

УДК 622.648.01-9:621.643.29

**Семененко Е.В.**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

**Никифорова Н.А.**, канд. техн. наук, доцент  
(НМетАУ)

**Татарко Л.Г.**, магистр  
(ДВУЗ «УГХТУ»)

### **ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ЗАМЕНЕ СТАЛЬНЫХ ТРУБ НА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЕ**

**Семененко Є.В.**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.  
(ІГТМ НАН України)

**Никифорова Н.А.**, канд. техн. наук, доцент  
(НМетАУ)

**Татарко Л.Г.**, магістр  
(ДВНЗ «УДХТУ»)

### **ПРОЕКТУВАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВОДНИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЙ ГІДРОМЕХАНІЗАЦІЇ ПРИ ЗАМІНІ СТАЛЕВИХ ТРУБ НА ПОЛІЕТИЛЕНОВІ**

**Semenenko Ye.V.**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

**Nikiforova N.A.**, Ph.D. (Tech), Associate Professor  
(NMetAU)

**Tatarko L. G.**, M.Sc. (Tech.)  
(USUCT)

### **DESIGN CALCULATION OF THE PIPELINE SYSTEMS FOR HYDROMECHANIZATION TECHNOLOGIES WHEN STEEL PIPES ARE REPLACED BY THE POLYETHYLENE ONES**

**Аннотация.** Предметом исследования являются расходно-напорные характеристики магистралей трубопроводных систем технологий гидромеханизации, состоящих из участков стальных и полиэтиленовых труб. Целью исследования является разработка методики проектного расчета таких трубопроводных систем для гидротранспорта полидисперсных материалов, содержащих частицы с различной плотностью. В статье приводятся формулы для расчета критического диаметра трубопровода, а также гидравлического уклона при течи воды и гидросмеси со скоростью выше критической в зависимости от параметров транспортируемого материала, диаметра трубопровода, материала труб, длины и геодезических подъемов участков магистрали. Исследовано влияние длины участка полиэтиленовой трубы на гидравлические уклоны, обусловленные присутствием в транспортируемом материале частиц различных фракций.

**Ключевые слова:** гидравлический уклон, критическая скорость, полиэтиленовые трубы.

**Введение.** Наиболее перспективным методом повышения эффективности систем трубопроводного транспорта горно-обогатительных комбинатов (ГОК) являет-

ся использование труб из полимерных материалов (ПТ), что снижает затраты – как капитальные (за счет стоимости самих труб и услуг по транспортировке и монтажу), так и эксплуатационные (за счет снижения гидравлического сопротивления магистрали) [1-5]. Это является предпосылкой для применения таких труб также в системах горного производства на открытых горных работах и в пределах промплощадки ГОКов для транспортирования как воды, так и гидросмесей [6 – 13]. Известные методики расчета гидравлического уклона при течении воды в ПТ (ISO TR 10501, СНиП 2.04.02-84, СП 40-102-2000) позволяют обоснованно рассчитать диаметр и другие параметры магистрали [8, 9]. Применение такого вида труб вместо стальных (СТ) для всей магистрали систем водоснабжения или гидротранспорта сдерживается их высокой стоимостью для давлений выше 6 атм, а также недостатком средств для капитальной модернизации систем трубопроводного транспорта. Поэтому на отечественных ГОКах замена СТ на ПТ чаще всего производится на участках магистрали с давлением ниже 6 атм. Как правило, это всасывающие трубопроводы и участок трубопровода в конце магистрали. Однако большая часть таких решений принимается без достаточного обоснования, так как научно обоснованные методы расчета систем трубопроводного транспорта с магистралями, состоящими из участков СТ и ПТ, отсутствуют.

**Целью статьи** является разработка методики проектировочного расчета параметров трубопроводных систем ГОКов, подающих воду и гидросмеси по магистралям, включающим участки из стальных и из полиэтиленовых труб.

Проектировочный расчет производится с целью определения величины диаметра трубопровода и показателей назначения насосов (суммарного напора и мощности насосов), необходимых для обеспечения регламентированных параметров и режимов работы.

