

ГИДРАВЛИКА

Т. Г. КОЛЧАЯН, А. М. ГАСПАРЯН, Р. Е. АКОПЯН, Н. С. ИКАРЯН

О КРИТИЧЕСКИХ СКОРОСТЯХ, РАСХОДНОЙ И  
 ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЯХ И ПОТЕРЯХ НА  
 ТРЕНИЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВЗВЕСЕНЕСУЩИХ  
 ПОТОКОВ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ТРУБАМ

В [1] было показано, что критическая скорость гидросмеси может быть определена по формуле

$$v_{кр} = \frac{v_0}{(1-\varepsilon)}, \quad (1)$$

где  $v_0$ —скорость чистой воды в расходе гидросмеси, отнесенная к полному сечению трубопровода;  $\varepsilon$ —расходная концентрация твердой фазы. Поскольку  $v_0$  в свою очередь является функцией диаметра трубопровода  $D$  и характеристики частиц твердой фазы, то для нахождения связи между этими величинами и  $v_0$  и, попутно, для исследования потерь напора на трение были проведены экспериментальные работы, результаты которых приведены в настоящей статье.

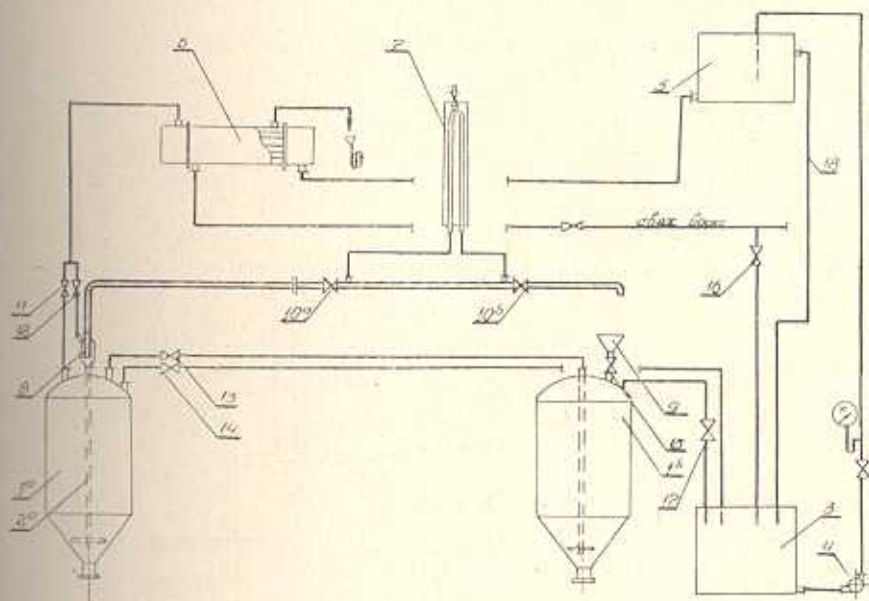


Рис. 1.

На установке (рис. 1), состоящей из двух монжусов, объемом по 150 л каждый, исследовались гидросмеси с кварцевым песком, маршалитом, глиноземом и хвостами Каджаранской горно-обогатительной фабрики. Средняя величина частиц менялась от 0,028 до 0,25 мм, объемная концентрация гидросмеси—от 5 до 35%, а скорость потока—от 0,1 до 3 м/сек. Испытывались трубопроводы диаметрами  $D=7,15; 14; 24; 37$  мм.

Подачей воды в монжус  $1^a$  производилось выдавливание пасты по его центральной трубке. На выходе из монжуса, в специальном смесителе 8, подачей воды производилось разбавление пасты до желаемой концентрации. Полученная суспензия двигалась далее по трубе и попадала в монжус  $1^b$ . В процессе эксперимента измерялись:

а) скорость гидросмеси  $v$  и ее объемная расходная концентрация  $\varphi$  (взятием пробы на выходе из трубопровода);

б) потери напора на трение в точках, отстоящих друг от друга на расстоянии 50 см (с помощью дифференциального манометра);

в) действительная объемная концентрация  $\varphi$  (одновременным закрытием имеющихся на трубе специальных пробковых кранов  $10^a$  и  $10^b$ , изготовленных так, что их проходное сечение точно совпадало бы с сечением трубы).

