

ОБОСНОВАНИЕ НАУЧНОГО ПОДХОДА

К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА В ПЛАСТМАССОВЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Владимир Шурыгин

к.т.н., ВГМК

Евгений Семененко

к.т.н., с.н.с., ИГТМ НАН Украины

На обогатительных фабриках горно-обогатительных комбинатов (ГОК) Украины отходы обогащения отводятся посредством напорных гидротранспортных комплексов, а на таких предприятиях, как Вольногорский горно-металлургический комбинат (ВГМК) и Иршанский ГОК напорные гидротранспортные комплексы используются и для доставки исходных песков на обогатительные фабрики [1-4]. Кроме того, известны примеры применения этого вида транспорта при разработке техногенных месторождений, когда лежалые отходы из хранилища подаются на повторное обогащение. Такое широкое применение трубопроводного гидротранспорта на предприятиях горнорудной промышленности обусловлено характером транспортируемых сред, технологической совместимостью и его преимуществами в данных условиях над другими видами транспорта: конвейерным, автомобильным и железнодорожным [1, 2, 5-10].

Опыт эксплуатации украинских и зарубежных обогатительных фабрик показывает, что за время их работы протяженность магистралей гидротранспортных комплексов, обеспечивающих доставку перерабатываемого сырья и отведение отходов обогатительного производства, постоянно увеличивается [1, 2, 4]. По мере отработки месторождения фронт горных работ и места складирования отходов удаляются от обогатительных фабрик, что требует перемещения насосной станции и увеличения длин трубопроводов.

Периодическое удлинение трубопровода гидротранспортного комплекса без установки дополнительных насосов или увеличения диаметров рабочих колес ограничено из-за возникновения критических режимов течения, которые резко снижают эффективность и надежность гидротранспортирования [1-4].

Например, опыт эксплуатации карьерного гидротранспортного комплекса ВГМК, показывает, что зачастую для

обеспечения сверхкритических режимов работы после удлинения трубопровода необходима мощность меньшая, чем мощность еще одного насоса, а заменить существующие рабочие колеса на рабочие колеса с большим диаметром невозможно [1, 2, 4]. В этом случае установка еще одного насоса значительно увеличивает капитальные затраты и энергоемкость гидротранспортирования, а также интенсифицирует износ трубопроводов, запорной арматуры и проточных частей других насосов. Кроме того, из-за нестабильности параметров транспортируемого материала карьерный гидротранспортный комплекс после удлинения трубопровода может периодически работать то в сверхкритических режимах, то в режимах с частичным заилением трубопровода, что снижает эффективность функционирования всей технологической цепочки от узла пульпообразования в карьере до батареи гидроциклонов на обогатительной фабрике.

В такой ситуации необходимо обеспечить регламентированную производительность гидротранспортного комплекса со скоростями, превышающими критическую. Это может быть достигнуто или повышением мощности используемых насосов, или снижением гидравлического сопротивления магистрали.

Данная проблема актуальна и имеет большую практическую важность. С одной стороны, план разработки месторождений и введения в эксплуатацию новых карт намыва хвостохранилищ определяется с учетом экономических, горно-геологических и экологических факторов, а поэтому в принципе не может учитывать режимы работы гидротранспортных комплексов. С другой стороны, важность ресурсо- и энергосбережения на предприятиях горнорудной промышленности регламентируется рядом государственных и региональных программ, а также ограничениями на электроэнергию, энергоносители и основной экологический ресурс – воду.





Вопрос снижения гидравлических сопротивлений при течении гидросмеси и воды рассматривался в работах отечественных и зарубежных специалистов [1, 4-12]. Анализ результатов этих исследований позволил выделить следующие методы, которые могут быть применены для условий гидротранспорта: наложение на поток продольных пульсаций скорости [6]; покрытие внутренней поверхности труб материалом с низким коэффициентом трения [3, 5, 7]; добавление в транспортируемую среду поверхностно активных или гидродинамически активных веществ [10, 11]; использование дополнительных струйных насосов [3, 8, 9].