При проектировочном расчете системы водоснабжения для определения диаметра СТ и ПТ используется одинаковое неравенство, а расходно-напорная характеристика (РНХ) магистрали с учетом ISO TR 10501, СНиП 2.04.02-84, СП 40-102-2000 рассчитывается по формулам [7, 9]

$$D'_{kp} \leq D, \quad D'_{kp} \leq D_0, \quad D'_{kp} = \sqrt{\frac{\Omega}{[V]}}, \quad \Omega = \frac{4}{\pi} Q,$$

$$H = \left(1 + e \frac{L}{L_*}\right) i_0 k_Z L_* \pm \Delta Z + H_0, \quad i_0 = \frac{8\lambda Q^2}{\pi^2 g D_0^5},$$

$$\lambda = \frac{m}{Re^n}, \quad e = q - 1, \quad q = \left(\frac{D_0}{D}\right)^5 \frac{0,30864 Re^n}{m \lg^2(0,1 Re)},$$

где  $D'_{kp}$  – критический диаметр трубопровода, обусловленный максимально допустимой скоростью потока;  $D$  – внутренний диаметр СТ;  $D_0$  – внутренний диаметр ПТ;  $\Omega$  – уточненный расход жидкости;  $Q$  – требуемый расход жидкости;  $i_0$  – гидравлический уклон при течении жидкости по ПТ [1, 2, 7];  $m, n$  – константы за-

кона сопротивления для ПТ, например, для полиэтилена  $m=0,000543$  и  $n=0,25$  [8, 9];  $H$  – требуемый напор насоса;  $k_Z$  – коэффициент, учитывающий местные гидравлические сопротивления [1, 2, 7];  $q$  – коэффициент, учитывающий влияние материала трубы на критическую скорость (рис. 1), [6];  $L$  – длина СТ;  $L_*$  – длина магистрали;  $\Delta Z$  – перепад геодезических высот начала и конца трубопровода;  $H_0$  – остаточный напор;  $Re$  – критерий Рейнольдса;  $g$  – ускорение свободного падения.

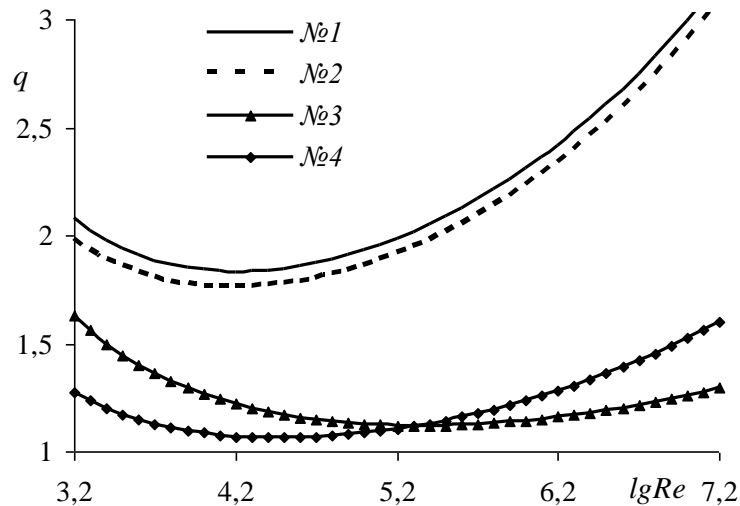


Рисунок 1 – Зависимость величины  $q$  от критерия Рейнольдса

Длину участка ПТ определяют после расчета ориентировочной рабочей точки системы с использованием следующих формул и ограничений [11]:

$$L_0 = L_* - L, \quad L_0 \leq \frac{\frac{P}{\rho_0 g} \mp \Delta Z_2 - H_0}{i_0 k_Z}, \quad L_0 \leq L_* - \frac{H_p - \frac{P}{\rho_0 g} \mp \Delta Z_1}{i'_0 k_Z},$$

$$i'_0 = \frac{8\lambda' Q^2}{\pi^2 g D^5}, \quad \lambda' = \frac{0,30864}{\lg^2(0,1 Re)}, \quad P = \frac{k}{m_p} [P],$$

