

УДК 621.22

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

А.С. Роговой, доц., к.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. На основе показателей энергетической эффективности гидравлического транспорта, таких как удельный расход электроэнергии на тонну перемещаемого материала и удельный расход электроэнергии на тонну и метр перемещения, была произведена систематизация и обобщение опыта создания гидротранспортных установок промышленного и магистрального транспорта.

Ключевые слова: гидротранспорт, энергетическая эффективность, удельный расход электроэнергии, струйный насос, угольная смесь.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГІДРОТРАНСПОРТНИХ УСТАНОВОК

А.С. Роговий, доц., к.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. На основі показників енергетичної ефективності гідравлічного транспорту, таких як питома витрата електроенергії на тонну переміщуваного матеріалу і питома витрата електроенергії на тонну і метр переміщення, було проведено систематизацію та узагальнення досвіду створення гідротранспортних установок промислового та магістрального транспорту.

Ключові слова: гідротранспорт, енергетична ефективність, питома витрата електроенергії, струминний насос, вугільна суміш.

ENERGY EFFICACY OF HYDRAULIC TRANSPORT PLANTS

A. Rogovyi, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),

Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. On the basis of power efficiency indexes of hydraulic transport such as specific power consumption per ton of displaced material and specific power consumption per ton and meter of displacement there was carried out systematization and generation of the experience of creating hydraulic transport plants for industrial and linehaul transport.

Key words: hydraulic transport, energy efficacy, electric power rate, jet pump, coal slurry.

Введение

На сегодняшний день большинство горно-обогатительных компаний мира используют в своих технологических процессах аппараты дробления, обогащения, вскрытия в водной среде, что является характерным именно для гидротранспорта. Практически для всех обогатительных фабрик Украины характерно использование воды в качестве среды разделения, поэтому, во многом, гидротранспорт-

ные системы определяют стабильность технологического процесса и себестоимость переработки и транспортирования полезных ископаемых [1]. Совершенствование напорного гидротранспорта идет по пути снижения энергозатрат и удельного расхода воды на процесс гидротранспортирования [2].

Кроме горно-обогатительных фабрик, гидротранспорт используют и многие промышленные предприятия [3]. Практикой под-

тверждена эффективность применения трубопроводного транспорта (он составляет 30 % объема всех промышленных транспортных работ) [4]. В различных технологических компоновках предприятий трубопроводный транспорт рассматривается теперь как важнейшее звено совершенствования производства [5].

Как известно [1–6], одним из основных показателей энергетической эффективности систем трубопроводного гидравлического транспорта является удельный расход электроэнергии на тонну перемещаемого материала, что является критерием выбора вида транспорта и оборудования для установок. Отсутствие во многих источниках информации об энергоэффективности различных насосов, применяемых в гидравлическом транспорте, усложняет выбор и компоновку гидротранспортных установок [6–8].

Анализ публикаций

Компоновке гидротранспортных систем во многих отраслях промышленности посвящено значительное количество работ [1–11]. Во многих из них представлены методики расчета установок для перемещения того или иного материала, проявляющего, при смешивании с водой, определенные реологические свойства [1, 3–5, 11–12]. Однако во многих источниках не приводится информация об энергоэффективности таких установок и не производится сравнение, для каких условий лучше выбирать тот или иной насос. Более того, энергоэффективность применения струйных насосов в гидротранспортных установках отсутствует, хотя известно, что струйные насосы обладают более низким КПД, вследствие чего установки, построенные на их основе, должны обладать худшими показателями энергоэффективности [13–15]. Зачастую в справочниках описаны преимущества и недостатки тех или иных машин, используемых в качестве нагнетателей, а также содержится стандартная типология применяемых машин, основанная на показателях производительности и техпроцесса, естественно, принимая во внимания капиталовложения и габариты [4, 5]; при этом энергозатраты учитываются как второстепенный фактор. В последнее время энергоэффективность и стоимость обслуживания, «при прочих равных», приобретают приоритетное значение при выборе решения в случае ново-

го строительства или модернизации участков гидравлического транспорта [6, 16]. Но, из-за отсутствия основных показателей эффективности, приходится производить проектный расчет установки, с применением различных нагнетателей, и принимать решение относительно выбора наилучшего.