Содержащийся в отрезке трубы между кранами и в одном из кранов песок извлекался, высушивался, взвешивался и величина  $\varphi$  определялась как

$$\varphi = \frac{G_1}{\gamma_1 V_{\text{тр}}}. \quad (2)$$

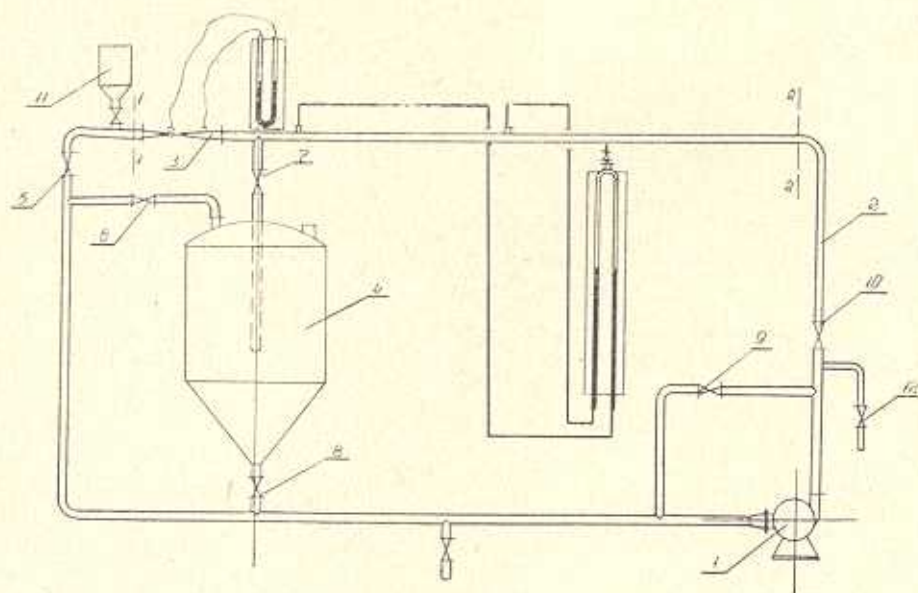


Рис. 2.

Трубопровод с  $D_{\text{вн}} = 69$  мм испытывался на установке (рис. 2), представляющей собой замкнутое на центробежный насос 1 кольцо, по которому циркулировала пульпа. Скорость движения суспензии измерялась трубкой Вентури 3. Установка имела вставку из органического стекла, позволяющую следить за наличием осадка в трубопроводе. Действительная концентрация  $\varepsilon$  определялась объемом системы и количеством загруженного песка, расходная концентрация  $\varepsilon_0$  — взятием проб из пробоотборника во время работы установки. Скорость суспензии, проходящей через испытательный участок 1—2, регулировалась кранами 9 и 10.

Сначала производились эксперименты с суспензиями малых концентраций, затем концентрацию увеличивали добавлением необходимого количества песка через воронку 11. При работе на больших концентрациях (25—30% объемных) для исключения забивки труб и насоса при остановке системы, предусмотрена была промежуточная емкость 4. Перед остановкой системы, регулируя кранами 5, 6 и 7, часть суспензии циркулировала через емкость 4, в которой происходило осаждение твердых частиц и уменьшалась их концентрация в трубопроводе.

Результаты экспериментов, проведенных на установках по рис. 1, 2 обрабатывались в серии кривых  $i = f(v)$  по методу, предложенному в [3]. Результаты обработки показали, что, начиная с некоторых значений  $v$  для каждой из постоянных концентраций, опытные точки хорошо сходятся с кривой для чистой воды (рис. 3). Рассмотрение серии кривых показывает, что независимо от размеров частиц и диаметров труб, кривые идентичны. Для каждой концентрации в трубопроводе существует определенная скорость, выше которой потери напора для чистой воды и суспензии равны. Это — критическая скорость  $v_{\text{кр}}$  для данной концентрации в данном трубопроводе.  $v_{\text{кр}}$  и соответствующие им  $i$  приведены в таблицах 1—4.

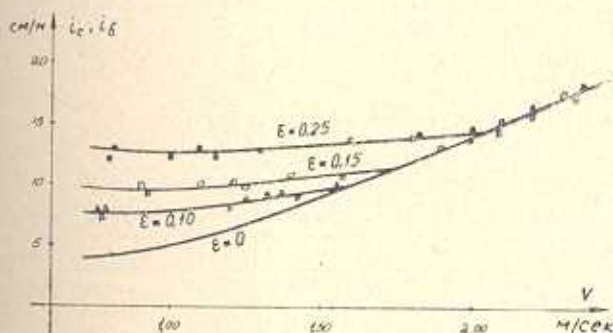


Рис. 3.

