

УДК 621.22

Л. В. Волгина, В. К. Тарасов, Т. В. Зоммер

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТА

Эффективность системы гидротранспорта, наряду с другими факторами, определяется надежностью и долговечностью как самих трубопроводов, так и отдельных элементов оборудования. В свою очередь, интенсивность и характер износа зависят от количества частиц и скорости их движения вблизи стенок, т. е. напрямую связаны с кинематическими характеристиками взвесенесущего потока.

Кинематическая структура двухфазного потока вблизи стенок трубы обуславливается средними плотностями и скоростями движения гидросмеси. Отыскание связи кинематических характеристик взвесенесущего потока с надежностью гидротранспортных систем является целью проводимых исследований.

Проведенный сравнительный анализ показал, что основное влияние на эффективность системы гидротранспорта оказывает количество пропущенного материала твердой фазы. Следовательно, оптимальный режим работы, напрямую связанный с подбором кинематических характеристик потока, обеспечивает и наиболее высокую степень надежности системы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: двухфазный поток, критическая скорость потока, толщина износа трубопровода, эффективность гидротранспорта.

Efficiency of hydrotransport system, among other factors, is determined by the reliability and durability of both the pipelines and the individual elements of equipment. In its turn the intensity and nature of wearout depends on the number of particles and their velocity near walls, i.e. directly related to the kinematic characteristics of two-phase flow.

The kinematic structure of two-phase flow near the walls of the tube depends on the average density and velocity of hydrotransport. The determination of contacts between kinematic characteristics of two-phase flow and the reliability of hydrotransport systems is the goal of the study.

Comparative analysis showed that the main influence on the efficiency of hydrotransport depends on the total volume of the solid phase. Consequently, the optimal performance is directly related to the selection of the kinematic characteristics of the flow and it provides the highest degree of reliability.

К е у w o r d s: two-phase flow, critical flow velocity, thickness of pipe wearout, hydrotransport efficiency.

Учитывая современные мировые тенденции, с уверенностью можно говорить об ускоренном развитии магистрального гидротранспорта, в частности в области комплексной добычи и транспортировки угля. Зарубежный опыт проектирования новых и эксплуатации действующих углепроводов позволяет сегодня оперировать большим количеством опытных данных. Так, в США в период с 1957 по 1963 гг. в штате Огайо действовал углепровод общей протяженностью свыше 175 км и пропускной способностью более 1,2 млн т угля в год. В 1970 г. введенный в строй углепровод «Black Mesa» обладал уже протяженностью 440 км и грузопропускной способностью 4,8 млн т угля в год и обслуживался в три смены 50 рабочими. Общая протяженность спроектированных на территории США углепроводов составляет более 20 тыс. км при суммарной пропускной способности свыше 250 млн т в год. В Канаде, Индии, КНР и Франции также спроектированы и действуют углепроводы пропускной способностью более 30 млн т угля в год [1; 2].

Несмотря на то, что гидротранспорт твердых материалов на большие расстояния по сравнению с железнодорожным транспортом обладает значи-

тельно большей пропускной способностью, высокой степенью автоматизации транспортно-погрузочных операций, постоянством качества, непрерывностью равномерного потока, отсутствием потерь при транспортировке и негативного влияния на окружающую среду, а также независимостью от погодных условий, в нашей стране он до сих пор недостаточно системно изучен и развит [1; 3; 4].

Неоспоримые преимущества отечественного гидротранспорта были продемонстрированы еще в 1987 г. при строительстве экспериментального углепровода Белово — Новосибирск с диаметром труб 530 мм, протяженностью 262 км и мощностью переработки до 3 млн т угля в год. Однако по техническим причинам устойчивая эксплуатация углепроводов так и не была достигнута.

Эффективность системы гидротранспорта, наряду с другими факторами, определяется надежностью и долговечностью как самих трубопроводов, так и отдельных элементов оборудования. В свою очередь, интенсивность и характер износа зависят от количества частиц и скорости их движения вблизи стенок, т. е. напрямую связаны с кинематическими характеристиками взвешенного потока [5].

При расчете эффективной гидротранспортной системы подбор скорости с учетом износа осложнен существующим противоречием: оптимальный по энергетическим затратам режим транспортирования не всегда является наиболее выгодным с точки зрения минимального износа трубопровода. Так, например, наименьшие потери энергии имеют место при транспортировании со скоростью, близкой к критической, однако именно при небольших скоростях наблюдается более интенсивный износ нижней стенки трубы, поскольку основная масса твердых частиц движется в нижней части потока. При больших скоростях движения поток обладает избытком транспортирующей способности, что приводит к более равномерному распределению твердых частиц по сечению потока, вследствие чего происходит более равномерный износ трубы по периметру живого сечения потока [6].

При различных средних плотностях и скоростях движения гидросмеси наблюдается различная специфика кинематических структур двухфазного потока вблизи стенок трубы. Отыскание связи кинематических характеристик взвешенного потока с надежностью гидротранспортных систем и является целью данных исследований.

Преобладающим в условиях гидромеханизации является турбулентный режим, характеризующийся непрерывными пульсациями полей скоростей, давления и консистенций. При гидротранспортировании пород турбулентность потока, представляющая собой суперпозицию вихревых пространственных структур [7], способствует подъему твердых частиц. Турбулентностью вызываются две из шести механических сил, обуславливающих подъем частиц со дна потока: сила вертикальных пульсаций скорости и силы, связанные с крупномасштабными турбулентными структурными образованиями по М. А. Великанову [1; 4]. При этом наличие твердых частиц в турбулентном потоке уменьшает амплитуду пульсаций скорости наряду с увеличением частоты.

В задачи работы входило определение средней интенсивности износа по окружности трубы в зависимости от структуры потока, транспортирующего твердые материалы.

Интенсивность износа можно представить в виде аналитической зависимости [8; 9]

$$\Delta = \frac{\rho_{\text{см}}}{\rho_0} w \left(\frac{u_{\text{см}}}{v_{\text{кр}}} \right)^n \varphi C_0, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{см}}$, ρ_0 — соответственно средняя плотность гидросмеси и воды, т/м³;

w — гидравлическая крупность, м/с; $\left(\frac{u_{\text{см}}}{v_{\text{кр}}} \right)$ — отношение скорости потока

гидросмеси вблизи стенки к критической скорости потока средней плотности; n — показатель степени, зависящий от материала труб и «абразивности» транспортируемого материала; φ — поправочный коэффициент, увеличивающийся при увеличении среднего диаметра частиц и отношения $\frac{d_{\text{ср}}}{D}$ [8];

C_0 — объемная консистенция гидросмеси (локальная вблизи стенки).

При расчете режима двухфазного потока угольной гидросмеси в диапазоне средних скоростей от 1 до 3...4 $v_{\text{кр}}$ и при $C_0 = 0,097$ по изменению коэффициента Кориолиса α определялась величина дополнительной деформации скоростного поля. Затем определялось распределение скоростей в пристенной области и вычислялась консистенция пристенной области в точках по периметру живого сечения с использованием закона распределения плотностей по вертикальному диаметру потока при допущении, что по горизонтальным плоскостям плотность постоянна. Интенсивность износа по периметру живого сечения определялась в зависимости от характеристик потока в пристенной области.

Зависимости толщины износа от средней скорости, плотности и консистенции потока представлены на рис. 1—3.

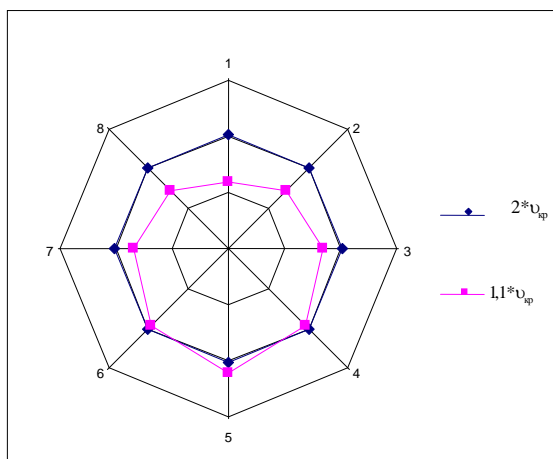


Рис. 1. Зависимость толщины износа от средней скорости потока:

1 — створ 0°; 2 — 45°; 3 — 90°; 4 — 135°; 5 — 180°; 6 — 225°; 7 — 270°; 8 — 315°; 9 — створ 0° (360°)

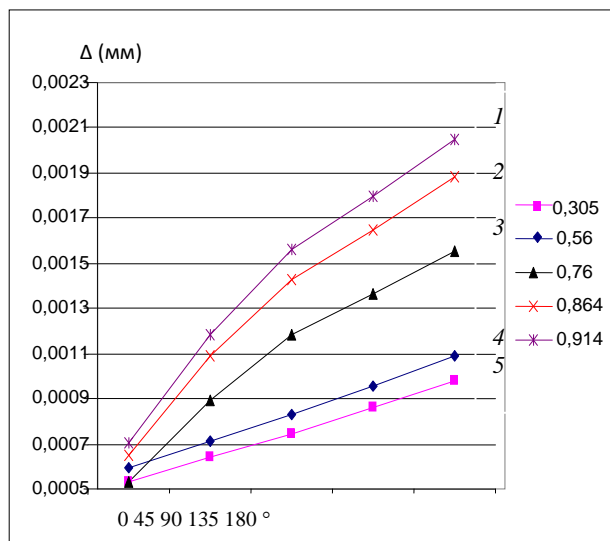


Рис. 2. Зависимость толщины износа для труб диаметрами, мм: 0,305 (1); 0,56 (2); 0,76 (3); 0,864 (4); 0,914 (5) при транспортировании угля плотностью $1,35 \text{ т/м}^3$, средней консистенции гидросмеси $C_0 = 0,097$, средней скорости гидросмеси $v_{\text{ср}} = 1,1 v_{\text{кр}}$

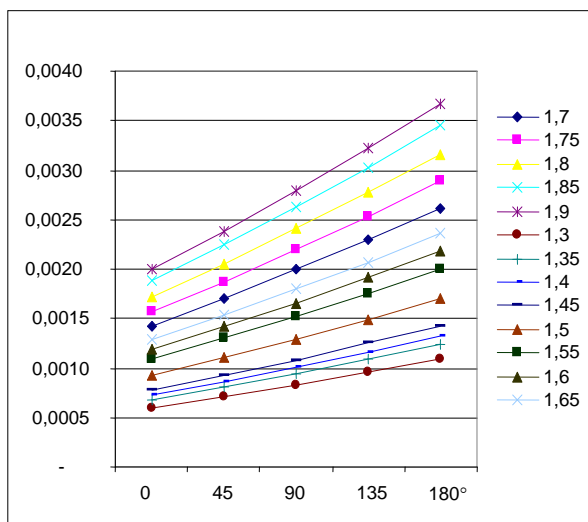


Рис. 3. Зависимость толщины износа от плотности угля при средней консистенции $C_0 = 0,097$ и средней скорости гидросмеси $v_{\text{ср}} = 1,1 v_{\text{кр}}$

Проведенный сравнительный анализ показал, что основное влияние на эффективность системы гидротранспорта оказывает количество пропущенного материала твердой фазы. Следовательно, оптимальный режим работы, связанный с подбором кинематических характеристик, обеспечивает и наиболее высокую степень надежности.