Наиболее перспективными, по мнению авторов, для гидротранспортных комплексов являются методы снижения гидравлических сопротивлений не за счет покрытия внутренней поверхности трубы материалом с низким коэффициентом трения, а путем замены стальных труб на полиэтиленовые, так как развитие отечественной и зарубежной промышленности позволило за последние годы существенно продвинуться в создании труб и запорной арматуры из полимерных материалов. Появилась возможность использовать полиэтиленовые трубы вместо стальных не только для подачи питьевой и технической воды, но и для гидротранспортирования исходных песков на обогащательное производство, а также для отведения отходов их переработки.

Возможность этого была впервые доказана экспериментальным путем в условиях гидротранспортного комплекса ВГМК, когда в апреле 2006 года был введен в эксплуатацию опытный участок полиэтиленовой трубы длиной 160 м, смонтированный на рабочем трубопроводе. Применена труба ПЭ 80 SDR 21 диаметром 630 мм с толщиной стенки 30 мм, рассчитанная на рабочее давление до 6 атм. По положению на конец 2006 года трубопровод отработал более 3500 часов, подано более 2 млн м³ рудных песков. Плотность пульпы в зависимости от режима работы гидротранспортного комплекса изменялась от 1,01 до 1,22 т/м³. При осмотре внутренней части трубы замечен износ только выступающей части сварочного шва. Внутренняя часть трубы практически вся гладкая, небольшая шероховатость заметна только в нижней части трубы в пределах от 200 до 300 мм по дуге. Замер толщины трубы ультразвуковым переносным прибором показал износ не более 1,5 мм. Окончательный вывод об износостойкости полиэтиленовых

труб делать еще рано. Но учитывая то, что стоимость стальных труб сегодня практически сравнялась со стоимостью полиэтиленовых труб с рабочим давлением до 6 атм., можно предположить, что применение полиэтиленовых труб на участках трубопровода, где рабочее давление не превышает 6 атм., экономически выгодней, чем применение стальных труб.

Однако расчет гидравлического сопротивления таких труб затруднен из-за отсутствия данных о зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса, методик расчета критических скоростей гидротранспортирования и дополнительных гидравлических уклонов, обусловленных присутствием твердых частиц.

Отечественные производители полиэтиленовых труб не располагают такими данными, а зарубежные или приводят номограммы с диапазонами расходов, не характерными для гидротранспортных комплексов ГОКов, или указывают, что эта величина для полиэтиленовых труб меньше, чем для чугунных в 100, а то и в 1000 раз.

Немного лучше изучена зависимость гидравлического уклона от скорости при течении воды в полиэтиленовых трубопроводах [12-15]. Ряд авторов приводят близкие формулы, которые можно обобщить в одну, однако использовать их для расчета параметров гидротранспорта затруднительно, так как эти методики:

- не учитывают изменение вязкости несущей жидкости;
- не учитывают влияние шероховатости стенки трубопровода, которая изменяется в процессе эксплуатации;
- предназначены для расчета гидравлических уклонов несущей жидкости и не могут быть применены для расчета дополнительных гидравлических уклонов, обусловленных присутствием в потоке твердых частиц;
- не позволяют рассчитать критическую скорость гидротранспортирования.

Цель статьи – на основании известных методов расчета параметров гидротранспорта в стальных трубопроводах разработать и обосновать научный подход расчета критической скорости и гидравлического уклона в полиэтиленовом трубопроводе с учетом изменения шероховатости внутренней стенки трубы.

Известные методики расчета гидравлического уклона при течении воды в полиэтиленовых трубопроводах (ISO TR 10501, СНиП 2.04.02-84, СП 40-102-2000) рекомендуют формулы, которые можно обобщить в одну вида [12-15]:

$$i_0 = K \frac{V^n}{D^m}, \quad (1)$$

где i_0 – гидравлический уклон, м вод. ст./м;

V – средняя скорость воды, м/с;

D – внутренний диаметр трубопровода, м;

K, n и m – эмпирические константы, средние значения которых можно принимать равными $K = 0,000565, n = 1,771, m = 1,223$.