где  $L_0$  – длина ПТ;  $\Delta Z_2$  – перепад геодезических высот начала и конца ПТ;  $\Delta Z_1$  – перепад геодезических высот начала и конца СТ;  $i'_0$  – гидравлический уклон при течении жидкости по СТ [1, 2, 7];  $H_p$  – напор, развиваемый насосом;  $[P]$  – допустимое для ПТ избыточное давление;  $k$  – коэффициент запаса;  $m_p$  – коэффициент, учитывающий повышение давления при гидравлическом ударе.

При использовании методики А.Е. Смолдырева для проектировочного расчета гидротранспортного комплекса критический диаметр и РНХ магистрали как для СТ, так и для ПТ рассчитываются по похожим формулам [2, 7]

$$D_0 \leq D_{0kp}, \quad D \leq D_{kp}, \quad D_{0kp} = \left( \frac{\Omega}{\sqrt{g} F_0} \right)^{0,4}, \quad D_{kp} = \left( \frac{\Omega}{\sqrt{g} F} \right)^{0,4},$$

$$F_0 = \sqrt[3]{qc' \sqrt{\Theta A_2 S R_2 \Psi_2}} + \sqrt{qc'' \sqrt{\sigma f A_3 S R_3}}, \quad F = c' \sqrt[3]{\Theta A_2 S R_2 \Psi_2} + c'' \sqrt{f A_3 S R_3},$$

$$A_i = \frac{Ar_i (1 - S R_1)}{1 + A r_1 S R_1}, \quad \Psi_2 = \frac{w}{\sqrt{g d}}, \quad Ar_i = \frac{\rho_i - \rho_0}{\rho_0}, \quad \Theta = 1 + r a \Psi,$$

$$r = \frac{R'}{R_2}, \quad a = \left( \frac{Ar'}{Ar_2} \right)^2, \quad \Psi = \frac{\Psi'}{\Psi_2}, \quad Ar' = \frac{18 v_0^2}{g d_1^3}, \quad R_1 + R_2 + R_3 + R' = 1,$$

$$H = k_z i L_* \pm \Delta Z + H_0, \quad i = F_1 (1 + A S R_1) i_0 + F_2 \frac{c_1 \Psi A S R_2}{\sqrt{i_0}} \Theta + F_3 \sigma f A S R_3,$$

$$F_1 = 1 + e \frac{L}{L_*}, \quad F_2 = 1 - z \frac{L}{L_*}, \quad F_3 = 1 + y \frac{L}{L_*}, \quad z = 1 - \frac{1}{\sqrt{q}}, \quad y = \frac{1}{\sigma} - 1,$$

где  $D_{0kp}$  – критический диаметр ПТ;  $D_{kp}$  – критический диаметр СТ, [4];  $i$  – гидравлический уклон при течении гидросмеси по ПТ;  $S$  – объемная концентрация частиц тонкой фракции;  $R_1$  – массовая доля в транспортируемом материале тонких фракций (с диаметром частиц меньше 0,15 мм);  $R_2$  – массовая доля в транспортируемом материале мелких фракций (с диаметром частиц более 0,15 и менее 2 мм);  $R_3$  – массовая доля в транспортируемом материале кусковых фракций (с диаметром частиц больше 2 мм);  $f$  – обобщенный коэффициент трения частиц о нижнюю стенку трубы;  $w$  – скорость стесненного падения частиц мелкой фракции [5, 13];  $\sigma$  – эмпирический коэффициент, учитывающий изменение коэффициента трения кусковых частиц о дно трубы (табл. 1);  $d$  – средневзвешенный диаметр частиц мелких фракций;  $d_1$  – средневзвешенный диаметр частиц тонкой фракции, м;  $Ar_i$  – параметр Архимеда для частиц  $i$ -й фракции;  $Ar'$  – граничное значение параметра Архимеда для частиц тонкой фракции;  $v_0$  – кинематический коэффициент вязкости несущей жидкости;  $\Theta$  – коэффициент, учитывающий влияние частиц гидравлически мелких фракций [14];  $\Psi'$  – коэффициент транспортабельности частиц гидравлически мелких фракций;  $\Psi_2$  – коэффициент транспортабельности частиц мелких фракций;  $R'$  – массовая доля частиц гидравлически мелких фракций;  $\rho_i$  – плотность частиц  $i$ -й фракции транспортируемого материала;  $\rho_0$  – плотность воды.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований величины  $\sigma$ 

Материал		Интервал значений $\sigma$	
Название	поверхность	от	до
Железорудный концентрат	сухая / мокрая	0,788/0,671	0,979/0,591
Кварцевый песок	сухая / мокрая	0,784/0,648	0,804/0,754
Гравийный отсев	сухая / мокрая	0,819/0,742	0,952/0,824

Граничное значение параметра Архимеда для частиц тонкой фракции  $Ar'$  является значением, при котором перестает соблюдаться стоксовский режим обтекания частиц, и они не распределяются равномерно по поперечному сечению потока с образованием однородной жидкости [14]. Зависимость граничного значения параметра Архимеда от диаметра частиц тонкой фракции приведена на рис. 2. В методике А.Е. Смолдырева это не учитывается, вследствие чего расчетные потери напора получаются заниженными, и на практике это приводит к заиливанию нижней стенки трубопровода тонкими по его классификации, но более тяжелыми частицами ценных минералов. Поэтому нами впервые предложено при определении параметров гидротранспорта производить разделение частиц на тонкие и мелкие фракции не по геометрическому размеру, а по их гидравлической крупности [14]. При этом частицы крупностью менее 0,15 мм, для которых  $Ar < Ar'$ , необходимо относить к тонким фракциям, а те для которых это условие не соблюдается, – к гидравлически мелким фракциям. За счет этого корректируются массовые доли в транспортируемом материале тонких и мелких фракций, пересчитывается относительная плотность несущей жидкости, а также частиц тонкой и мелкой фракций, уточняется гидравлическая крупность частиц мелких фракций.

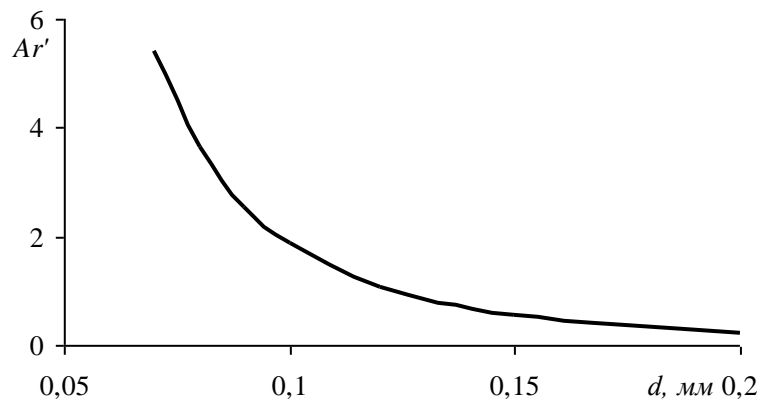


Рисунок 2 – Зависимость граничного значения параметра Архимеда от диаметра частиц тонкой фракции

Из двух полученных критических диаметров для СТ и ПТ в качестве расчетного критического диаметра трубопровода всей магистрали выбирается минимальный. При этом длина участка ПТ определяется после расчета ориентировочной рабочей точки системы с использованием следующих формул и ограничений [10]:

$$L_0 = L_* - L, \quad L_0 \leq \frac{\frac{P}{\rho_0 g} \mp \Delta Z_2 - H_0}{ik_Z}, \quad L_0 \leq L_* - \frac{H_p - \frac{P}{\rho_0 g} \mp \Delta Z_1}{i'k_Z},$$

$$i' = (1 + ASR_1)i'_0 + \frac{c_1 \psi ASR_2}{\sqrt{i_0}} \ominus + \sigma f ASR_3,$$

где  $i'$  – гидравлический уклон при течении гидросмеси по СТ [1, 2, 6].

Как показали результаты экспериментальных исследований, для ПТ среднее значение коэффициента  $\sigma$  составляет  $0,758 \pm 0,117$  (табл. 1), а среднее значение коэффициента  $q$ , на основании требований ISO TR 10501, СНиП 2.04.02-84, СП 40-102-2000, составляет  $1,216 \pm 0,033$  (рис. 1, табл. 2) [5]. При этом величина  $y$ , учитывающая влияние величины  $\sigma$  на потери напора, изменяется в несколько раз, но не превышает 1 (рис. 3).

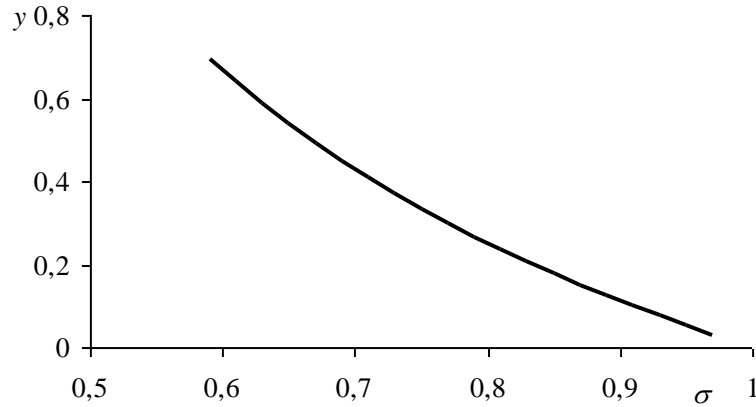


Рисунок 3 – Зависимость величины  $y$  от коэффициента  $\sigma$

Приведенные зависимости для определения РНХ магистралей систем водоснабжения и напорного гидротранспорта позволяют оценить те длины участков ПТ, при которых гидравлические потери в них будут значимыми по сравнению с гидравлическими потерями всей магистрали,

$$l \leq \frac{0,1}{q-1}, \quad l \leq \frac{0,1\sqrt{q}}{\sqrt{q}-1}, \quad l \leq \frac{0,1\sigma}{1-\sigma}, \quad l = \frac{L}{L_*},$$

или обосновать диапазоны изменения величины  $q$ , при которых влиянием участков ПТ можно пренебречь (рис. 4)

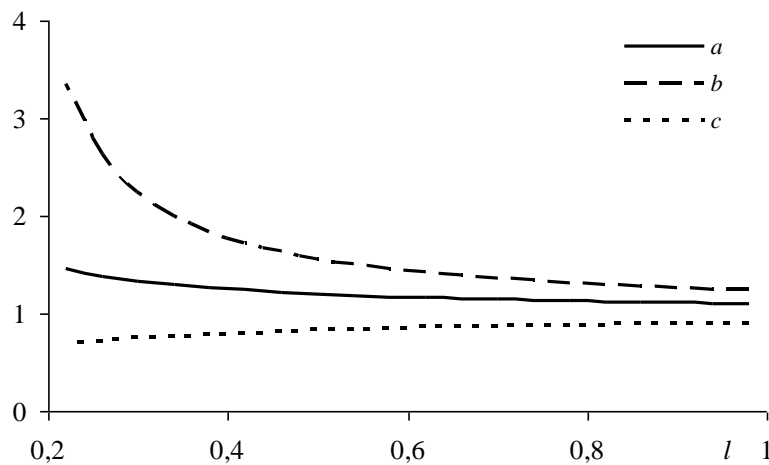


Рисунок 4 – Зависимость значений  $q$ , при которых влиянием участков ПТ можно пренебречь, от относительной длины участка СТ

$$q \leq a(l), \quad q \leq b(l), \quad \sigma \geq c(l),$$

$$a(l) = 1 + \frac{0,1}{l}, \quad b(l) = \frac{1}{\left(1 - \frac{0,1}{l}\right)^2}, \quad c(l) = \frac{1}{1 + \frac{0,1}{l}}.$$

Таблиця 2 – Значения коэффициентов, используемых для гидравлического расчета ПТ

№	Методика	$m$	$n$	$\bar{q}$	$q_{\min}/q_{\max}$	$\bar{e}$	$e_{\min}/e_{\max}$	$\bar{z}$	$z_{\min}/z_{\max}$
1	СНиП 2.04.02-85	0,226	0,271	2.196	1.83/3.18	1.196	0.83/2.18	0.318	0.26/0.44
2	ISO TR 10501	0,240	0,273	2.119	1.76/3.09	1.119	0.76/2.09	0.305	0.25/0.43
3	ISO TR 10501	0,200	0,171	1.228	1.12/1.63	0.228	0.12/0.63	0.095	0.06/0.22
4	ИГТМ НАНУ	0,250	0,316	1.213	1.06/1.60	0.213	0.06/0.60	0.087	0.03/0.21

### Выводы.

1. Предложены формулы для выполнения проектировочного расчета трубопроводных систем ГОКов, подающих воду и гидросмеси, отличительной особенностью которых является адаптация к расчету критических диаметров и гидравлических уклонов для магистралей, состоящих из участков стальных и полиэтиленовых труб.

2. Предложено при определении параметров гидротранспорта полидисперсных материалов с существенным различием в плотности частиц производить разбиение частиц материала на тонкие и мелкие фракции не по геометрическому размеру, а по их гидравлической крупности, что существенно повышает точность расчетов.

3. Получено ограничение на параметр Архимеда частиц тонких фракций, позволяющее разделить геометрически тонкие фракции на тонкие и гидравлически мелкие.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
2. Дмитриев, Г.П. Напорные гидротранспортные системы / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-151:2008. Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 39 с.
4. Криль, С.И. Напорные взвесенесущие потоки / С.И. Криль. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.
5. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Д.: Новая идеология, 2006. – 416 с.
6. Семенов, Е.В. Расчет параметров гидротранспорта при использовании полиэтиленовых трубопроводов / Е.В. Семенов, Л.Г. Татарко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 107. – С. 233 – 244.
7. Смолдырев, А.Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии / А.Е. Смолдырев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.
8. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение: наружные сети и сооружения. – М.: Госстрой СССР, 1984. – 176 с.
9. Швабауэр, В. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс / В. Швабауэр, И. Гвоздев, М. Горилковский // Полимерные трубы. Украина. – 2006. – №1(1). – С. 46 – 52.
10. Шурыгин, В.Д. Анализ способов повышения эффективности работы гидротранспортного комплекса / В.Д. Шурыгин, Е.В. Семенов, Н.А. Никифорова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №6. – С. 70 – 74.

11. Шурыгин, В.Д. Расчет параметров гидротранспортного комплекса при использовании полиэтиленовых труб / В.Д. Шурыгин, Е.В. Семененко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №2. – С. 71 – 74.
12. Шурыгин, В.Д. Износ полиэтиленовых труб при гидротранспорте исходных песков Малышевского месторождения / В.Д. Шурыгин, Е.В. Семененко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №6. – С. 90 – 93.
13. Смолдырев, А.Е. Расчет рудничного трубопроводного транспорта / А.Е. Смолдырев. – М.: Изд. литературы по горному делу, 1961.
14. Семененко, Е.В. Расчет параметров гидротранспорта при существенном различии плотности транспортируемых частиц / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова, Л.Г. Татарко // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія Механіка*, Вип. 17, Т. 1. – 2013. – № 5. – Т. 21. – С. 105 – 112.

#### REFERENCES

1. Altshul, A.D. (1982), *Gidravlicheskie soprotivleniya* [Hydraulic resistances], Nedra, Moscow, SU.
2. Dmitriev, G.P., Maharadze, L.I. and Gochitashvili, T.Sh. (2009), *Napornye gidrotransportnyie sistemy* [The Pressurized Hydrotransport Systems], Nedra, Moscow, Russia.
3. Ukraine Ministry of regional development (2009), *DSTU B V.2.7-151:2008. Trubi polietilenovi dlya podachi holodnoyi vodi. Tehnichni umovi* [DSTU B V.2.7-151:2008 Polyethylene pipes for cold water supply. Performance specifications], Ukraine Ministry of regional development, Kiev, Ukraine.
4. Kril, S.I.(1990), *Napornye vzvesenesuschie potoki* [The Pressurized Suspension Carrying Flows], Naukova dumka, Kiev, SU.
5. Baranov, Yu.D., Blyuss, B.A., Semenenko, Eu.V. and Shuryigin, V.D. (2006), *Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty sistem gidrotransporta gorniyh predpriyatiy* [Substantiation of Parameters and Operating Regimes of Hydrotransport Systems of Delfts], Novaya ideologiya, Dnepropetrovsk, Ukraine.
6. Semenenko, Eu.V. and Tatarko, L.G. (2012) “Calculation of hydrotransport parameters when using polyethylene pipes”, *Geo-Technical Mechanics*, no 107, pp. 233 – 244.
7. Smoldyrev, A.Ye. (1985), *Gidro- i pnevmotransport v metallurgii* [Hydro- and Pneumatic Transport in Metallurgy], Metallurgy, Moscow, SU.
8. Gosstroy of USSR (1984), *SNiP 2.04.02-84. Vodosnabzhenie: naruzhnyie seti i sooruzheniya* [SNiP 2.04.02-84. Water supply: external networks and buildings], Gosstroy, Moscow, SU.
9. Shvabauer, V., Gvozdev, I. and Gorilovskiy, M. (2006), “Calculation of hydraulic pressure loss in plastic pipeline”, *Polimernyye trubyy. Ukraina*, no 1(1), pp. 46 – 52.
10. Shuryigin, V.D., Semenenko, Eu.V. and Nykyforova, N.A. (2005), “Analysis of ways of rising of efficiency of hydrotransport complex work”, *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost*, no.6, pp. 70 – 74.
11. Shuryigin, V.D. and Semenenko, Eu.V.(2007), “Calculation of hydrotransport complex parameters when using polyethylene pipes” *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost*, no.2, pp. 71 – 74.
12. Shuryigin, V.D. and Semenenko, Eu.V.(2007), “Wear of polyethylene pipes during hydrotransport of source sands of “Malyshevskoe” deposit” *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost*, no.6, pp. 90 – 93.
13. Smoldyrev, A.Ye. (1961), *Raschet rudnichnogo truboprovodnogo transporta* [Calculation of Mine Pipeline Transport], Izdatelstvo literatury po gornomu delu, Moscow, SU.
14. Semenenko, E.V., Nykyforova, N.A. and Tatarko, L.G. (2013), “Calculation of hydrotransport parameters when densities of transporting particles substantially differ”, *Visnik Dnipropetrovskogo universitetu. Seriya mehanika*, vol.17(2), no. 5, pp. 105 – 112.

---

#### Об авторах

**Семененко Евгений Владимирович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtmanu@yandex.ru

**Никифорова Нина Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент Национальной металлургической академии Украины (НМетАУ), Днепропетровск, Украина, dmeti@dmeti.dp.ua

**Татарко Лариса Гавриловна**, старший преподаватель кафедры физики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (ГБУЗ «УГХТУ»), Днепропетровск, Украина, ughtu@dicht.dp.ua



### About the authors

**Semenenko Yevgeniy Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher at the M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmanu@yandex.ru

**Nikiforova Nina Anatoliyevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, National Metallurgical Academy of Ukraine (NMetAU), Dnepropetrovsk, Ukraine, dmeti@dmeti.dp.ua

**Tatarko Larisa Gavrilovna**, Master of Science, Ukrainian State University of Chemical Technology (USUCT), Dnepropetrovsk, Ukraine, ughtu@dicht.dp.ua