Исследование различных режимов двухфазных потоков гидросмеси позволяет сделать вывод, что выбор средней скорости потока $v_{\text{ср}} = 1,1 v_{\text{кр}}$ обеспечивает эффективную, энергетически оптимальную и наиболее устойчивую эксплуатационную систему гидротранспорта. О сходимости результатов исследования говорит тот факт, что для некоторых видов гидротранспорта этот режим является рекомендованным СНиП 2.05.07—85.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Докукин В. П.* Формирование системы трубопроводного гидротранспорта горных предприятий на основе метода динамической оптимизации ее параметров : дисс... д-ра техн. наук. СПб, 2005.
2. *Davenport S. T.* Forecast of major international pipeline products for the 1986—2000 period // *Pipes & pipelines international*. 1986. № 1. P. 9—14.
3. *Дмитриев Г. П., Махарадзе Л. И., Гочиташвили Т. Ш.* Напорные гидротранспортные системы. Справочное пособие. М. : Недра, 1991.
4. *Дмитриев Г. П., Смолдырев А. В.* Гидротранспорт руд и концентратов. М. : Цветмет-информация, 1966.
5. *Юфин А. П.* Гидромеханизация: учеб. пособие. М. : Стройиздат, 1987.
6. *Тарасов В. К., Гусак Л. Н.* Влияние внутренних характеристик гидросмеси на распределение интенсивности износа по окружности сечения трубы : материалы Всесоюзной конф. «Надежность и долговечность оборудования и трубопроводных систем». Тбилиси, 1981.
7. *Иванов Б. Н.* Мир физической гидродинамики: От проблем турбулентности до физики космоса. М. : Едиториал УРСС, 2002.
8. *Тарасов В. К., Харин А. И., Гусак Л. Н.* Двухфазные потоки в напорном гидротранспорте : учеб. пособие. М., 1987.
9. *Тарасов В. К., Гусак Л. Н., Волгина Л. В.* Движение двухфазных сред и гидротранспорт : учебно-методическое пособие. М., 2011.

1. *Dokukin V. P.* Formirovanie sistemy truboprovodnogo gidrotransporta gornyykh predpriyatiy na osnove metoda dinamicheskoy optimizatsii ee parametrov : diss... d-ra tekhn. nauk. SPb, 2005.
2. *Davenport S. T.* Forecast of major international pipeline products for the 1986—2000 period // *Pipes & pipelines international*. 1986. № 1. P. 9—14.
3. *Dmitriev G. P., Makharadze L. I., Gochitashvili T. Sh.* Napornye gidrotransportnye sistemy. Spravochnoe posobie. M. : Nedra, 1991.
4. *Dmitriev G. P., Smoldyrev A. V.* Gidrotransport rud i kontsentratov. M. : Tsvetmet-informatsiya, 1966.
5. *Yufin A. P.* Gidromekhanizatsiya: ucheb. posobie. M. : Stroyizdat, 1987.
6. *Tarasov V. K., Gusak L. N.* Vliyaniye vnutrennikh kharakteristik gidrosmesi na raspredeleniye intensivnosti iznosa po okruzhnosti secheniya truby : materialy Vsesoyuznoy konf. «Nadezhnost' i dolgovechnost' oborudovaniya i truboprovodnykh sistem». Tbilisi, 1981.
7. *Ivanov B. N.* Mir fizicheskoy gidrodinamiki: Ot problem turbulentnosti do fiziki kosmosa. M. : Editorial URSS, 2002.
8. *Tarasov V. K., Kharin A. I., Gusak L. N.* Dvukhfaznye potoki v napornom gidrotransporte : ucheb. posobie. M., 1987.
9. *Tarasov V. K., Gusak L. N., Volgina L. V.* Dvizheniye dvukhfaznykh sred i gidrotransport : uchebno-metodicheskoe posobie. M., 2011.

© Волгина Л. В., Тарасов В. К., Зоммер Т. В., 2012

Поступила в редакцию
в октябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Волгина Л. В., Тарасов В. К., Зоммер Т. В. Влияние характеристик двухфазного потока на эффективность системы гидротранспорта // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 3 (23).