Так как авторы не объясняют структуру коэффициента K , то невозможно установить, что он учитывает. Это, в свою очередь, не позволяет с достаточной уверенностью применять формулы вида (1) для расчета потерь напора, обусловленных движением несущей жидкости.

Для полиэтиленовых и поливинилхлоридных труб, согласно рекомендациям отечественных специалистов, может быть использована следующая формула [4, 12]:

$$\lambda = \frac{0,288}{Re^{0,226}}; \quad (2)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu_0}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления;
 Re – критерий Рейнольдса;
 ν_0 – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с.

Авторами статьи в результате математической обработки номограмм фирмы Wavin для труб ПЭ 80, ПЭ 100 и ПВХ с диаметрами от 50 до 630 мм и номинальным давлением 6, 10 и 16 атм., для расходов от 0,1 до 1000 л/с коэффициент гидравлического сопротивления рекомендуется определять по формуле [4]:

$$\lambda = \frac{0,0784}{Re^{0,1158}}. \quad (4)$$

Формулы (2) – (3) в отличие от выражения (1) в явном виде учитывают вязкость и плотность континуума, и поэтому могут быть использованы для расчета гидравлического уклона при течении несущей жидкости – суспензии из воды и глинистых частиц.

Из сравнения коэффициентов гидравлического сопротивления для стальных и полиэтиленовых труб, рассчитанных по формуле (4), следует, что в рассматриваемом диапазоне расходов эта величина для стальных труб превосходит значение для полиэтиленовых труб в среднем в 4,29 раза (от 3,99 до 4,51) или на 76,68% (от 74,93 до 77,81%) [4].

На основании выражений (2) и (4) можно предположить, что для получения формулы (1) использовались следующие зависимости:

$$\lambda = \frac{A}{Re^B};$$

$$i_0 = \lambda \frac{\rho_0 V^2}{2gD};$$

$$Re = \frac{VD}{\nu_0}.$$

Тогда коэффициенты в формуле (1) могут быть определены так:

$$K = \frac{A \rho_0 \nu_0^B}{2g};$$

$$n = 2 - B;$$

$$m = B + 1,$$

а отличие плотности и вязкости несущей жидкости от воды может быть учтено следующим образом:

$$K = K_0 \frac{\rho}{\rho_0} \left[\frac{\nu}{\nu_0} \right]^{2-n}, \quad (5)$$

где K – значение коэффициента при течении несущей жидкости;

K_0 – значение коэффициента при течении воды;

ρ – плотность несущей жидкости, кг/м³;

ρ_0 – плотность воды, кг/м³;

ν – кинематический коэффициент вязкости несущей жидкости, м²/с.

Однако в этом случае величины n и m взаимозависимы, и между ними должна существовать линейная связь $n = 3 - m$, что не подтверждается рекомендованными в ISO TR 10501, СНиП 2.04.02-84, СП 40-102-2000 значениями.

Таким образом, наверное, имеет смысл для расчета величины λ при напорном гидротранспорте в полиэтиленовых трубах использовать формулу, рекомендованную специалистами Института гидромеханики НАН Украины для условий гидротранспорта песчаных смесей по стальным трубопроводам [8, 9, 16-18]:

$$\lambda = \frac{a}{(\lg Re - b_{\Delta})^2}, \quad (6)$$

где a – экспериментальная константа;

b_{Δ} – коэффициент, учитывающий состояние внутренней поверхности трубопровода.

Возможность использования формулы (6) при расчетах величины λ для полиэтиленовых труб обосновывается тем, что при гидротранспортировании сыпучих материалов полиэтиленовые трубы, как и стальные, являются гидравлически гладкими [8, 9, 16-18].