В настоящей статье авторами систематизирован и обобщен опыт создания гидротранспортного оборудования, созданного отечественными и зарубежными производителями [1–17], для перемещения угля, результатом чего стал возможным отбор проектных решений относительно выбора нагнетателей на основе учета и минимизации удельного расхода электроэнергии на тонну перемещаемого материала.

Цель и постановка задачи

Целью работы является систематизация и обобщение опыта создания гидротранспортных установок и сравнение их энергетической эффективности.

Методика исследований

Для оценки энергетической эффективности гидротранспортных установок производился проектный расчет перемещения угля по горизонтальному трубопроводу различной длины. Расчеты произведены по методикам, приведенным в справочниках и монографиях [1–19], а также на основании технико-экономических показателей уже существующих систем трубопроводного транспорта, что позволило рассчитать два основных показателя транспортирования груза – удельный расход электроэнергии на тонну перемещаемого материала (e_m) и удельный расход электроэнергии на тонну и метр перемещения (e_L).

Для перекачивания различных гидросмесей по трубам в качестве основного силового оборудования используют насосы различных конструкций. Такие насосы имеют уплотнения и детали, способные противостоять абразивному износу [3, 4, 7, 19]; в объемных насосах предусматривают упрочнение клапанных коробок. С другой стороны, вследствие быстрого износа механических подвижных органов динамических и объемных насосов, целесообразным становится использование в качестве основных силовых эле-

ментов струйных насосов [8, 13–16, 20]. Струйные насосы, и вихрекамерные, в частности, обладают высокими показателями надежности и долговечности, что позволяет их широко применять в трубопроводном транспорте, так как эти показатели приводят, в конечном итоге, к уменьшению затрат на техническое обслуживание установок. Таким образом, так же, как и для перекачивания чистых сред, для перекачивания концентрированных гидросмесей используют три основных вида насосов: динамические (центробежные), объемные и струйные.

Динамические насосы

Для перекачивания гидросмесей различных твердых материалов применяют насосы: центробежные грунтовые, песковые, для химического производства, фекальные, а для перекачивания бумажной массы, волокнистых и подобных материалов – центробежные для бумажной массы. Для перекачивания угольных смесей применяют углесосы; их выполняют с деталями проточной части из износостойкой стали [20, 21], облицовкой рабочих колес резиной и внутреннего корпуса износостойкой сталью или противоабразивным материалом на органической основе. Во всех случаях эксплуатационные качества насосов определяются работой уплотнений. Через щели происходит утечка жидкости, увеличивается износ сопрягающих деталей. Часто требуемые технологические расходы не соответствуют номинальным подачам насосов, иногда находятся вне рабочей зоны насосов, при требуемых технологических расходах скорости движения гидросмесей в трубопроводе ниже критических. Все это, в конечном итоге, приводит к быстрому износу деталей и уплотнений и к тому, что средняя наработка на отказ составляет 700–2000 часов [20]. Анализируя данные об износе деталей углесосов, эксплуатируемых на предприятиях разных угольных бассейнов, можно заметить, что наиболее сложные условия эксплуатации насосов – в Донбассе, где срок службы некоторых деталей, например, узла вала, не превышает и 150 часов [5].

Вследствие того, что при гидротранспортировании угля существуют весьма существенные различия в параметрах транспортирования и закономерностях движения гидросмесей, представленных различными по крупности классами угля и приводящих к значи-

тельным отличиям (например, скорости и удельные напоры могут отличаться в 2–3 раза [5, 9]), дальнейшие расчеты проведены для одной и той же марки угля и условий транспортирования для всех видов нагнетателей. Расчетные точки добавлены экспериментальными, полученными в результате расчета энергетической эффективности уже существующих систем гидротранспортирования [1, 5, 20].

Характеристики энергетической эффективности перемещения с помощью центробежных нагнетателей представлены на рис. 1.

Данные и методика расчета взяты из [4, 5, 7, 12, 20], при этом техническая производительность Π_T варьировалась в диапазоне 40–160 т/ч, дальность транспортирования $L_{пр}$ – от 500 до 20000 м.

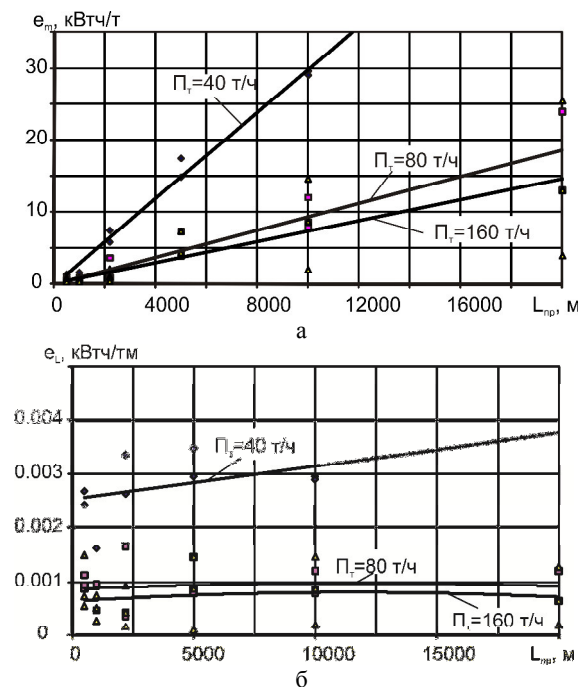


Рис. 1. Энергетическая эффективность гидротранспортирования с помощью центробежных углесосов: а – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала; б – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала на 1 м

Удельные затраты электроэнергии на перемещение вычислялись следующим образом: затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала $e_m = N / \Pi_T$, кВт·ч/т, где N – затраченная мощность; затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала на 1 м: $e_L = e_m / L_{пр}$.

Как видно из рис. 1, а, затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала прямо пропорциональны дальности транспортирования и вырастают до 35 кВт·ч/т. Кроме того, чем большей является подача гидросмеси, тем меньше удельные затраты. Так, например, для транспортирования на 10 км, при подаче 40 т/ч, затраты составляют 30 кВт·ч/т, а при 80 т/ч – 10 кВт·ч/т, при 160 т/ч – 7 кВт·ч/т. Исходя из рис. 1, б, можно сделать вывод, что приведенные по расстоянию удельные энергозатраты практически мало зависят от дальности транспортирования, но зависят от подачи системы. Так, удельные затраты при подаче в 40 т/ч практически в три раза превышают удельные затраты при подаче 80 и 160 т/ч. Точки на графиках соответствуют проектным и применяемым в промышленности установкам.

Объемные насосы

Для перекачивания гидросмесей все большее распространение получают объемные насосы, обладающие более высоким КПД, по сравнению с динамическими и струйными, и развивающие значительно большие давления. Они имеют массу и размер, превышающие массу и размер насосов других видов. Наименее надежными элементами объемных насосов являются всасывающие и нагнетательные клапаны. Основные причины отказов: коррозия, износ деталей. Вследствие быстрого износа и частой замены различных деталей (срок службы деталей колеблется от 100 часов для уплотнений до 1200 часов для клапанов и штока) приходится при проектировании установок гидротранспорта планировать резервные насосные агрегаты, что приводит к большой стоимости гидротранспортной установки. Среднее время простоя агрегатов из-за ремонта составляет 24–100 часов [1, 4, 5].

На сегодняшний день для гидротранспорта твердых материалов применяются, главным образом, поршневые или мембранно-поршневые насосы с клапанным распределением, называемые в технической литературе пульповыми насосами. Обычно это двухцилиндровые машины двойного действия (дуплексы) или чаще – трехцилиндровые машины (триплексы). При общей тенденции увеличения единичной мощности пульповых насосов (до 2 МВт), особенно для магистрального гидротранспорта, их создание на базе дуп-

лексов и триплексов приводит к чрезмерно большой массе, превышающей 65 т [22].

Данные и методика расчета взяты из [4, 5, 7, 12, 20, 23], при этом техническая производительность варьировалась в диапазоне 40–160 т/ч, дальность транспортирования – от 500 до 20000 м.

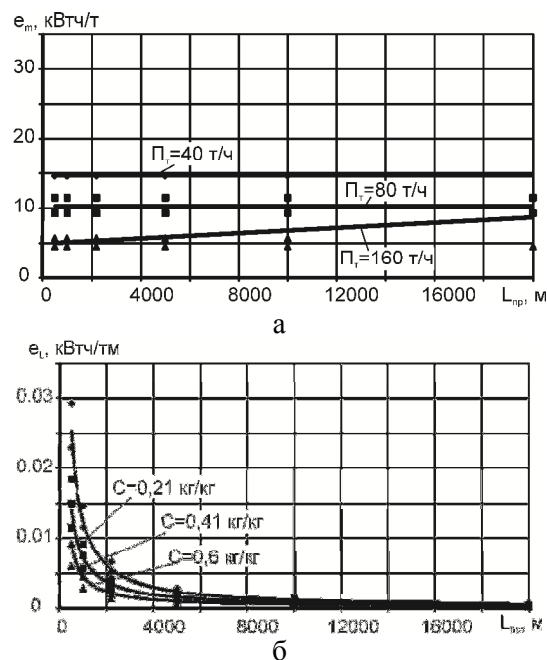


Рис. 2. Энергетическая эффективность гидротранспортирования с помощью объемных насосов: а – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала; б – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала на 1 м

Как видно из рис. 2, а, затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала практически не зависят от дальности транспортирования, что связано с тем, что для обеспечения заданной подачи используется насос, развивающий большое давление, которое не используется при транспортировании на малые расстояния. Вследствие чего эти насосы являются более рациональными при подаче гидросмеси в магистральном гидротранспорте. Удельные затраты электроэнергии колеблются в пределах от 5 до 15 кВт·ч/т при подачах от 40 до 160 т/ч. Чем больше подача, тем меньше удельные затраты энергии. Исходя из рис. 2, б, можно сделать вывод, что приведенные по расстоянию удельные энергозатраты уменьшаются с увеличением дальности транспортирования и зависят от массовой концентрации гидросмеси. Чем больше концентрация, тем меньше приведенные энергозатраты. Как следует из рис. 2, б, ис-

пользование объемных насосов при дальности транспортирования менее 4000 м приводит к значительным удельным затратам порядка 0,025 кВт·ч/тм.

Струйные насосы

Струйный насос – один из наиболее простых аппаратов для запитывания гидротранспортных установок и транспортирования гидросмесей по трубам [14, 23]. Эти насосы не содержат подвижных частей, практически не чувствительны к подосу воздуха, просты в обслуживании и эксплуатации, имеют небольшие габаритные размеры и массу, могут быть легко изготовлены в местных условиях. Вопросы применения струйных аппаратов для гидромеханизации и гидротранспорта рассмотрены в работах [6, 8, 10, 15–19, 23–26].

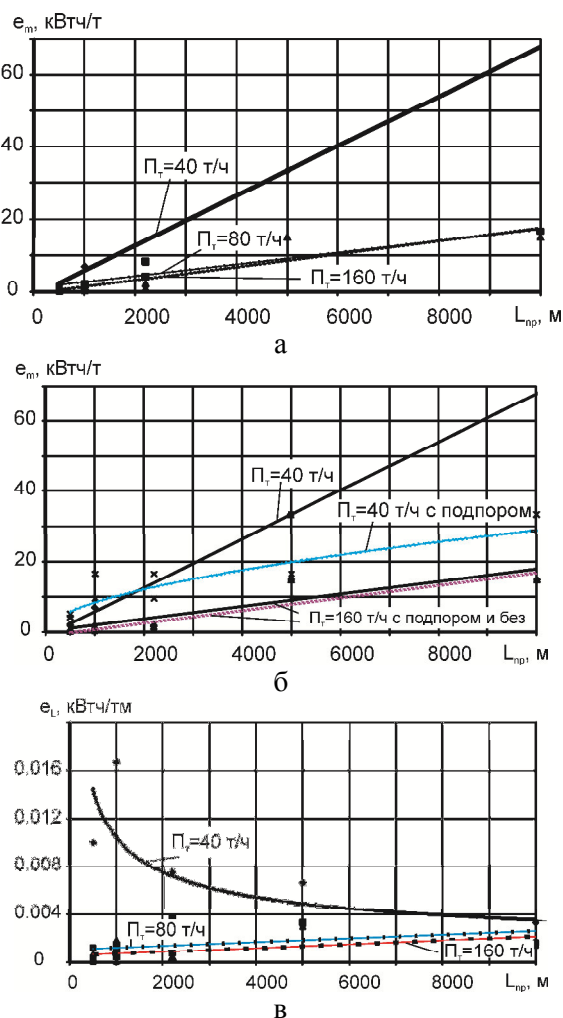


Рис. 3. Энергетическая эффективность гидротранспортирования с помощью струйных насосов: а, б – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала; в – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала на 1 м

Преимуществами применения струйных насосов в гидротранспорте является то, что перекачивание гидросмесей осуществляется с помощью активной струи, которую создает насос, работающий на чистой среде. Это предотвращает его абразивное изнашивание и повышает КПД по сравнению с КПД землесосов, углесосов и других насосов для загрязненных жидкостей [23]. Вследствие чего струйные установки, в отличие от установок для перекачивания чистых сред, могут конкурировать с центробежными и объемными насосами по энергетической эффективности перекачивания. Кроме того, струйные установки требуют значительно меньших эксплуатационных затрат при своей работе.

В работах [6, 8, 10, 15–17, 26, 27] рассмотрено применение вихрекамерных насосов для гидро- и пневмотранспорта. Эти насосы относятся также к струйной технике, обладают всеми ее преимуществами, но, в отличие от прямоструйных насосов, имеют меньшие продольные габаритные размеры, что позволяет их использовать практически в любых стесненных условиях производств.

В струйных насосах для гидротранспорта в качестве рабочей среды используют обычно воду, которая поступает с большой скоростью из сопла в приемную камеру. Эжектируемой средой является твердое тело (уголь, песок и др.) или смесь воды и твердого тела. Эжектируемая среда может находиться с избыточным давлением, например, в бункере или емкости, что позволяет использовать подпор для улучшения энергетических характеристик перекачивания с помощью струйного насоса. Для расчета насосов принципиально применимы расчетные уравнения, используемые при проектировании струйных насосов для перекачивания чистых жидкостей [14, 23, 24].

Расчет струйных аппаратов производился по методике, описанной в [14], расчет гидравлических потерь в трубопроводе – по методике [5, 28, 29]. Основные параметры расчета: коэффициент эжекции или концентрации смеси – $C = 0,2 - 0,6$ кг/кг; производительность $\Pi_T = 40 - 160$ т/ч; материал – уголь. При расчете считалось, что эжектируемая среда находится в сухом виде и смешивается с водой уже в камере смешения струйного насоса.

Как видно из рис. 3, а, затраты энергии на перемещение 1 т материала растут в зависимости от дальности транспортирования и превышают аналогичные показатели установок, построенных на других видах насосов, в 2–3 раза. Кроме того, в отличие от центробежных и объемных насосов, транспортирование струйными становится нецелесообразным при дальности более 10 км, вследствие значительного роста энергозатрат на 1 т смеси. Как видно из рис. 3, б, применение бункера или емкости высотой 20 м (подпор) имеет смысл при малых подачах гидросмеси. На рис. 3, в приведены удельные энергозатраты на перекачивание 1 т смеси на 1 м, с использованием бункера высотой 20 м. Из рис. 3, в следует, что удельные энергозатраты при подаче до 80 т/ч снижаются с увеличением подачи гидросмеси и при больших подачах прямо пропорциональны расстоянию транспортирования.

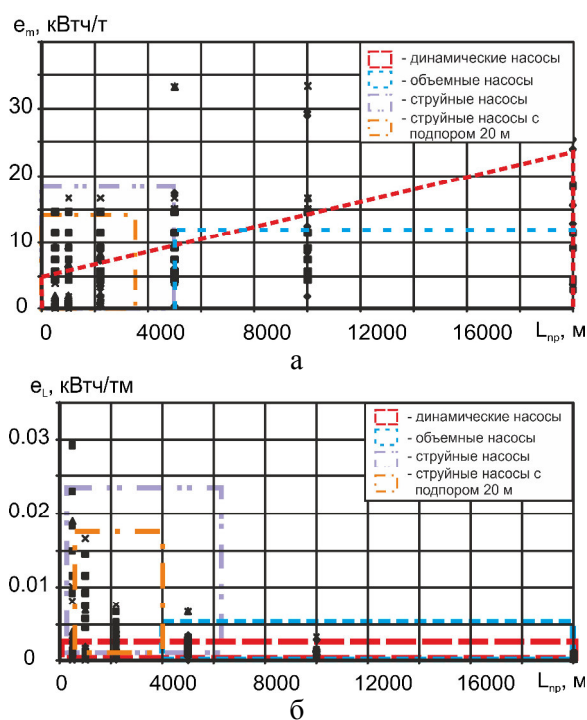


Рис. 4. Совмещенные характеристики энергетической эффективности гидротранспортирования с помощью рассмотренных насосных установок: а – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала; б – затраты электроэнергии на перемещение 1 т материала на 1 м

В данной работе рассматривались только системы для горизонтального транспортирования гидросмесей. На рис. 4 приведены совмещенные характеристики рассмотренных гидротранспортных установок. Как видно из

рис. 4, а и 4, б, наихудшими показателями энергоэффективности обладают струйные насосы, однако при длинах транспортирования до 5 км они обладают показателями энергоэффективности, не на много отличающимися от остальных насосов, вследствие большего КПД насосов, использующихся на чистой среде, и большей вариативности выбора насоса и рабочей точки. Их применение в гидротранспорте позволяет уменьшить затраты на техническое обслуживание установок, на простой оборудования, связанный с ремонтом, и экономии капитальных вложений, необходимых для обеспечения резервирования насосов. Кроме того, эффективность использования струйных насосов растет с ухудшением условий эксплуатации, например, на угледобывающих предприятиях.

Как следует из рис. 4, рациональным использованием струйных насосов будет транспортирование на расстояние до 5000 м, что говорит о том, что их лучше использовать не в магистральном трубопроводном транспорте, а в промышленном, где расстояния транспортирования не велики. Напротив, объемные насосы более экономично использовать в магистральном трубопроводном транспорте.

Таким образом, дальнейшее совершенствование струйных нагнетателей, поиск новых технических решений, основанных на более эффективных принципах передачи энергии, позволит снизить удельные энергозатраты и улучшить экономические характеристики гидротранспорта.

Выводы

На основе показателей энергетической эффективности гидротранспорта, таких как удельный расход электроэнергии на тонну перемещаемого материала и удельный расход электроэнергии на тонну и метр перемещения, была произведена систематизация и обобщение опыта создания гидротранспортных установок. Для различных вариантов концентрации и производительности был проведен проектный расчет перемещения угольной гидросмеси по горизонтальному трубопроводу различной длины для систем гидротранспорта на основе разных насосов: динамических насосов (углесосов), объемных насосов (пульповых) и струйных насосов.

Согласно показателей энергетической эффективности было выявлено, что наихудши-

ми обладают струйные насосы, однако при длинах транспортирования до 5 км они обладают показателями энергоэффективности, не на много отличающимися от остальных насосов, вследствие большего КПД насосов, используемых на чистой среде, и большей вариативности выбора насоса и рабочей точки. Их применение в гидротранспорте позволяет уменьшить затраты на техническое обслуживание установок, на простой оборудования, связанный с ремонтом, и экономии капитальных вложений, необходимых для обеспечения резервирования насосов. Кроме того, эффективность использования струйных насосов растет с ухудшением условий эксплуатации, например, на угледобывающих предприятиях.

Практически все насосные агрегаты, используемые в гидротранспортных установках, кроме струйных, подвержены значительному износу, вследствие чего средняя наработка на отказ насосов и деталей колеблется в пределах 700–2000 ч. Кроме того, увеличение срока службы требует использования в производстве более дорогих материалов, менее подверженных коррозии и абразивному износу.

Таким образом, дальнейшее совершенствование струйных нагнетателей, поиск новых технических решений, основанных на более эффективных принципах передачи энергии, позволит снизить удельные энергозатраты и улучшить экономические характеристики гидротранспорта.

Литература

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий // Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Новая идеология, 2006. – 416 с.
2. Zandi I. *Advances in Solid-Liquid Flow in Pipes and Its Application*. – Elsevier, 2013. – 297 p.
3. Chernetskaya-Beletskaya N. Define the operational hydro-solid waste handling system / Chernetskaya-Beletskaya N., Kushchenko A., Varakuta E., Shvornikova A., Kapustin D. // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. – 2014. – Vol. 14, № 1.
4. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт (Основы расчета) / А.Е. Смолдырев. – М.: ГНТИЛ по горному делу, 1961. – 286 с.
5. Смолдырев А.Е. Гидравлический и пневматический транспорт в металлургии и горном деле / А.Е. Смолдырев. – М.: Металлургия, 1967. – 368 с.
6. Роговой А.С. Энергетическая эффективность пневмотранспортных установок / А.С. Роговой // *Вісник СНУ ім. В. Даля*. – 2016. – №1 (225). – С. 189–196.
7. Chernetskaya-Beletskaya N. Experimental research of hydrotransporting concentrated residues at solid fuel burning / N. Chernetskaya-Beletskaya, A. Kuschenko, D. Kapustin // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. – 2012. – Vol. 12, № 4. – P. 19–22.
8. Syomin D. Power characteristics of superchargers with vortex work chamber / D. Syomin, A. Rogovoy // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. – 2010. – Vol. 19. – P. 232–240.
9. Wilson K.C. Slurry transport using centrifugal pumps / K.C. Wilson, G.R. Addie, A. Sellgren, R. Clift // *Springer Science & Business Media*. – 2006. – 428 p.
10. Роговий А.С. Удосконалювання енергетичних характеристик струминних нагінатив: дис... канд. техн. наук: 05.05.17 / А.С. Роговий. – Луганськ, 2007. – 193 с.
11. Golda J. Hydraulic transport of coal in pipes with drag reducing additives / J. Golda // *Chemical Engineering Communications*. – 1986. – Vol. 43, № 1–3. – P. 53–67.
12. Семенов Е.В. Обоснование методического подхода к расчету параметров гидротранспорта с учетом колебаний свойств транспортируемого материала / Е.В. Семенов, Е.Ю. Мокрицкая // *Збагачення корисних копалин*. – 2012. – Вип. 51(92). – С. 118–125.
13. Assefa K.M. Experimental study on the rheological behaviour of coal ash slurries / K.M. Assefa, D.R. Kaushal // *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. – 2015. – Vol. 63, № 4. – P. 303–310.
14. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
15. Syomin D. Features of a working process and characteristics of irrotational centrifugal pumps / D. Syomin, A. Rogovoy // Pro-

- cedia Engineering, Volume 39, 2012, Pages 231–237. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.029.
16. Syomin D. Mathematical simulation of gas bubble moving in central region of the short vortex chamber / D. Syomin, A. Rogovyi // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. – 2012. – Vol. 12, №. 4. – P. 279–284.
 17. Роговий А.С. Особливості розрахунку пневмотранспортних установок, побудованих на основі безроторних відцентрових насосів. / А.С. Роговий // *Вісник СХУ ім. В. Даля*. – 2015. – №1 (218). – С. 68–73.
 18. Pneumatic conveying of solids. A theoretical and practical approach (Powder technology series) / G.E. Klinzing, R.D. Marcus, F. Rizk, L.S. Leung. – 2nd Edition, Chapman&HallSuffolk, – 1997. – 624 p.
 19. Mills D. Pneumatic Conveying Design Guide / D. Mills. – 2nd Edition, Butterworth-Heinemann – 2004. – 638 p.
 20. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей / А.Е. Смолдырев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
 21. Ванеев, С. М. Повышение энергоэффективности насосного оборудования горнообогатительных комбинатов / С.М. Ванеев, А.А. Евтушенко, С.В. Сапожников, В.А. Соляник // *Вісник СумДУ*. – 2008. – №2. – С. 126–134.
 22. Косенко-Белинский Ю. А. Перспективное направление в создании высокоэффективных поршневых насосов для гидротранспорта угля / Ю.А. Косенко-Белинский // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Т. 1. – №. 7 (61).
 23. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 256 с.
 24. Jacobs B. E. A. Design of slurry transport systems / B. E. A. Jacobs // *Crc Press*, 2003.
 25. El-Ghandour M. Solid-materials-handling central-type jet pump / M. El-Ghandour, I.A. El-Sawaf, F. M. El-Ottla // *6th Int Water Tech Conference, IWTC Alexandria, Egypt*. – 2001. – P. 328–340.
 26. Syomin D. Vortex mechanical devices in control systems of fluid mediums / D. Syomin, V. Pavljuchenko, Y. Maltsev et all// *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. – 2010. – Vol. 10. – P. 440–445.
 27. Сёмин Д.А. Экспериментальные исследования характеристик струйно-вихревого насоса / Д.А. Сёмин, А.С. Роговой // *Вісник СумДУ*. – 2005. – 12(84). – С. 64–70.
 28. Юфин А.П. Определение потерь напора при гидротранспорте мелких фракций угля по горизонтальным трубам / А.П. Юфин // *Гидравлика сооружений и динамика русел: сб.* – М.: Изд-во АН СССР. – 1959.
 29. Дмитриев Г.П. Напорные гидротранспортные системы / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
- Рецензент: П.Н. Андренко, профессор, д.т.н., НТУ «ХПИ».
-