Математическая обработка данных экспериментов с помощью ЭВМ привела к следующему выражению

$$v_0 = 30,8 C_0 (D/d)^{0,3} \text{Re}_v^{-0,5}, \quad (3)$$



Таблица 1

Кварцевый песок фракции—0,25+0,2 мм

Объемная конц. тв. фазы $\varepsilon$	$\rho_{\text{сусп}}$ в $г/см^3$	Т:Ж	$v_{\text{кр}}$ в м/сек при диаметрах труб $D$ (мм)					$l_{\text{кр}}$ в см сусп./м при диаметрах труб $D$ (мм)				
			7,15	14	24	37	69	7,15	14	24	37	69
0,05	1,082	1:7,15	0,96	1,30	—	1,82	2,10	21,5	15,0	—	8,1	6,0
0,10	1,164	1:3,40	1,01	1,35	1,67	1,95	2,22	26,5	16,0	10,4	9,5	6,5
0,15	1,246	1:2,12	—	1,45	1,77	2,05	2,37	—	18,0	11,6	10,5	7,3
0,20	1,328	1:1,51	1,15	1,55	—	—	—	28,0	20,2	—	—	—
0,25	1,410	1:1,13	—	1,70	2,02	—	—	—	23,5	14,6	—	—
0,30	1,492	1:0,88	1,25	1,80	—	2,33	2,85	33,5	25,7	—	13,3	10,0
0,35	1,574	1:0,705	—	1,90	—	—	—	—	28,8	—	—	0

Таблица 2

Маршалит  $d_{\text{ср}}=0,028$  мм

$\varepsilon$	$\rho_{\text{сусп}}$ в $г/см^3$	Т:Ж	$D=3,53$ мм		$D=7,15$ мм	
			$v_{\text{кр}}$ в м/сек	$l_{\text{кр}}$ в см сусп./м	$v_{\text{кр}}$ в м/сек	$l_{\text{кр}}$ в см сусп./м
0,10	1,164	1:3,40	0,75	19	0,80	16,0
0,20	1,328	1:1,51	0,84	27	0,90	19,5
0,25	1,410	1:1,13	0,90	31	—	—
0,30	1,492	1:0,88	0,95	35	1,05	25,5

Таблица 3

Глинозем  $d_{\text{ср}}=0,042$  мм

$\varepsilon$	$\rho_{\text{сусп}}$ в $г/см^3$	Т:Ж	$D=14$ мм		$\rho_1$ в $г/см^3$
			$v_{\text{кр}}$ в м/сек	$l_{\text{кр}}$ см сусп./м	
0,05	1,125	1:5,42	1,20	13	3,5
0,10	1,125	1:2,57	1,30	15	
0,15	1,375	1:1,62	1,40	17	

Таблица 4

Хвосты Каджаранской обогатительной фабрики

$\varepsilon$	$\rho_{\text{сусп}}$	Т:Ж	$D=69$ мм					
			$v_{\text{кр}}$ в м/сек при $d_{\text{ср}}$ (мм)			$l_{\text{кр}}$ в см сусп./м при $d_{\text{ср}}$ (мм)		
			0,135	0,17	0,246	0,135	0,17	0,246
0,10	1,164	1:3,40	—	1,95	—	—	5,8	—
0,15	1,246	1:2,12	2,0	—	2,14	6,2	—	7,0
0,20	1,328	1:1,51	—	2,20	2,34	—	7,0	7,8

где  $C_0$ —гидравлическая крупность частицы,  $Re_0 = C_0 d / \nu$ ;  $\nu$ —кинематическая вязкость воды.

Сопоставление значений  $v_0$ , полученных экспериментально и вычисленных по (3), произведено в табл. 5, и, как видно, оно удовлетворительное. Поэтому формула (3) может быть рекомендована для практических расчетов.

Таблица 5

$D$ в мм	$d$ в мм	$v_{0\text{опыт}}$ в м/сек	$v_{0\text{расч}}$ в м/сек	Процент отклонения	Примечание
7,15	0,195	0,91	1,00	+10,50	Данные авторов
14,0	0,195	1,23	1,24	—	
24,0	0,195	1,50	1,44	-4,32	
37,0	0,195	1,74	1,65	-5,17	
69,0	0,195	2,00	1,99	-0,51	
69,0	0,170	1,75	1,70	-3,14	
69,0	0,246	1,85	1,83	-1,35	
100,0	0,400	1,98	1,99	+0,50	Данные Карасика и Асауленко [6]
202,0	0,280	2,53	2,55	+0,79	
614,0	0,280	3,29	3,52	+7,90	Данные Коберника и Войтенко [11]
800,0	0,280	3,74	4,05	+7,55	
306,0	0,420	2,90	2,78	-4,13	

В литературе [4÷11] предложено несколько видов зависимости  $\varepsilon = \varepsilon(v)$ . Однако, при использовании той или иной зависимости наблюдается противоречие в результатах. Так, нами произведен расчет для конкретного случая при  $\varepsilon = 0,122$ ,  $D = 202$  мм и  $d_{cp} = 0,28$  мм. При этом по данным [11]  $v_{cp} = 2,91$  м/сек.

Результаты расчета при  $v/v_{cp} = 0,5 \div 3,0$  приведены на рис. 4. Там же приведены результаты наших измерений (кривая 6). Как видно из

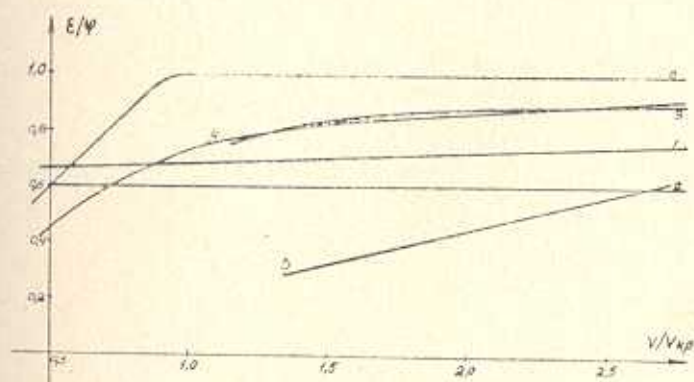


Рис. 4. Зависимость  $\varepsilon/\varphi$  от  $v/v_{кр}$  по данным: 1—Роера [4]; 2—Карасика [5]; 3—Сидина [7]; 4—Карасика и Асауленко [6]; 5—Юфина [8]; 6—авторов.

рис. 4, результаты, полученные по формулам различных авторов, — противоречивые. Это указывает на необходимость дальнейшего изучения зависимости  $\varphi = \varphi(\varepsilon, v)$ .

Наши эксперименты показали, что при малых скоростях величина действительной концентрации  $\varphi$  намного превышает величину  $\varepsilon$ . С увеличением скорости  $\varphi$  уменьшается, приближаясь к  $\varepsilon$ , и при скорости  $v_{кр}$ , когда все частицы переходят во взвешенное состояние, а потери напора для чистой жидкости и гидросмеси становятся равными, приравняются также значения  $\varphi$  и  $\varepsilon$ .

На основании экспериментальных данных построена графическая зависимость  $\varepsilon/\varphi$  от  $v/v_{кр}$  (рис. 5). Величина  $v_{кр}$  рассчитывалась по (1).

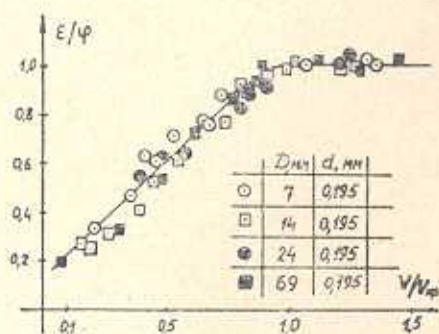


Рис. 5.

Значения  $v_0$  для кварцевого песка, маршалита и глинозема взяты из [1]. Как видно из рис. 5, в докритической области ( $v/v_{кр} < 0,9$ ), независимо от  $D$ , между  $\varepsilon/\varphi$  и  $v/v_{кр}$  имеется линейная зависимость вида

$$\varepsilon/\varphi = 0,113 + 0,97v/v_{кр}. \quad (4)$$

При  $v > v_{кр}$   $\varepsilon/\varphi$  становится равным единице. Область  $0,9 < v/v_{кр} < 1$ , видимо, переходная — происходит то выпадение частиц в осадок, то размыв осадка.

Таким образом, практическое различие между расходной и действительной концентрациями имеет место лишь при скоростях  $v < v_{кр}$ , а при  $v \geq v_{кр}$   $\varphi = \varepsilon$ . Из (4) можно найти то минимальное значение  $v/v_{кр}$ , при котором при данной концентрации  $\varepsilon$  произойдет забивка трубопровода, т. е. действительная концентрация в трубе станет равной концентрации рыхлого осадка.

Обобщая результаты исследований по горизонтальному и вертикальному [2] потокам, можно сказать, что для безосадочного движения суспензии, независимо от направления движения, гидравлический уклон транспортируемой суспензии численно равен гидравлическому уклону при движении чистой воды. Следовательно, потери напора на трение потока суспензии (со скоростью  $v \geq v_{кр}$ ) следует рассчитывать по формуле Дарси-Вейсбаха.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов, вопреки мнению многих авторов [8, 12, 13, 14 и др.] указывают на приемлемость предложенной Киорозом [3] зависимости вида  $i = i_0 \gamma_c \gamma_d$  в широких пределах изменения объемной концентрации гидросмеси (от 5 до 35%) при скоростях  $v \geq v_{кр}$ .



S. Գ. ԿՈՂՉԱՅԱՆ, Ա. Մ. ԳՈՐԳՈՐՅԱՆ, Ռ. Ե. ՀՈՒՈՐՅԱՆ, Կ. Ս. ԻՍԻՐՅԱՆ

ԿՐԻՏԻԿԱԿԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ, ԻՐԱԿԱՆ ՈՒ ԵԼՔԱՅԻՆ  
ԿՈՆՑԵՆՏՐԱՅԻԱՆՆԵՐԸ ԵՎ ՃՆՇՄԱՆ ԿՈՐՈՒՄՑՆԵՐԸ ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ  
ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՒՄ ԸՆԴՐՈՆԱՌՆՈՒՐԳԻ ՇՈՐԺՄԱՆ ԺՍՄԱՆԱԿ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Կատարված է նախկինում [1] առաջարկված (1) կապակցությունն հետազոտելու հետազոտում, նպատակ ունենալով գտնել  $v_0$ -ի որոշման բանաձևը: Փորձերի հիման վրա առաջարկված է (2) կապակցությունը:

Փորձերը կատարված են սուպենդիայի շարժման ժամանակ  $z$ -ի և  $\varphi$ -ի միջև եղած կապը բացահայտելու նպատակով: Պարզվել է, որ ելքային և իրական կոնցենտրացիաների միջև գործնականորեն տարբերություն կա միայն  $v < v_{cr}$  պայմանի առկայության դեպքում, իսկ  $v \geq v_{cr}$  դեպքում  $\varphi = z$ : Միջկրիտիկական ( $v/v_{cr} \leq 0,9$ ) արտաքին համար առաջարկված է (4) էմպիրիկ կապը:

Հորիզոնական և ուղղաձիգ խողովակներում շիման կորուստների ուսումնասիրումը և ստացված արդյունքների համադրումը ցույց է արվել, որ նստվածքի բացակայության դեպքում շիման կորուստները թվապես հավասար են նույն խողովակում նույն արագությանը շարժվող մաքուր ջրի շիման կորուստներին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Колчазян Т. Г., Икряян Н. С. ДАН Арм. ССР, т. XLVII, № 5, 1968.
2. Гаспарян А. М., Колчазян Т. Г., Икряян Н. С. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXII, № 3, 1969.
3. Кнороз В. С. «Известия ВНИИГ им. Веденеева», 1941, т. 30.
4. Роер Г. Н. «Гидротехническое строительство», № 8, 1948.
5. Карасик В. М. В кн. «Дослідження і розрахунки з гідраліки та гідротехніки». Вид-во АН УРСР, Київ, 1962.
6. Карасик В. М., Асауленко И. А. Напорный гидротранспорт песчаных материалов. Киев, 1966.
7. Силин Н. А., Пищенко Н. А., Очеретько В. Ф. Гидротехника и гидромеханика. Киев, 1964.
8. Юфин А. П. Напорный гидротранспорт. Госэнергоиздат, 1950; «Известия АН СССР ОТН», № 8, 1949.
9. Климентов А. Н. «Гидротехническое строительство», № 11, 1953.
10. Деленгьев А. М. «Известия ВНИИГ им. Веденеева», № 36, № 38, 1948.
11. Коберник С. Г., Войтенко В. И. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. Киев, 1967.
12. Малцов М. В. Движение неоднородных жидкостей, вып. 45, 31, М., 1963.
13. Горюнов С. И. Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов. Госэнергоиздат, М., 1955.
14. Durand R., Condolios F. Экспериментальное исследование напорного гидротранспорта. S. H. F., июнь, 1952.