Опыт эксплуатации стальных труб для гидротранспорта россыпей, концентратов руд и отходов обогащения показывает, что внутренняя поверхность труб шлифуется транспортируемым материалом, и уже через 100 часов работы эти трубы можно считать гидравлически гладкими, для которых коэффициент гидравлического сопротивления вычисляется по формуле (6) [8, 9]. Полиэтиленовые трубы, как доказано в работах [19], могут считаться гладкими из-за малой шероховатости внутренней поверхности.

При этом формула (6) с помощью коэффициента b_{Δ} , если известна его зависимость от шероховатости, может учитывать изменения величины λ как при шлифовании стальных труб, так и при увеличении шероховатости труб из полиэтилена. С использованием формулы (6), гидравлический уклон при течении несущей жидкости можно вычислить по формуле:

$$i_0 = \frac{a}{(\lg Re - b_{\Delta})^2} \frac{V^2}{2gD} \frac{\rho}{\rho_0} \quad (7)$$

При расчетах по формуле (7) изменение вязкости несущей жидкости по сравнению с вязкостью воды учитывается критерием Рейнольдса.

Возможность определения остальных параметров гидротранспорта в полиэтиленовых трубопроводах зависит от используемой методики расчета, которые условно можно разделить на три группы [1-3, 5-9, 16-18, 20].

К первой группе следует отнести методики, в которых предполагается, что каждый из классов крупности транспортируемого материала вносит свой вклад в величины гидравлического уклона и критической скорости пропорционально массовой доле. Наиболее известными методиками этой группы являются методики А.Е.Смолдырева и П.Г.Дмитриева. Если транспортируемый материал не содержит частиц крупностью более 2 мм, то с использованием формулы (7) по этим методикам можно формально определить все параметры гидротранспорта, так как неизвестно, зависят ли дополнительные гидравлические уклоны от состояния стенки трубы.

При этом формулы, предложенные А.Е.Смолдыревым для расчета параметров гидротранспорта полидисперсных гидросмесей, могут быть записаны так [7]:

$$V_{кр} = C_0 \sqrt{gD} \sqrt[3]{\frac{w}{d_{cp}} \frac{Ar(1-S)^2}{(1+ArS)}}; \quad (8)$$

$$i = i_0 \left(1 + \frac{Ar(1-S)}{(1+ArS)} S \right) + C_1 \frac{w}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} \frac{Ar(1-S)^2}{(1+ArS)}; \quad (9)$$

$$Ar = \frac{\rho_T - \rho_0}{\rho_0}, \quad (10)$$

где S – объемная концентрация частиц тонкой фракции, д. ед.; Ar – параметр Архимеда;

$V_{кр}$ – критическая скорость гидротранспортирования, м/с;
 ρ_T – плотность частиц транспортируемого материала, кг/м³;
 d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц мелкой фракции, м;
 w – скорость стесненного падения частиц мелкой фракции, м/с;
 C_0, C_1 – эмпирические константы.

Формулы, полученные Г.П.Дмитриевым для расчета параметров гидротранспорта полидисперсных гидросмесей, имеют вид [5]:

$$V_{кр} = C_{k1} \sqrt[3]{wgDArS_2 \frac{1-S_0-S_1}{1+Ar(S_0+S_1)}}; \quad (11)$$

$$i = C_{k0} \frac{\lambda_1}{\lambda_0} [1 + (S_c + S_1) Ar] i_0 + Ar C_{k2} S_2 \frac{w_c}{V} \frac{1-S_0-S_1}{1+Ar(S_0+S_1)}; \quad (12)$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\left(1.8 \lg \left(\frac{\rho_c V D}{\mu_c} \right) - 1.52 \right)^2}, \quad (13)$$

где λ_c – коэффициент гидравлического сопротивления для суспензии с частицами крупностью менее 0,074 мм;
 S_c – объемная доля частиц крупностью менее 0,074 мм;
 ρ_c – плотность суспензии с частицами крупностью менее 0,074 мм;
 μ_c – динамический коэффициент вязкости суспензии с частицами крупностью менее 0,074 мм;
 C_{k0}, C_{k1}, C_{k2} – эмпирические коэффициенты [5, 7].

При наличии в материале частиц крупностью более 2 мм при расчете по этим методикам необходимо знать величину обобщенного коэффициента трения частиц о стенку пластмассовой трубы. А такие данные известны только для стальных трубопроводов.

При этом зависимости, предложенные А.Е.Смолдыревым [7], могут быть записаны так:

$$V_{кр} = C_0 \sqrt{gD} \sqrt[3]{\frac{wS_2}{d_{cp}} \frac{Ar(1-S_1)}{(1+ArS_1)}} + B_0 \sqrt{fgDS_3} \frac{Ar(1-S_1)}{(1+ArS_1)}, \quad (14)$$

$$i = i_0 \left(1 + \frac{Ar(1-S_1)}{(1+ArS_1)} S_1 \right) + \left(C_1 S_2 \frac{w}{V} \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} + f S_3 \right) \frac{Ar(1-S_1)}{(1+ArS_1)}, \quad (15)$$

где S_1, S_2, S_3 – объемные концентрации соответственно тонких, мелких и кусковых фракций;
 B_0 – эмпирическая константа;
 f – обобщенный коэффициент трения частиц о нижнюю стенку трубы.

Формулы, полученные Г.П. Дмитриевым, имеют вид [5]:

$$V_{кр} = C_{k1} \sqrt[3]{wgDArS_2 \frac{1-S_0-S_1}{1+Ar(S_0+S_1)}} + C_{k3} \sqrt[3]{gDArS_3 \frac{1-S_0-S_1}{1+Ar(S_0+S_1)}}, \quad (16)$$

$$i = C_{k0} \frac{\lambda_1}{\lambda_0} [1 + (S_c + S_1) Ar] i_0 + Ar \left(C_{k2} S_2 \frac{w_c}{V} + C_{k4} S_3 \right) \frac{1-S_0-S_1}{1+Ar(S_0+S_1)}, \quad (17)$$

где C_{k3}, C_{k4} – эмпирические коэффициенты.

Авторы этих методик не регламентируют выбор значений эмпирических коэффициентов $C_0, C_1, B_0, f, C_{к0}, C_{к1}, C_{к2}, C_{к3}$ и $C_{к4}$, которые варьируются в значительных пределах, а поэтому неизвестно, изменяются ли их значения при течении в полиэтиленовом трубопроводе [5, 7, 17].

Методики второй группы используют для расчета параметров гидротранспорта осредненные характеристики транспортируемого материала, а критическую скорость определяют как решение нелинейного уравнения. Наиболее известными методиками этого типа являются методики С.И.Криля и Ю.К.Витошкина. Расчет критической скорости и полного гидравлического уклона по этим алгоритмам требует данных о кинематической структуре потока в трубопроводе, а также знания зависимости коэффициента трения частиц о дно трубопровода в критическом режиме. Однако эти данные исследованы только для потоков гидросмеси в стальных трубопроводах [8, 9, 16, 18].

К третьей группе можно отнести алгоритмы расчета параметров гидротранспорта по осредненным характеристикам транспортируемого материала, которые используют эмпирические зависимости для определения критической скорости гидротранспортирования. Наиболее известными методиками этого типа являются методики А.П.Юфина, С.Г.Коберника и В.И.Войтенко, В.М.Карасика. Однако без усовершенствования ни одна из них не может быть использована для расчета параметров течения в полиэтиленовом трубопроводе.