---

**Анотація.** Предметом дослідження є витратно-напірні характеристики магістралей трубопроводних систем технологій гідромеханізації, які складаються з ділянок сталевих і поліетиленових труб. Метою дослідження є розробка методики проектувального розрахунку таких трубопроводних систем для гідротранспорту полідисперсних матеріалів, які містять частинки з різною густиною. В статті наведено формули для розрахунку критичного діаметра трубопроводу, а також гідравлічного ухилу при течії води та гідросуміши зі швидкістю, вищою за критичну в залежності від параметрів матеріалу, що транспортується, діаметра трубопроводу, матеріалу труб, довжини та геодезичних підйомів ділянок магістралі. Досліджено вплив довжини ділянки поліетиленової труби на гідравлічні ухили, зумовлені присутністю в матеріалі, що транспортується, частинок різних фракцій.

**Ключові слова:** гідравлічний ухил, критична швидкість, поліетиленові труби.

**Abstract.** Subject of the research is discharge-pressure characteristics of main lines in the pipeline systems consisting of sections of steel and polyethylene pipes and referred to the hydromechanization technologies. Purpose of the research is to elaborate a method for calculating designs of such pipeline systems for hydrotransporting polydisperse materials comprising of particles with different density. The paper presents formulas for calculating a pipeline critical diameter and hydraulic gradient when velocity of water and slurry flow is overcritical depending on transported material parameters, pipeline diameter, material of pipes and length and geodesic slope of the main line sections. Influence between length of the polyethylene pipe section and hydraulic gradients caused by presence of particles of different fractions in the transported material was investigated.

**Keywords:** hydraulic gradient, critical velocity, polyethylene pipes.

*Статья поступила в редакцию 15.12.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Б.А. Блюссом*

УДК [622.278:662.66].001.57

**Садовенко И.А.**, д-р техн. наук, профессор  
**Инкин А.В.**, канд. техн. наук, доцент  
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СЖИГАНИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

**Садовенко І.О.**, д-р техн. наук, професор  
**Інкін О.В.**, канд. техн. наук, доцент  
(Державний ВНЗ «НГУ»)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОГЕОТЕРМІЧНИХ ПОЛІВ ПРИ ПІДЗЕМНОМУ СПАЛЮВАННІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

**Sadovenko I.A.**, D. Sc. (Tech.), Professor  
**Inkin A.V.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(State HEI «NMU»)

## **MODELING OF HYDROGEOТЕРMAL FIELDS AT UNDERGROUND COMBUSTION OF THE COAL SEAMS**

**Аннотация.** Статья направлена на разработку математической модели переноса тепла в подземных водах, насыщающих покрывающие породы угольного пласта при его подземном сжигании. Кроме того, в задачу исследований входило установление динамики формирования гидротермических полей в водоносном горизонте, залегающем над реакционным каналом.

Разработанная математической модель основана на установление теплового баланса в объеме водоносной толщи, расположенном непосредственно над нагреваемым водоупором. Вычислительная реализация модели была выполнена с помощью программы ModFlow 2009 (Schlumberger W.S.). Для горно-геологических условий участка «Ольхово нижнее» Донецкого бассейна получены параметры изменения размеров и формы тепловых аномалий, формирующихся в водопроницаемых породах над кровлей угольного пласта в зависимости от угла его падения и стадии сжигания.

Результаты исследований позволяют оценить конфигурации термальных зон, отражающие течение воды в обводненных породах кровли угольного пласта и могут использоваться для установления оптимальных периодов отбора нагретых вод из водоносного горизонта. Полученные результаты также могут быть применены для определения эксплуатационных запасов термальных вод и параметров геотехнологии их отбора.

**Ключевые слова:** подземное сжигание угля, водоносный горизонт, теплоперенос, моделирование.

**ВВЕДЕНИЕ.** По оценкам ведущих нефтегазовых компаний, начало XXI века ознаменовалось значительным увеличением доли угля в топливно-энергетическом балансе ряда стран мира [1, 2]. Рост его потребления был вызван, с одной стороны, ограниченностью запасов нефти и природного газа, а также перемещением разрабатываемых месторождений в труднодоступные районы, с другой стороны, проблемами безопасности атомных электростанций и высокими затратами на захоронение радиоактивных отходов.