

ГИДРАВЛИКА

Р. Г. АСАТРИАН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ
ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХФАЗНОГО
ПОТОКА В ЖЕСТКОМ РУСЛЕ

Одной из основных характеристик селепропускного сооружения является его транспортирующая способность при заданных расходах, уклонах и фракционном составе транспортируемых потоком наносов.

Все существующие методы расчета расхода наносов относятся к случаю движения наносов по наносам, поэтому эти методы расчета нельзя применять при определении расхода наносов при движении потока по жесткому руслу, т. е. при расчете транспортирующей способности потока селепропускных сооружений. Решить поставленную задачу, т. е. определить предельную транспортирующую способность потока при неоднородных по крупности наносах, теоретическим путем в настоящее время невозможно, так как совместное решение дифференциальных уравнений турбулентного водного и дискретного потока не представляется возможным.

Вопросы движения наносов по наносам, т. е. в руслах рек и в заиленных каналах достаточно изучены для неоднородных наносов, благодаря исследованиям Х. А. Эйштейна, И. В. Егиазарова, В. Н. Гончарова и др., которые, исходя из теории вероятностей (Эйштейн), размерности (Егиазаров) и турбулентности (Гончаров), получили расчетные зависимости для определения предельной транспортирующей способности потока. Лабораторные исследования движения однородных наносов по жесткому руслу проводились в Швейцарии Р. Педроли [1]. В лаборатории Армянского научно-исследовательского института водных проблем и гидротехники в 1968—70 г. г. были проведены экспериментальные исследования по определению предельной (критической) транспортирующей способности селепропускных сооружений с жестким дном при двух неоднородных по крупности смесях несвязных наносов, характерных для гранулометрического состава наносов селеносных рек Армянской ССР (рис. 1).

Лабораторные исследования проводились на специально сконструированном для этой цели селевом лотке, длиной 20 метров и шири-

ной 0,37 м, состоящего из четырех секций, соединенных между собой шарнирами. Лотку в целом и его отдельным секциям можно придавать различные уклоны: от нулевого до уклона 0,10 для лотка в целом и до 0,45 для отдельных секций. Подача чистой воды производилась из питающего бака, снабженного треугольным водосливом для определения расхода воды. Подача наносов в лоток осуществлялась из бункера с механическим вращающимся дозатором, который установлен над лотком.

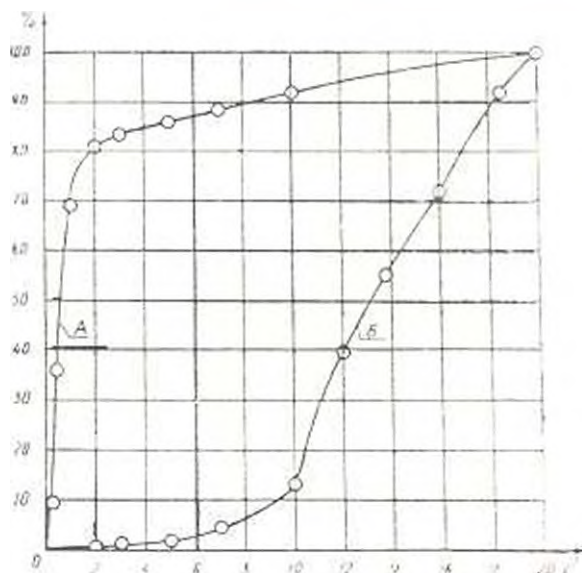


Рис. 1. Градулометрические кривые исследуемых смесей: А — мелкозернистый состав; Б — крупнозернистый состав

Опыты проводились при уклонах $j = 0,01; 0,03; 0,05$ и $0,10$ и при семи разных расходах воды в интервале $q_0 = 27 - 324$ л/сек·м и расходах наносов в пределах от $0,3$ до 17 кг/сек·м.

Неоднородность материала, транспортируемого селевыми потоками, играет большую роль в формировании двухфазного потока, в изменении его кинематических и динамических характеристик. Для оценки неоднородности составов наносов важной характерной величиной является средневзвешенный диаметр градулометрической кривой $d_{ср}$. Характерными отношениями, определяющими неоднородность, являются d_{10} и $d_{ср}$ и $d_{max}/d_{ср}$ [2].