Обобщая работы многих авторов, Н.А.Силин получил универсальные формулы для расчета параметров гидротранспорта в шлифованных и шероховатых трубах на основе их значений в критическом режиме [8, 9, 16]. Для шлифованных труб это зависимость вида

$$i = \frac{i_{\min}}{3-n} \left[\frac{\lambda}{\lambda_{\min}} \left(\frac{V}{V_{\min}} \right)^2 + (2+n) \frac{V_{\min}}{V} \right], \quad (18)$$

а для шероховатых труб

$$i = \frac{i_{\min}}{3} \left[\left(\frac{V}{V_{\min}} \right)^2 + 2 \frac{V_{\min}}{V} \right]; \quad (19)$$

$$i_{\min} = \lambda_{\min} \left(1 + 2,5 \cdot \sqrt[6]{\frac{C}{Ar}} \right) \frac{V_{\min}^2}{2gD}; \quad (20)$$

$$V_{\min} = 0,8 V_{кп} \sqrt[12]{\frac{C}{D}}; \quad (21)$$

$$\lambda = \frac{B}{Re^n}, \quad (22)$$

где λ и λ_{\min} – коэффициенты гидравлических сопротивлений при движении чистой воды со средними скоростями V и V_{\min} соответственно;
 C – объемная концентрация пульпы, д. ед.;

V_{\min} – скорость, при которой гидравлические сопротивления минимальны, м/с;

i_{\min} – минимальные гидравлические сопротивления, м вод.ст.

Преимуществом выражений (8)-(13) является их универсальность, а также возможность использования формулы вида (1). Однако эта методика не позволяет определить критическую скорость гидротранспортирования в полиэтиленовых трубах.

Методика В.М.Карасика [9] при расчете параметров гидротранспорта в полиэтиленовых трубопроводах также не учитывает влияние материала трубопровода на критическую скорость:

$$i = \frac{\lambda}{1-e^{-n}} \frac{V^2}{2gD}; \quad (23)$$

$$V_{кп} = 6 \sqrt[3]{2gDw} \sqrt{\frac{\rho_{\tau} - 1}{\rho_0}} \sqrt[6]{C}; \quad (24)$$

$$\lambda = \frac{a}{(\lg Re - b_{\Delta})^2};$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{C}} \left(1 - 0,7 \frac{V_{кп}}{V} \right);$$

$$C = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_{\tau} - \rho_0}, \quad (25)$$

где w – гидравлическая крупность твердых частиц, м/с.

Зависимости (18)-(25) не учитывают параметры гранулометрического состава частиц, характеризующие его разнородность. Среди алгоритмов третьей группы наиболее полно особенности гранулометрического состава транспортируемого материала учитывает методика С.Г.Коберника и В.И.Войтенко, однако и в ней не учитывается влияние материала трубопровода на критическую скорость [18].

Этот недостаток для методик третьей группы может быть устранен, если вместо используемых в них эмпирических формул применить обобщенную зависимость, полученную специалистами ИГМ НАН Украины [9]:

$$V_{кп} = 9 \sqrt{\text{Arg} D} \frac{V}{\Delta} \sqrt[6]{C \psi}, \quad (26)$$

где Δ – шероховатость внутренней поверхности трубопровода, мм;

ψ – коэффициент фиктивного лобового сопротивления [9, 20].

Использование формул (6) и (25) совместно с методикой С.Г.Коберника и В.И.Войтенко позволяет определить все параметры гидротранспорта для полиэтиленового трубопровода в зависимости от состояния внутренней поверхности трубы:

$$i = i_0 \frac{\rho}{\rho_0} + \xi \frac{\lambda_{кр}}{V} \sqrt{\psi C A \gamma} \frac{v}{\Delta} ; \quad (27)$$

$$\lambda_{кр} = \frac{a}{(\lg Re_{кр} - b_{\Delta})^2} , \quad (28)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от плотности и концентрации твердых частиц [18].

Анализ формул (26)-(28) показывает, что значения параметров гидротранспорта для полиэтиленовых труб в процессе их эксплуатации будут определяться изменением величины Δ и видом функциональной зависимости $b_{\Delta}(\Delta)$.

Можно предположить, что в результате взаимодействия с транспортируемым материалом полиэтиленовые трубопроводы в отличие от железных не шлифуются, а «лохматятся», то есть их шероховатость увеличивается. Естественно, при этом потери напора при движении воды возрастают. На основании этого можно спрогнозировать, что величина $b_{\Delta}(\Delta)$ с увеличением Δ также возрастает.

Таким образом, в рамках методического подхода, используемого в алгоритмах третьей группы, можно сделать следующие прогнозы относительно параметров гидротранспорта для полиэтиленовых трубопроводов:

- в новых полиэтиленовых трубопроводах значение полного гидравлического уклона может быть меньше, чем в стальных такого же диаметра;
- по мере эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов величины гидравлических уклонов, обусловленных течением несущей жидкости, могут возрасти, а величины гидравлических уклонов, обусловленных взвешиванием твердых частиц, – снижаться;
- в процессе эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов для каждого значения шероховатости внутренней поверхности трубы может существовать скорость течения пульпы, при которой полный гидравлический уклон будет минимальным;
- критические скорости гидротранспортирования в новых полиэтиленовых трубопроводах могут быть выше, чем в стальных такого же диаметра, однако этот фактор может оказаться несущественным, так как рабочие скорости пульпы в полиэтиленовых трубопроводах будут большими, чем в стальных;
- по мере эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов значение критической скорости в них будет уменьшаться и со временем, при значительном увеличении шероховатости, может стать меньшим, чем критическая скорость в стальных трубопроводах.

Литература

1. Баранов Ю.Д., Блюсс Б.А., Семенов Е.В., Шурыгин В.Д. Обоснование параметров и режимов работы систем

гидротранспорта горных предприятий. – Д.: Новая идеология, 2006. – 416 с.

2. Гуменик И.Л., Сокол А.М., Семенов Е.В., Шурыгин В.Д. Проблемы разработки россыпных месторождений. – Д.: Січ, 2001. – 224 с.

3. Звягельский Е.Л., Блюсс Б.А., Назимко Е.И., Семенов Е.В. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения. – Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.

4. Шурыгин В.Д., Семенов Е.В., Никифорова Н.А. Анализ способов повышения эффективности работы гидротранспортного комплекса // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. №6, 2005, с. 70-74.

5. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.

6. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 191 с.

7. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 390 с.

8. Силин Н.А., Коберник С.Г. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов. – К.: Изд-во АН Украинской ССР, 1962. – 138 с.

9. Силин Н.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Очеретько В.Ф. Гидротранспорт (вопросы гидравлики). – К.: Наук. думка, 1971. – 158 с.

10. Ступин А.В., Асланов П.В., Симоненко А.П., Быковская Н.В., Фоменко С.А. Применение гидродинамически активных добавок полимеров и поверхностно-активных веществ в энергосберегающих технологиях // *Прикладна гідромеханіка*, 2001, т. 3 (75), № 1, с. 74-81.

11. Погребняк В.Г., Писаренко А.А. Растворы полимеров в условиях пристеночной турбулентности и механизм снижения гидравлического сопротивления // *Прикладна гідромеханіка*, 2000, т. 2 (74), № 2, с. 83-95.

12. Альшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

13. ISO TR 10501 Thermoplastics pipes for the transport of liquids under pressure – Calculation of head losses.

14. СП 40-101-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов из полипропилена «рандом сополимер».

15. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.

16. Юфин А.П. Гидромеханизация. – М.: Стройиздат, 1965. – 496 с.

17. Криль С.И. Напорные взвесенесущие потоки. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.

18. Коберник С.Г., Войтенко В.И. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. – К.: Наук. думка, 1967. – 140 с.

19. Швабауэр В.В., Гвоздев И.В., Горилловский М.И. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс // *Полимерные трубы*. №1 (6), 2005, с. 36-40.

20. Трайнис В.В. Параметры и режимы гидравлического транспортирования угля по трубопроводам. – М.: Наука, 1970. – 191 с.