

Владимир КУСЕВ, Атанас ДЯКОВ

КНИПИ "Нипроруда", г. София
Н.Р. Болгария

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ТРУБ ВЫПУСКАЕМЫХ В Н.Р. БОЛГАРИЯ ДЛЯ ГИДРОТРАНСПОРТА ТВЕРДЫХ НАСЫПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резюме. Указаны экономическая выгода и возможности использования базальтовых труб. Исследованы гидравлические сопротивления в предлагаемых заводом литого базальта в г. Плячковиц труб, смонтированных по трем в тонкостенных стальных кожухах и указывается аналитическое выражение для определения коэффициента трения λ . Определена их износостойкость при гидротранспорте песков. Кроме коэффициента износостойкости, для сопоставления с износостойкостью других трубных материалов авторы вводят и коэффициенты расхода и стоимости замены стальных труб.

В условиях ускоренных темпов развития экономики нашей страны потребности в черных и цветных металлах нарастают и будут нарастать. Технологическое оборудование работает в сложных условиях, при высоких скоростях и температуре и подвергается влиянию сильно агрессивных и абразивных сред. Его создание требует расходования значительных количеств высококачественных и дефицитных металлов. В упомянутых условиях эксплуатации оно интенсивно изнашивается, быстро амортизируется и требует периодической замены. Это вызывает поиски, создание и внедрение новых материалов, заменяющих металлы. В этом направлении в нашей стране были достигнуты значительные успехи. Было освоено производство ряда ценных материалов, которые успешно заменяют большое количество металлических изделий — различных видов полимеров, стеклопластов и каучука, асбестоцемента, полимербетона, базальта, ситалла и др. Особое место среди них занимает литые каменные изделия. Они сохраняют почти все типичные свойства пород — большая твердость, стойкость на воздействие воды, атмосферных влияний и химических реагентов, а также хрупкость, небольшую прочность на растяжение и на ударную нагрузку, и незначительную выносливость при резких пере-

нах температур.

Обеспечение значительного увеличения долговечности труб используемых в различных гидротранспортных системах, достигается также путем создания и применения новых высокостойких материалов. Особенно перспективными в этом отношении являются неметаллические трубы и футеровки. Одним из самых значительных достижений у нас в этом направлении является освоение на заводе НПП "Петрургия" - г. Плачковци производства центробежно литых базальтовых труб, длиной 1 м и диаметром в диапазоне 100 - 500 мм. Массовое использование этих труб в практике долго задержалось, однако из-за отсутствия данных о коэффициенте гидравлического трения и их износостойкости. Эта неизвестность отражается на возможностях прогнозирования энергетических расходов и расходов на замену изношенных труб, определяющих экономические показатели эффективности при гидротранспорте. Это со своей стороны не позволяет проектировщиком использовать базальтовые трубы в своих проектах, даже в том случае когда целесообразность их применения находится вне всякого сомнения.

В ряде публикаций упоминается об их использовании в гидро- и пневмотранспортных установках, работающих за рубежом (ПНР, ЧССР, СССР, ФРГ, ГДР, Франция и другие страны), но почти отсутствуют данные о проведенных исследованиях по определению этих коэффициентов. Не предлагаются формулы для определения коэффициента трения в этих трубах, а также не указываются его величины для конкретных условий.

Исследования, проведенные в Чехословакии [6] показали, что шероховатая внутренняя поверхность труб футерованных литым базальтом, при гидротранспорте шлама стирается и шлифуется до стекловидной поверхности. После 10^{-4} рабочих дней коэффициент трения в трубопроводе литого базальта диаметром 100 мм уменьшается с 0,0392 на 0,0279, причем продолжает уменьшаться.

В проспектах базальтовых труб, диаметром 125 мм, изготавливаемых на заводе им. Вильгельма Пика - г. Мансфельд (ГДР), фиксируется величина коэффициента трения 0,02375 при величине эквивалентной шероховатости $K_0 = 0,02315$. Указывание величины λ , независимой от скорости потока показывает, что трубы гидравлически шероховатые по всему диапазону скоростей, используемых в практике.

На экспериментальной установке Института гидромеханики АН УССР прове-

дены исследования гидравлических сопротивлений в базальтовых трубах диаметром 206 мм [2]. Потери напора в футерованном базальтом трубопроводе увеличиваются в среднем в 2 раза (1,75 - 2,38) по сравнению со стальными трубопроводами такого же диаметра. Замер показал, что высота шероховатости в базальтовых трубах изменяется от 2,5 до 4,5 мм, а в стальных трубах она составляет в среднем 0,03 мм.