Учитывая, что коэффициенты неоднородности наносов селевых отложений $d_{10}/d_{ср}$ и $d_{max}/d_{ср}$ [2, 3] соответственно изменяются в пределах $0,25 - 0,50$ и $5 - 10$, для исследования транспортирующей способности селепропускных сооружений в лабораторных условиях градулометрия твердой фазы была выбрана двух составов: А — мелкозернистый от $d_{10} = 0,1$ мм до $d_{max} = 20$ мм при $d_{ср} = d_{50} = 2,65$ мм и $d_{10} =$

$= 0,7$ мм ($d_{50} d_{cp} = 0,26$ и $d_{max} d_p = 7,5$) и Б — крупнозернистый ($d_{50} d_{cp} = 1,0$ и $d_{max} d_{cp} = 1,5$) (рис. 1). Так как опыты Педролли [1] охватили нехарактерный для селеных отложений крупнозернистый состав, то для сопоставления нами были проведены опыты с крупнозернистым составом при $d_{cp} = d_{50} = 13,2$ мм при тех же уклонах и при трех расходах воды (от 54 до 216 л/сек·м).

Для характеристики состояния потока были определены числа Рейнольдса, Фруда и Велерника, которые изменялись для водного потока в диапазоне $Re_R = 20 \cdot 10^3 - 180 \cdot 10^3$; $Fr_R = 3,5 - 36,0$ и $Ve = 0,65 - 3,5$, а для двухфазного потока при предельной критической насыщенности наносами $Re_R = 20 \cdot 10^3 - 170 \cdot 10^3$; $Fr_R = 2,5 - 32,0$ и $Ve = 0,55 - 3,0$. Анализ этих чисел показывает, что поток в лотке носил турбулентный бурный и сверхбурный характер.

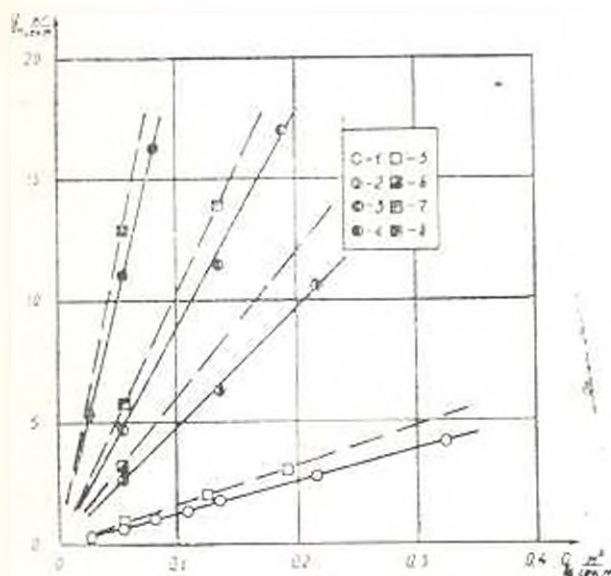


Рис. 2. Зависимость удельного расхода наносов от удельного расхода воды: 1, 2, 3, 4 — при $d_{cp} = 2,65$ мм и $f = 0,01$; 0,03; 0,05 и 0,10; 5, 6, 7, 8 — при $d_{cp} = 13,2$ мм и $f = 0,01$; 0,03; 0,05 и 0,10

По нашим опытным данным на рис. 2 представлена связь между расходом наносов и расходом воды при разных уклонах дна лотка и разных составах. Из рис. 2 видно, что расход наносов связан с расходом воды однозначной прямолинейной зависимостью при данном уклоне и для данной смеси. Следовательно, получается, что при данном уклоне и данной смеси и при различных значениях расхода воды наносоводное отношение (P^2) остается постоянным вплоть до 12-кратного изменения расхода воды (при уклоне $f = 0,01$). Постоянство предельной насыщенности потока наносами в жестком русле (при данном уклоне) получено также в опытах Педролли [1].

На основании наших опытных данных (табл. 1) для двух составов наносов получена зависимость между предельной насыщенностью P (наносоводным отношением g_w/q_w) и уклоном дна лотка J (рис. 3, кривые 1 и 2):

$$P = g_w/q_w = A_1 J^{1.15} \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

где A_1 — коэффициент, характеризующий гидравлические и наносные параметры, который равен $2,7 \cdot 10^3$ для состава A и $3,3 \cdot 10^3$ для состава B ;

g_w — удельный расход наносов в кг/сек/м ;

q_w — удельный расход воды в $\text{м}^3/\text{сек/м}$.

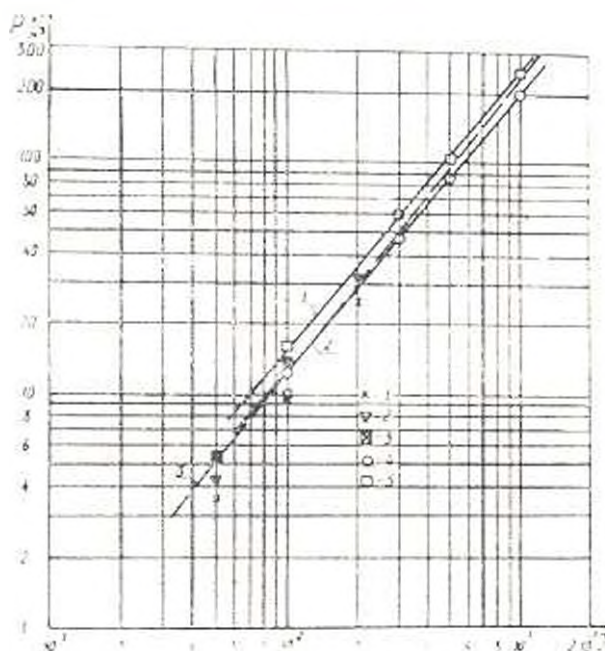


Рис. 3. Зависимость $P = g_w/q_w$ от J : 1, 2, 3 — лабораторные данные Педроли (соответственно при $d_{50} = 2,6; 5,2; 11,1 \text{ мм}$); 4 и 5 — опытные данные автора (соответственно при $d_{50} = 2,65; 13,2 \text{ мм}$).

Кривые: 1 и 2 — зависимость (1); 3 — зависимость (1а)

Если на график рис. 3 нанести также опытные данные Педроли [1] и кривую связи провести по осредненным точкам, то уравнение (1) принимает следующий вид (рис. 3, кривая 3):

$$P = 4 \cdot 10^3 J^{1.15}. \quad (1a)$$

При крупнозернистом составе (Б) (рис. 3, кривая 1) предельная транспортирующая способность P двухфазного потока в жестком рус-

ле получается в 1,3 раза больше транспортирующей способности при мелкозернистом составе A (рис. 3, кривая 2). Таким образом, крупнозернистый состав наносов имеет большую подвижность, чем мелкозернистый. Причиной является затенение мелких фракций крупными; чем больше мелких фракций в смеси, тем затенение больше. Это явление в свое время было установлено экспериментально Дюрандом и Пантелопулосом, а теоретически — И. В. Егизаровым [4, 5, 6].

Таблица 2

№ пп	Уклон днн f	Средневычислен- ный диаметр смеси $d_{\text{ср}}$ (мм)	Предельная насыщенность P (кг/м ³)	По данным
1	0,005	2,60	3,60	Педроли
2		5,20	4,25	"
3		11,10	5,40	"
4	0,01	2,60	9,50	Педроли
5		2,65	12,50	АриНИИВПыГ
6		5,20	10,00	Педроли
7		11,10	14,00	АриНИИВПыГ
8	0,02	13,20	16,30	"
9		2,60	25,10	Педроли
10		5,20	32,00	"
11	0,03	2,65	45,20	АриНИИВПыГ
12		13,20	60,00	"
13	0,05	2,65	57,00	АриНИИВПыГ
14		13,20	105,50	"
15	0,10	2,65	200,00	АриНИИВПыГ
16		13,20	238,00	"

По этим же опытным данным построена связь между расходом наносов и средней скоростью потока (рис. 4), которая выражается уравнением:

$$q_n = B_1 U^{3,3}, \quad (2)$$

где B_1 — коэффициент, учитывающий влияние других параметров.

Из уравнения (2) видно, что расход наносов пропорционален средней скорости потока в степени 3,3, а не в четвертой, как было получено ранее для движения наносов по наносам.

Так как средняя скорость потока равна $\bar{U} = q_n / h$ и $\bar{U} = C \sqrt{h / f}$, то подставляя значения скоростей в формулу (2), получаем:

$$q_n = B_1 C^2 h^{1,65} f^{0,5}, \quad (3)$$

Откуда

$$P = q_n / q_s = B_1 C^2 h^{1,65} f^{0,5}, \quad (4)$$

а при постоянном уклоне дна ($f = \text{const}$):

$$q_n / q_s = B_1 C^2 h^{1,65}. \quad (4a)$$

Согласно опытам, наносоводное отношение является постоянной величиной при $f = \text{const}$, поэтому

$$B_1 C^{1.4} h^{0.4} = \text{const.} \quad (5)$$

Следовательно, чтобы было справедливо (5), коэффициент B_1 , коэффициент Шези C и глубина потока h должны при каждом режиме меняться так, чтобы их произведение осталось постоянным. Таким

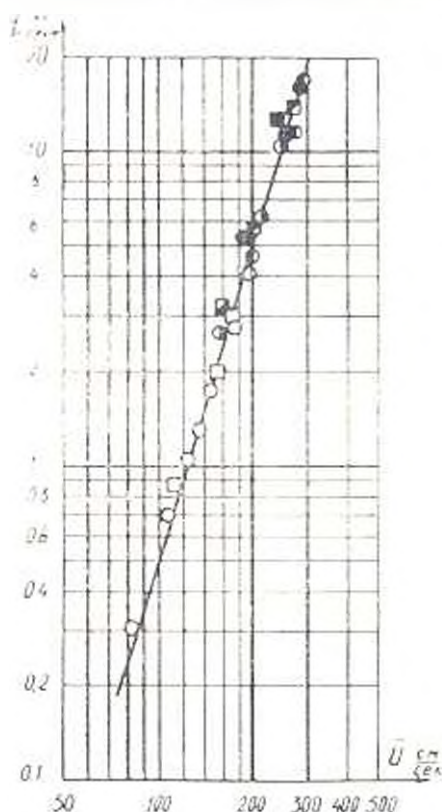


Рис. 4. Зависимость удельного расхода наносов от средней скорости потока $q_n = f(U)$ (условные знаки даны на рис. 2)

образом выходит, что при каждом режиме образуется такая гидравлическая эквивалентная шероховатость (в связи с движением наносов и придонном слое), которая приводит к постоянству наносоводного отношения P при данном уклоне. Образующая гидравлическая шероховатость d_s потока становится больше шероховатости самого жесткого дна ($k = 0,1$ мм), величину которой можно определить по формуле И. В. Егiazарова [7]:

$$d_s = \frac{K_{10}}{\text{ant lg } \frac{C - 20}{17,7}} \quad (6)$$

где K_{10} — доля гидравлического радиуса, идущая на преодоление сопротивления дна и на транспорт наносов [4, 5].

Имея уравнение (1), можно перейти к расчету селепропускного тракта. При заданном расчетном расходе селея Q , уклоне дна русла f и гранулометрическом составе отложившихся в русле наносов (d_{max} , d_{10} и d_{20}) расчет рекоменду-

ется производить в следующей последовательности:

а) По формулам И. В. Егiazарова [4] определяется транспортирующая способность потока $P_{\text{пр}}$ в русле реки до входа в селепропускной тракт при разрушенной отмостке;

б) При данном расчетном расходе методом подбора производится гидравлический расчет селепропускного сооружения для каждого участка с уклоном f ;

в) Определяется транспортирующая способность потока P на каждом участке сооружений по формуле (1);

г) Если расчеты покажут, что на каждом участке $P > P_{\text{нec}}$, то селепропускное сооружение будет работать нормально; если $P < P_{\text{нec}}$, то на данном участке произойдет выпадение и скопление наносов;

д) Если невозможно полностью обеспечить необходимое условие $P > P_{\text{нec}}$ для каждого участка сооружений, то необходимо часть наносов задерживать выше сооружений с помощью постройки наносозадерживающих сооружений.

Таким образом, селепропускные сооружения будут работать удовлетворительно только в том случае, когда насыщенность потока наносами не превышает транспортирующей способности селепропускного тракта.

Анализ результатов исследования позволил сделать следующие выводы:

1. Лабораторные исследования двухфазного потока с неоднородной по крупности смесью наносов при движении по жесткому руслу позволили установить постоянство наносоводного отношения (предельной насыщенности) при данном уклоне и при 12-кратных изменениях расходов воды. Это объясняется тем, что при каждом режиме потока образуется гидравлическая эквивалентная шероховатость, характерная для данного режима.

2. Получена зависимость (1) между предельной транспортирующей способностью потока и уклоном дна. Коэффициент неоднородности смеси играет существенную роль при определении транспортирующей способности потока.

3. Полученная зависимость (2) показывает, что предельный расход наносов прямо пропорционален средней скорости потока в степени 3,3, а не в четвертой, как получено для движения наносов по наносам.

4. Проведенное исследование позволило разработать схему расчета транспортирующей способности селепропускных сооружений.

АрмНИИВПК

Поступило 13.1.1971.

В. З. ОУНЕСЬАН

ԿՈՇԵՑ ՀԱՆՐԱՊԵՏ ԽՈՐՀԱՅՐ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏՏՊԱՓՈԽՄԱՆ ԽՈՇՈՒՆԴՅԱՆ
ՈՐԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՓԲԲԶԱՐԱՐՈՒՄԻ ՆԵՏԱԶՆԱԻԹՅԱՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հորիզոնական և խառն հատվածի սկզբնական հատուցվածքների համար կարևոր բնութագիր հանդիսացող տեղադրված տեսանկյունի առկայության ֆունկցիոնալ փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները՝ հոնի տարբեր

թերությունները և անհամասեռ ջրաերրությունների շարժման գեպրում: Փորձարկումները կատարվել են ջրաերրությունների երկու անհամասեռ կազմի դեպքում, որոնք բնորոշ են սելավատար գետերին (պժ. 1):

Կարևորագույն հետազոտությունների արդյունքներից պարզվել է, որ կոշտ հունում անհամասեռ ջրաերրությունով երկֆազ հոսանքի տեղափոխման սահմանային ունակությունը (սահմանային հաղեցվածությունը), տեղափոխքի ելքի փոփոխությունից, հունի միևնույն թերություն գեպրում մնում է հաստատուն: Հոսանքի սահմանային հաղեցվածության հաստատուն լինելը կարելի է բացատրել նրանով, որ հոսանքի յուրաքանչյուր սեփմի գեպրում առաջանում է այսպես կոչված համարժեք հիդրավիկ խորդորարդություն, որը կարելի է որոշել Բ. Վ. Կոնստանտինովի բանաձևով (6):

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Pedrotti R. Trasporto di materiali solidi in canale a fondo fisso e liscio. Ufficio federale dell'economica delle acque, № 43, Bern, 1963.
2. Ешизаров И. В. Значение гранулометрических кривых для русловых расчетов и их эмпирическое построение. Сб. докладов X селевузской конференции, Ереван, 1968.
3. Тер-Минисян Р. О., Торосян Э. Н. Гранулометрия русловых отложений бассейна р. Веди. Сб. докладов X селевузской конференции, Ереван, 1968.
4. Ешизаров И. В. Влияние широкой смеси наносов и самоочистки русла на движение и расход наносов. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XVII, № 2 и 3, 1961.
5. Ешизаров И. В. Сопротивление методов расчета расхода наносов с измерениями и натуре. Сб. «Методы изучения и использования водных ресурсов», изд. АН СССР, 1964.
6. Ешизаров И. В. Наука о движении наносов, сопредельные науки и возможности экспериментирования. «Исследования и комплексные использования водных ресурсов», изд. АН СССР, 1960.
7. Ешизаров И. В. