросмеси упрощенного типа с меньшим количеством оборудования и мощностью [2]. Экономика транспортных линий горных предприятий оценивается насосно-линейной их частью.

С увеличением расстояния транспортирования мощность всего гидротранспортного комплекса возрастает, так как транспортирование на большое расстояние эффективно только при большой производительности [3]. Практика показывает, что затраты на прокладку трубопроводов составляют 15-20% от доли всех затрат. Поэтому увеличение сроков службы трубопроводов имеет большое значение для повышения экономической эффективности трубопроводного гидротранспорта.

Материалы и методы исследования

Согласно методике, разработанной в ЛГИ им. Плеханова (сейчас Санкт-Петербургский горный университет) под руководством профессора В.Н. Покровской, влияние концентрации гидросмеси на приведенные затраты в значительной степени зависит от физико-механических свойств рабочей поверхности трубопроводов, а также свойств твердой фракции гидросмеси [4].

В процессе работы системы гидротранспорта происходит гидроабразивный износ стенок трубопроводов. Технологическая цепочка гидротранспорта (по данным Михайловского ГОКа) находится в эксплуатации около 8,7 тыс. часов в году.

Результаты

Полученные результаты лабораторных исследований по гидроабразивному износу показывают, что абсолютный износ внутренних стенок стального образца труб не превысит 1,0 мм за 2 года непрерывной работы трубопроводов.

Вес одного погонного метра изнашиваемой части трубопровода за 1 год составляет $m_{изн} = 14,75$ кг (стальная труба DN1197×0,5 мм, ГОСТ 33228-2015).

При средней протяженности технологической цепочки гидротранспорта $L_{тр.ср.}$ около 6 тыс. метров, включающего магистральные и распределительные участки, средняя масса изнашиваемой части $M_{изн.маг.}$ магистрального трубопровода определяется согласно выражению:

$$M_{изн.маг.} = L_{тр.ср.} \cdot m_{изн} \quad (1)$$

и составляет 88,5 т.

Эффективное и безопасное функционирование объектов трубопроводного транспорта невозможно без периодических замены участков трубопровода, испытывающих наиболее интенсивный износ или требующих замены согласно плану ТО.

При замене участка трубопровода используются стальные трубы DN1220×12 мм, имеющие массу погонного метра $m_{поз} = 357,5$ кг/м.

Расчетные среднегодовые потери веса магистральных трубопроводов соответствуют трубопроводу DN1220×12 протяженностью, определяемой по формуле:

$$L_{труб.маг.} = \frac{\sum M_{изн.маг.}}{m_{поз}} \quad (2)$$

и составит 247,5 м.

Соответственно, для обеспечения эффективного функционирования системы гидротранспорта ежегодно необходимо осуществлять закупку труб DN1220×12 в объеме около 250 м.

Стоимость стальных труб составляет около 25 тыс. руб. за погонный метр, затраты $C_{н.тр}$ на закупку новых стальных труб для компенсации износа определяется из выражения:

$$C_{н.тр} = c_{тр} \cdot L_{труб.маг.} \quad (3)$$

и составят 6,02 млн. руб.

Объем перекладки распределительных трубопроводов по данным МГОК составляет в среднем 12 км в год. При стоимости перекладки трубопроводов определяются по формуле:

$$C_{пер} = c_{пер} \cdot L_{пкл} \quad (4)$$

и составляют 57,63 млн. руб.

Суммарные затраты на техническое обслуживание трубопроводов (закупка и перекладка), рассчитанные согласно формуле:

$$C_{то} = C_{н.тр} + C_{пер} \quad (5)$$

составят 73,65 млн. руб.

Полученные результаты были сведены в общую таблицу 1.

Табл. 1. Затраты на техническое обслуживание стальных трубопроводов

Среднегодовые потери, м	Перекладываемые трубы, м	Стоимость перекладки труб, млн. руб.	Стоимость закупки труб, млн. руб.	Итого на ТО, млн. руб.
247,5	12000	57,6	6,02	73,7

Известно применение для создания систем гидротранспорта стальных труб с полиуретановым покрытием [5-7]. Результаты лабораторных исследований показали, что интенсивность гидроабразивного износа полиуретановой поверхности труб минимальна в сравнении с гидроабразивным износом рабочей поверхности традиционных стальных труб без покрытия [8].

Установлено, что толщина в 1 мм гидроабразивного износа трубопровода DN1220 с полиуретановым покрытием внутренней поверхности наступает в течение 82210 часов. В связи с этим в затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание трубопроводов с полиуретановым покрытием потеря массы труб из-за гидроабразивного изнашивания не учитывается [9-10].

Как и в случае стального трубопровода затраты на гидротранспорт хвостов в трубопроводе с полиуретановым покрытием складываются из затрат на закупку новых трубопроводов с полиуретановым покрытием и перекладку труб и затрат электроэнергии на перекачивание гидросмеси [11-12].

Стоимость трубы DN1220×12 с полиуретановым покрытием производства АО «СОМЭКС» составляет 69 тыс. руб. за погонный метр. Стоимость перекладки/монтажа/демонтажа трубопроводов с полиуретановым покрытием необходимо увеличить в сравнении со стальными трубами пропорционально стоимости 1 погонного метра трубы с покрытием:

$$c_{пер} = 4802,2 \cdot \frac{69000}{24309} = 13,6 \text{ тыс.руб./м.}$$

Средний объем перекладки, как и в случае стальных трубопроводов без покрытий составляет 12 км.

При такой стоимости труб, затраты на перекладку трубопроводов составят:

$$C_{пер} = c_{пер} \cdot L_{пкл} = 162,2 \text{ млн.руб.}$$

Учитывая, среднюю протяженность технологической цепочки гидротранспорта около 6 тыс. метров, затраты на закупку трубопроводов с полиуретановым покрытием составят:

$$C_{н.тр} = c_{тр.покp} \cdot L_{тр.покp} = 70000 \cdot 6000 = 42 \text{ млн.руб.}$$

Общие затраты на закупку новых трубопроводов с полиуретановым покрытием и перекладку на новые отметки по мере намыва тела дамбы будут равны:

$$C = C_{н.тр} + C_{пер} = 42 + 162,63 = 204,63 \text{ млн.руб.}$$

Эксплуатационные затраты на перекачку гидросмеси главным образом определяются затратами на потребляемую насосным оборудованием электроэнергию [13].

Данные об изменении потерь напора при повышении массовой концентрации представлены в таблице 2.

Табл. 2. Расчетные значения удельных потерь напора при гидротранспорте 8000 м³/ч гидросмеси при различных концентрациях твердой фазы

Массовая концентрация, %	Потери напора в трубопроводе, м вод. ст./км		
	Диаметр трубопровода ($D_{вн}$), м	Без покрытия	С полиуретановым покрытием
7,25	1196	4,7	2,9
20	0,942	7,8	4,9
30	0,909	10,9	6,8
40	0,884	12,2	7,6
50	0,863	17,1	10,7
60	0,845	17,5	10,9
70	0,827	20,8	13,0

В результате исследования установлено, что, в диапазоне концентраций твердых частиц в гидросмеси по массе до 70%, удельные потери напора в трубопроводе с полиуретановым покрытием снижаются в 1,6 раз, в сравнении с потерями напора в стальной трубе без покрытия [14-15].

Расчет затрат электроэнергии

Расход потребляемой электроэнергии на гидротранспорт закладочной гидросмеси к месту закладки определяется согласно выражению:

$$N_{нас} = \frac{k_{реж} \cdot Q_{см} \cdot \rho_{см} \cdot H_{нотр}}{\eta_{нас}} \cdot T_{год} \quad (6)$$

где $Q_{см}$ – расход гидросмеси, м³/с; $H_{нотр}$ – потребный напор в трубопроводе, м; $\rho_{см}$ – плотность гидросмеси, т/м³, $\eta_{нас}$ – КПД насосной установки; $k_{реж} = 1,25$ – коэффициент характеризующий режим работы трубопровода; $T_{год} = 8700$ – часы работы гидротранспортной установки за период 1 года.

Расход электроэнергии на транспорт закладочной гидросмеси от насосной станции к месту складирования по трубопроводу с применением насосного оборудования для обеспечения полноты заполнения, определенный по выражению (6), составит 27,354 млн. кВт·год. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии принята 3,2 руб. Средний расход насоса, принятого для рассмотрения, составляет 8467 м³/ч гидросмеси с массовой концентрацией $c_c = 7,25\%$ и соответствующей ей плотностью $\rho_{см} = 1,253$ т/м³.

Фактические данные, предоставленные предприятием, определяют, что средний годовой расход электроэнергии за восьмилетний период работы насосной станции (2013-2021гг.) на привод грунтовых насосов, составил 118,81 млн. кВт·год.

Затраты на электроэнергию составят:

$$C_3 = 118,81 \cdot 3,2 = 380,224 \text{ млн.руб.}$$

В ходе расчета расхода электроэнергии в случае замены стальных образцов на трубы с полиуретановым покрытием равного диаметра, выполнено построение расходно-напорных характеристик этих трубопроводов с учетом, что расчетные удельные потери напора снизились в 1,6 раза в сравнении с трубопроводом без покрытия и составляют 2,9 м. вод. ст /км (табл. 3).

Расход электроэнергии на гидротранспорт гидросмеси от насосной станции к месту складирования по трубопроводам с полиуретановым покрытием составит 22,864 млн. кВт·год.

Полученные данные расхода электроэнергии при использовании труб с полиуретановым покрытием и их стоимости приведены в таблице 4.

Анализ полученных данных показывает, что годовой расход потребляемой электроэнергии, в случае применения труб с полиуретановым покрытием, в соответствии с

результатами экспериментальных исследований, снижается на 19,45 млн. кВт·год и составит на 65,4 млн. руб.

Табл. 3. Расходно-напорные характеристики трубопровода с полиуретановым покрытием

Диаметр трубы, мм	Подача, м ³ /ч	Протяженность, м	i, м/км	Потери напора, м				Напор на входе в НС-2	При $k_{зан}=1,1$	Насосный агрегат
				по длине	местные ($k=0,1$)	на геод. подъем	на выпуске			
1220	8000	5486	2,9	15,91	1,59	23,76	9,02	55,28	60,81	2 ГрТ 8000/71
				Σ 50,28						

Удельная энергоемкость системы гидротранспорта в стальных трубопроводах без покрытия и с покрытием соответственно, определяется по формуле:

$$E = \frac{\sum N_{кВм}}{G_{ТВ}} = \frac{\sum N_{кВм}}{Q_{см} \cdot c_{об} \cdot \rho_{ТВ} \cdot T_{ГОД}} \quad (7)$$

где $G_{ТВ}$ – производительность системы по твердому, $Q_{см} = 33784$ м³/ч – объемный расход гидросмеси; $c_{об} = 0,028$ – объемная концентрация твердой фазы в гидросмеси; $\rho_{ТВ}$ – плотность твердой фракции ($\rho_{ТВ} = 3,35$ т/м³).

Подставив численные значения в формулу (7), получим:

$$E_{СТ} = 4,135 \text{ кВт/т (13,22 руб./т)}$$

$$E_{покр} = 3,392 \text{ кВт/т (10,85 руб./т)}$$

Удельная энергоемкость транспортирования пропорциональна удельным потерям напора и обратно пропорциональна концентрации твердого материала в объеме перекачиваемой гидросмеси, по формуле:

$$E = \frac{N}{q_{ТВ} \cdot L} = \frac{\rho_{см} \cdot g \cdot I_{см}}{3,6 \cdot \rho_{ТВ} \cdot c_{об}} \quad (8)$$

где E – удельная энергоемкость, кВт·ч/(т·км); N – мощность насоса, кВт; $q_{ТВ}$ – производительность системы по твердой фракции, т/ч; L – длина трубопровода (расстояние транспортирования), км; $I_{см}$ – удельные потери напора, м вод. ст./м.

Удельная энергоемкость перемещения гидросмеси определяется учетом изменения содержания твердого материала в объеме и изменении удельных потерь напора, используя данные, представленные в таблице 4. В таблице представлены расчетные значения параметров транспорта гидросмеси при повышенных концентрациях твердой фазы [16].

Табл. 4. Расчетные значения параметров перекачивания гидросмеси при изменении содержания твердой фракции

Концентрация, %		Плотность, т/м ³	Диаметр трубы, м	Средняя скорость, м/с	Вязкость, Па·с	Re	Удельные потери напора, м вод. ст/км	Производство по твердому, т/ч	Удельная энергоемкость, кВт·ч/(т·км)
Массовая	Объемная								
7,25	2,28	1,053	1,196	1,98	0,0084	296855	2,3	611	0,175
20	6,9	1,162	0,942	3,19	0,0139	251207	7,8	1849,2	0,107
30	11,3	1,265	0,909	3,42	0,0207	189981	10,9	3028,4	0,093
40	16,6	1,390	0,884	3,62	0,0307	144890	12,2	4448,8	0,083
50	23,0	1,540	0,863	3,8	0,0457	110509	17,1	6164,0	0,078
60	30,9	1,726	0,845	3,96	0,0679	85059	17,5	8281,2	0,079
70	41,0	1,963	0,827	4,14	0,1009	66609	20,8	10988,0	0,082

На рисунке 1 приведен график зависимости удельной энергоемкости гидротранспорта от массовой концентрации гидросмеси.

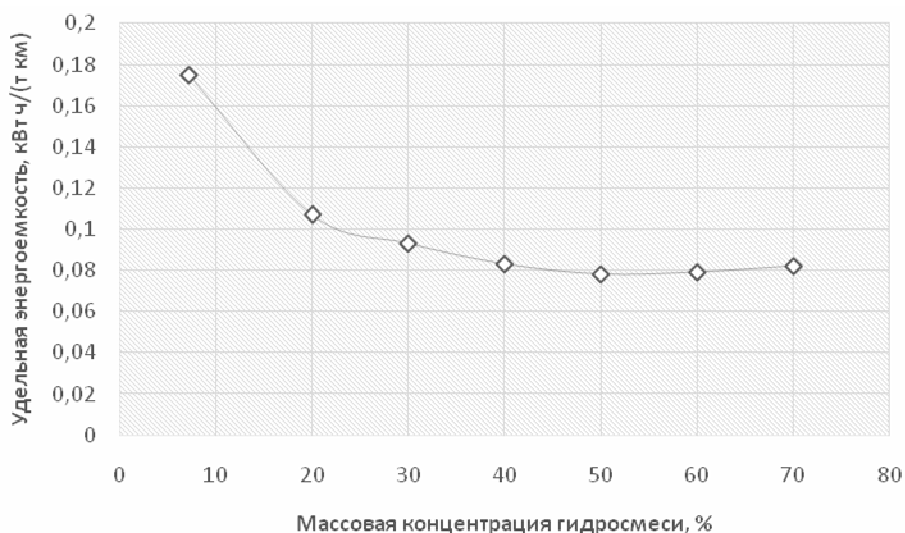


Рис. 1. Зависимость удельной энергоёмкости гидротранспорта от массовой концентрации гидросмеси

Анализ данных позволяет сделать вывод, что для системы гидротранспорта минимальная энергоёмкость равна 0,078 кВт·ч/(т·км) при массовой концентрации 50%. Из сравнения расчетных параметров очевидно, что энергоёмкость и цена транспортирования 1 т закладочной гидросмеси снижаются в среднем на 22% при применении трубопроводов с полиуретановым покрытием.

Выводы

Выполненный анализ применения трубопроводов с полиуретановым покрытием, в сравнении со стальными трубами показывает, что это позволяет снизить удельную энергоёмкость системы гидротранспорта на 22%. Для существующих параметров гидротранспорта на Михайловском ГОКе удельная энергоёмкость с уровня 4,135 кВт·ч/т снизилась до 3,392 кВт·ч/т.

Применение стальных труб с внутренним полиуретановым покрытием, позволяет существенно сократить затраты электроэнергии на перекачивание гидросмеси хвостов в сравнении со стальной трубой (практически на 20%), что существенно влияет на величину дисконтированного экономического эффекта.

Список литературы

1. Александров В.И., Васильева М.А. Гидротранспорт сгущенных хвостов обогащения железной руды на качканарском ГОКе по результатам опытно-промышленных испытаний системы гидротранспорта // Записки Горного института. – 2018. – Т. 233. – С. 471-478.
2. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 193 с.
3. Assefa K.M., Kaushal D.R. Experimental study on the rheological behavior of coal ash slurries // Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2015, vol. 63, no. 4, pp. 303-310.
4. Путилова И.В. Рекомендации по снижению абразивного износа гидротранспортных трубопроводов систем золошлакоудаления ТЭС // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2020. – №31-33. – С. 81-92.
5. Атрощенко В.А., Александров В.И. Повышение эффективности транспортных трубопроводов закладочного комплекса применением полиуретанового покрытия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10-1. – С. 25-38.
6. Бранзбург А.Б., Коврига В.В., Пуце. Пульпопроводы: от дармштадтского метода к дармштадтскому ресурсу // Полимерные трубы. – 2015. – № 1. – С. 52-53.
7. Васильева М.А., Волчихина А.А., Морозов М.Д. Оборудование и технологии для проведения работ по дозакладке выработанного пространства // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2021. – №6. – С.133-144.
8. Евсеева К.А., Битт В.В., Скребнев В.И., Калугина Е.В. Новые полимерные трубы для промышленного применения // Российский химический журнал. – 2021. – №65(3). – С. 85-90.
9. Zandi I. Advances in Solid-Liquid Flow in Pipes and Its Application. – Elsevier, 2013. – 297 p.
10. Кускильдин Р.Б., Васильева М.А., Волчихина А.А. Разработка и апробация экспресс – методики испытаний стальных труб с полимерным покрытием на гидроабразивный износ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – №55. – С. 3-10.

11. Роговой А.С. Энергетическая эффективность гидротранспортных установок // Вестник ХНАДУ. – 2017. – №76. – С. 96-103.
12. Семенов Е.В., Мокрицкая Е.Ю. Обоснование методического подхода к расчету параметров гидротранспорта с учетом колебаний свойств транспортируемого материала // Збагачення корисних копалин. – 2012. – №51(92). – С. 118-125.
13. Александров В.И., Собота И. Удельная энергоёмкость гидравлического транспортирования продуктов переработки минерального сырья // Записки Горного института. – 2015. – Т. 213. – С. 9-16.
14. Скребнев В.И., Сержан С.Л., Калугина Е.В. Исследование стойкости к гидроабразивному износу полимерных и стальных труб. Оценка основных параметров, влияющих на интенсивность износа гидротранспортных систем // Пластические массы. – 2020. – №9-10. – С. 40-44.
15. Chernetskaya-Beletskaya N. Define the operational hydro-solid waste handling system // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – 2014. – №1(14). – С. 10-17.
16. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости: гидродинамика, перемешивание и теплообмен. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

References

1. Aleksandrov V.I., Vasilyeva M.A. Hydrotransport of thickened tailings of iron ore concentration at the Kachkanar mine based on the results of pilot tests of the hydrotransport system // Journal of Mining Institute. 2018, no. 233, pp. 471-478.
2. Pokrovskaya V.N. Pipeline transport in the mining industry. – M. Nedra, 1985. – 193 p.
3. Assefa K.M., Kaushal D.R. Experimental study on the rheological behavior of coal ash slurries // Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2015, vol. 63, no. 4, pp. 303-310.
4. Putilova I.V. Recommendations to reduce abrasion wear of hydrotransport pipelines of ash and slag removal systems of TPPs // Alternative Energy and Environment (ISJAE). 2020, no. 31-33, pp. 81-92.
5. Atroshchenko V.A., Aleksandrov V.I. Increase of efficiency of transport pipelines of filling complex using polyurethane coating // Mining informational and analytical bulletin. 2022, no. 10-1, pp. 25-38.
6. Branzburg A.B., Kovriga V.V., Puce. Pulp Pipelines: from Darmstadt method to Darmstadt resource // Polymer Pipes. 2015, no. 1, pp. 52-53.
7. Vasilieva M.A., Volchikhina A.A., Morozov M.D. Equipment and technologies for the work on additional stowing of mined-out space // Mining informational and analytical bulletin. 2021, no. 6, pp. 133-144.
8. Evseeva K.A., Bitt V.V., Skrebnev V.I., Kalugina E.V. New polymeric pipes for industrial applications // Russian Journal of General Chemistry. 2021, no. 65, vol. 3, pp. 85-90.
9. Zandi I. Advances in Solid-Liquid Flow in Pipes and Its Application. – Elsevier, 2013. – 297 p.
10. Kuskildin R.B., Vasilieva M.A., Volchikhina A.A. Development and approbation of express - methodology of polymer-coated steel pipes for hydroabrasive wear // Mining informational and analytical bulletin. 2021, no. S5, pp. 3-10.
11. Rogovoy A.S. Energy efficiency of hydrotransport installations // Bulletin of KNADU. 2017, no.76, pp. 96-103.
12. Semenenko E.V. Mokritskaya E.Y. Justification of the methodical approach to the calculation of hydrotransport parameters taking into account variations in the properties of the transported material // Zbahachennya korispoliny. 2012, no. 51(92), pp. 118-125.
13. Alexandrov V.I., Sobota I. Specific energy intensity of hydraulic transportation of mineral products // Journal of Mining Institute. 2015, no. 213, pp. 9-16.
14. Skrebnev V.I., Serzhan S.L., Kalugina E.V. Research of resistance to hydroabrasive wear of polymeric and steel pipes. Estimation of main parameters influencing the wear rate of hydrotransport systems // Plasticheskie massy. 2020, no. 9-10, pp. 40-44.
15. Chernetskaya-Beletskaya N., Kushchenko A., Varakuta E., Shvornikova A., Kapustin D. Define the operational hydro-solid waste handling system // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. 2014, vol. 14, no. 1, pp. 10-17.
16. Wilkinson W.L. Non-Newtonian fluids: hydrodynamics, mixing and heat transfer. – М.: Мир, 1964. – 216 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Атрощенко Виктор Александрович – аспирант	Atroshchenko Victor Aleksandrovich – postgraduate student
Волчихина Александра Алексеевна – аспирант	Volchikhina Aleksandra Alekseevna – postgraduate student
Васильева Мария Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин	Vasilyeva Maria Aleksandrovna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of transport technological processes and machines
alexandravolchihina@yandex.ru	

Получена 30.11.2022