Эти исследования исчерпывают известные нам публикации, рассматривающие размер гидравлических потерь в базальтовых трубопроводах.

При расчете величины гидравлического сопротивления в прямом горизонтальном трубопроводе используется формула Дарси-Вейсбаха, в которой при расчете параметров базальтового трубопровода неизвестен только коэффициент трения λ . Использование формул для определения λ , выведенных для труб из других материалов путем ввода коррекции относительной шероховатости стен, если она не основывается на проведенных гидравлических испытаниях, скрывает опасность появления различий между вычисленной и действительной потерями напора, превышающих 20 %. При современных технических требованиях и потребностях гидротехнического проектирования и строительства, отклонения такого порядка недопустимы.

Для определения коэффициента трения в базальтовых трубах использована методика А.Д. Альштуля [1], основывающаяся на полуэмпирической теории турбулентного движения. За основу взята не обобщенная логарифмическая зависимость для коэффициента трения, а предложенное значительно более удобное с точки зрения вычисления уравнение параболы высшего порядка:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{K_e}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \dots \dots \dots (1)$$

D - внутренний диаметр труб, мм

Принятие постоянных усредненных величин в качестве коэффициента логарифма в логарифмическом выражении и в качестве показателя степени в формуле (1), как указывает Альштуль, показывает что эти зависимости надо рассматривать как приближительные. Для широкого интервала величин K_e/D ($1,6 \cdot 10^{-4}$ до $2,5 \cdot 10^{-2}$), как и для величин числа Рейнольдса (Re) охватывающих все практически возможные случаи расчета параметров трубопроводных систем, отклонения от опытных данных не превышают 5 %.

В процессе многочисленных гидравлических исследований, проведенных различными авторами [1, 5] доказано, что для труб из различных материа-

лов, изготовляемых в заводских условиях при соблюдении установленной технологии, качество внутренней поверхности стен и их шероховатость не зависят от величины диаметра.

Определение коэффициента λ изготовляемых в НР Болгария базальтовых труб, установленных в стальных кожухах сумарной длиной 3 м, основывается на формуле (1) и на уравнении Дарси-Вейсбаха. В результате проведенных на полупромышленной установке Института исследований с трубами внешним диаметром 102–150 мм была определена эквивалентная шероховатость труб и пригодность формулы Альтшуля для расчета параметров таких трубопроводов. Измеренные сопротивления включает и местные потери при фланцевых соединениях и ивах между однометровыми базальтовыми вставками в стальных кожухах.

Для определения K_g необходимо иметь достаточное количество опытных величин коэффициента трения в области квадратических сопротивлений при известной величине соответствующих Re . В начале проводились исследования для новых футерованных труб, по которым в течение нескольких часов транспортировалась сильно разбавленная гидросмесь. После накопления достаточного количества опытного материала по трубам диаметром 102 мм пропускалась в течение 116 часов абразивная гидросмесь. Степень сглаживания внутренней поверхности труб была определена после их повторного испытания чистой водой.

Испытания новых базальтовых труб внутренним диаметром 102 мм охватывают диапазон измерения Re от $3,88 \cdot 10^4$ до $5,64 \cdot 10^5$, который включает использованные на практике скорости. На рис. 1 показаны опытные точки этой серии в двойнологарифмическом масштабе. Кривая (1) является теоретической кривой, построенной по формуле Альтшуля по средним данным о серии опытных точек ($K_g = 0,0397$; $\nu = 0,932 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$). Теоретическая кривая выравнивает опытные точки в квадратической и в переходной областях сопротивлений. Квадратическая область наступает при величине Re , составляющей приблизительно $2,0 \cdot 10^5$ (при температуре 15°C скорость потока свыше $2,24 \text{ м/с}$). В этой области коэффициента трения является постоянной и для труб диаметром 102 мм ее средняя величина $0,0172$.

Формулу Альтшуля можно использовать для практических вычислений во всем диапазоне применяемых на практике скоростей, так как отклонение теоретической кривой от опытных данных составляет в среднем менее $\pm 2,25 \%$. Данные показывают, что принятое степенное уравнение является структурно

правильным и его можно принять в качестве наиболее зависимости для коэффициента трения в области использованных на практике скоростей.

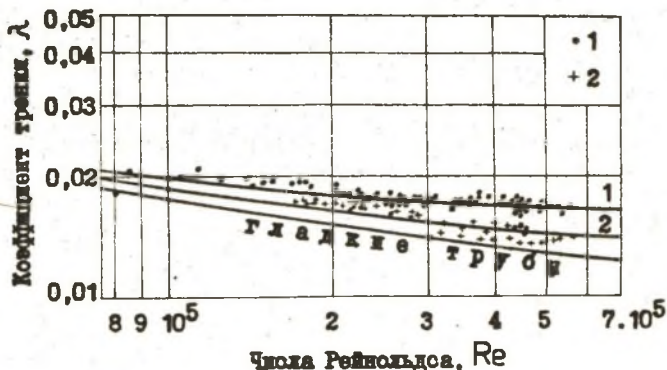


Рис. 1. Сравнение обобщенной формулы коэффициента гидравлического трения с опытными данными о базальтовых трубах диаметром 102 мм

На рис. 2 видно нарастание гидравлического уклона при увеличении средней скорости потока в новых базальтовых трубах диаметром 102 мм (кривая 1). Отклонения опытных точек от теоретической кривой, построенной при средних для опытной серии величинах K_e и γ , незначительны.

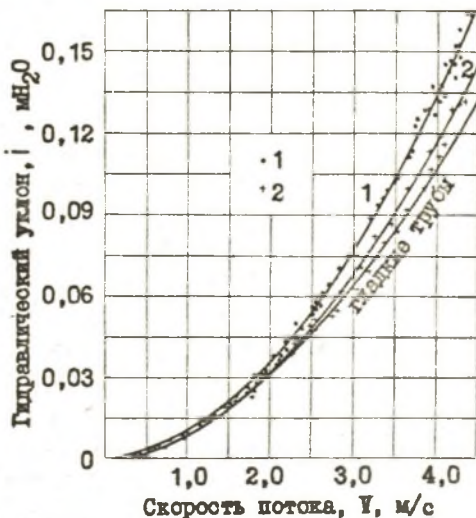


Рис. 2. Зависимость гидравлического уклона от скорости потока в базальтовых трубах диаметром 102 мм

Данные исследования гидравлического сопротивления этих же базальтовых труб после пропускания через них абразивного материала в течение 116 ча-

сов показаны на рис. 1 и 2 (кривые 2). Граница между переходной и квадратической областями в данном случае сдвигается в сторону больших значений Re (около $3,5 \cdot 10^5$) или при средней скорости около 4 м/с. Следует ожидать, что рабочая зона для сглаженных базальтовых труб полностью будет совпадать с переходной областью сопротивления. Кривая гидравлического уклона сглаженных труб (рис. 2, кривая 2) значительно приближается к кривой гладких труб, но можно считать, что процесс сглаживания незакончен.

Опыты с базальтовыми трубами диаметром 150 мм проведены в диапазоне значений Re от $1,19 \cdot 10^5$ до $4,99 \cdot 10^5$, причем средняя величина эквивалентной шероховатости 0,0414. Квадратическая область сопротивлений наступает при Re в интервале $(2,85 - 3,0) \cdot 10^5$ или при скорости около 2,0 м/с. Величина коэффициента трения в этой области составляет в среднем 0,0163.

Средние величины эквивалентной шероховатости базальтовых труб диаметром 102 и 150 мм, как и ожидалось, почти одинаковые. Ее усредненная величина для новых базальтовых труб обоих диаметров, которую принимаем в качестве эквивалентной шероховатости всех базальтовых труб, изготавливаемых на заводе в г. Плячковиц, составляет 0,0404. Учитывая увеличение сопротивлений из-за некачественного монтажа в производственных условиях ($K' = 1,15$) формула Альтшуля отнесенная к нашим базальтовым трубам, приобретает следующий окончательный вид:

$$\lambda = 0,126 \cdot \left(\frac{0,0404}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \dots \dots \dots (2)$$

Предложенная формула для определения коэффициента трения в базальтовых трубах, полученная Альтшулем при помощи полумпирической теории турбулентного движения, обладает всеми положительными сторонами теоретически обоснованных уравнений. Выражение действительно для трех областей турбулентного движения, для всех однородных ньютоновских жидкостей, при любых скоростях протекания и любых диаметрах труб. Формула допускает экстраполяцию вне границ опытных данных.

Эквивалентная шероховатость выпускаемых в НР Болгария базальтовых труб значительно ниже эквивалентной шероховатости базальтовых труб, изготовленных за границей. Это основывается прежде всего на качестве используемого исходного сырья. В зависимости от принятой технологии производства базальтовых труб и в результате значительных различий в кислотности и минералогическом составе использованного породного сырья шероховатость стенок и стоимость механических и прочностных показателей труб не-

яется в широких границах.

Для быстрого и точного определения износостойкости базальтовых труб при гидротранспорте мелкозернистых абразивных твердых материалов потребовалось использовать лабораторный метод, напоминающий наиболее точно механизм гидроабразивного износа труб. Результаты лабораторных исследований износостойкости базальта является часто противоречивыми и могут использоваться только после анализа условий проведения эксперимента. Ни один из использованных лабораторных стендов, однако невозможно принять в качестве универсального, а получаемые результаты не являются верными для всех видов абразивного износа. Это особенно хорошо видно из многочисленных исследований вопросов абразивного износа, проведенных Велингером и Уетцом [7]. Большинство проведенных исследований по износостойкости базальта и других материалов в условиях гидротранспорта проводятся на стендах, при которых принимаются высокие скорости движения образцов или гидросмеси, где кинетическая энергия даже самых мелких частиц становится значительной. Эти условия не являются характерными для гидротранспорта и изменяют механизм процесса износа [4].

Основная часть исследований была проведена в лабораторных условиях, где имеется возможность быстрого получения результатов, более легкого их воспроизведения и изолирования влияния посторонних факторов.

Был использован многократно применяемый нами вращающийся трубный кольцевой стенд, на котором точно воспроизводится процесс транспортирования гидросмесей в трубопроводах [3].

Износостойкость труб различного материала оценивается с помощью коэффициента относительной износостойкости (ε). Если в качестве эталона для сравнения принять износостойкость стальных труб ($\varepsilon = 1$), то величина коэффициентов для базальта, поливинилхлорида и полиэтилена составляет соответственно 26,6; 1,7 и 4,3. Этот коэффициент показывает пропускную способность стандартно изготавливаемых труб, не учитывая, что запасная толщина у одних труб значительно больше, чем у других.

Более полное представление о эффективности использования труб из того или иного материала даст расходный и особенно стоимостный коэффициент замены стальных эталонных труб.

Коэффициент расхода на замену показывает количество изношенного материала в трубе, которое сопоставляется с износом эталонных труб при транс-

портирования одного и того же количества абразивного материала. Он дает объемное соотношение потерь материала испытываемых и эталонных труб, не учитывая на их пень, которая варьирует в широких границах. При величине коэффициента для стали 1,0 соответствующие его величины для базальта, поливинилхлорида и полиэтилена следующие - 0,11; 0,4 и 0,12.

Стоимостный коэффициент замены показывает стоимость поставки и монтажа труб из сравниваемого материала по отношению к величине стальных труб при транспортировании одного и того же количества твердого материала. Он характеризует наиболее точно экономическую эффективность использования труб из одного или другого материала. Его величины для стали, базальта, поливинилхлорида и полиэтилена составляют 1,0; 0,12, 0,9 и 0,07.

Самые точные данные об интенсивности гидроабразивного износа, а также для определения коэффициентов износостойкости и замены получаются при исследованиях, проведенных в промышленных условиях. Их использование, однако затрудняется большой продолжительностью испытаний и отсутствием возможности непрерывной регистрации параметров гидротранспорта. Значительные по своему объему натурные исследования, проведенные на действующих в НРБ гидротранспортных установках, подтвердили основные выводы лабораторных экспериментов. Было установлено, что базальтовые трубы целесообразно использовать там, где происходит непосредственный износ в результате скользящего движения абразивных частиц и где отсутствуют ударные нагрузки. Использование 1 тонны базальтовых труб экономит для народного хозяйства более 6 тонн высококачественной и дефицитной стали. Стоимость базальтового трубопровода приблизительно в 8 раз ниже стоимости стального трубопровода с тем же диаметром, пропускающего то же количество твердого материала, не учитывая дополнительных расходов на его содержание и ремонт.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Альтшуль А.Д. "Гидравлические сопротивления", 1982
- [2] Коберник С.Г. и др. "Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов", Киев 1967
- [3] Кусев В.М. "Количественная оценка критерия абразивности гидросмесей, содержащих мелкозернистые полиминеральные твердые частицы", *Viertes Kolloquium mit internationaler Beteiligung über Hydromechanisation*. "HYDROMECHANISATION 4". (Band 2), B4-1 - B4-13, Karl-Marx-Stadt, 1983

[4] Юдин А.В. "Защита трубопроводов от износа при транспортировании твердого материала", "Труды Института горного дела. МЧМ СССР", вып. 15, 1967, Свердловск

[5] Шевелев Ф.А. "Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах", 1953

[6] Voldan J. "Die Anwendung von Schmelzbasalt in Bergbau-Anforderungen an seine Eigenschaften und die bisherigen Erfahrungen", "Bergbautechnik", 1964, No. 11

[7] Weßlinger K., Uetz H., "Gleitverschleiß, Spülverschleiß, Strahlverschleiß unter der Wirkung von körnigen Stoffen", "VDI - Forschungsheft", No. 449, 1955.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard GRYBÓŚ

Wpłynęło do Redakcji 1987.03.05

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA RUR BAZALTOWYCH PRODUKOWANYCH W BUŁGARII DLA TRANSPORTU HYDRAULICZNEGO STAŁYCH SYPKICH MATERIAŁÓW

S t r e s z c z e n i e

W pracy omówiono techniczne możliwości wykorzystania w hydrotechnice transportu hydraulicznego produkowanych w zakładach NPP "Petrurgija" miasto Płaczkowcy (BRL) odśrodkowo odlewanych rur bazaltowych i ekonomiczna celowość ich wdrażania.

Przeprowadzono dokładne badania celem określenia wartości hydraulicznego oporu w rurach, które proponuje się wykorzystywać w cienkościennej stalowych obudowach z przyepawanymi kołnierzami i z wstawionymi w nich trzema jednometrowymi rurami bazaltowymi.

Nie zważając na to, że rury bazaltowe z dużym powodzeniem wykorzystywane są w szeregu hydro- i pneumatycznych urządzeniach w większości europejskich krajów w literaturze technicznej brakuje wyrażenia analitycznego lub konkretnych wskazówek dotyczących określenia współczynnika tarcia w nich. To w dużym stopniu ogranicza projektantów przy zastosowaniu bazaltowych rur w systemach transportu hydraulicznego nawet w przypadkach celowości ich wykorzystania.

Jako końcowy rezultat tych badań proponuje się wyrażenie dla określenia współczynnika k w rurach bazaltowych produkowanych w BRL.

Przytoczono rezultaty badań w warunkach naturalnych i laboratoryjnych związanych z określeniem zużywalności rur bazaltowych przy przejściu przez nich ściśniętej mieszaniny hydraulicznej.

Porównywanie z rurami zrobionymi z innych materiałów wykorzystywanych w urządzeniach transportu hydraulicznego przeprowadza się na podstawie współczynnika zużywalności oraz wprowadzeniem przez autorów współczynnika wartości i kosztów tej zamiany.

Badania wskazują na znaczną przewagę bazaltów ze względu na trwałość. Nie zważając na dość wysoki początkowy koszt wykorzystania rur bazaltowych jest 10-krotnie ekonomiczniejsze jeżeli wziąć pod uwagę ilość materiału ściernego przypuszczonego do chwili całkowitej ich amortyzacji.

APPLICATION CONSIDERATIONS ON BULGARIAN BASALT PIPES IN THE BULK SOLIDS HYDRAULIC TRANSPORT

S u m m a r y

In this paper consideration is given to the technical opportunities for applying in the hydrotechnics and hydraulic transport systems of centrifugally cast basalt pipes, produced by NPP "PETRURGIA", town of Plachkovci, P.R. BULGARIA. The economic expedience of the basalt pipes introduction is also discussed. Through investigations have been conducted for determination of hydraulic resistance magnitude in the basalt pipes, which are available mounted in the steel wall shells with welded flanges, where three one meter long basalt inserts are placed. Regardless of the succesful basalt pipes hydraulic and pneumatic transport applications in a number of European countries, in the technical literature there is a lack of analytical terms and particular directions for determining the friction factor in such pipes. For this reason the designers are to great extend hindered in applying basalt pipes in the hydraulic transport systems, even when there is an obvious advantage in this approach.

As a result of these investigations an equation for the friction factor of the basalt pipes produced in our country is proposed.

Laboratory and field tests have been conducted to define wear resistance of our basalt pipes against the influence of abrasive hydromixtures. Comparison study is made with pipes of other materials, using their wear-resistance factors and the introduced by the authors cost and value factors of the change from steel to basalt pipes. The investigations reveal significant advantages of the basalt pipes, especially their durability. The application of basalt pipes, except for the higher initial costs, is ten times more economical, considering the total quantity of abrasive material transported through the pipes, before they wear out.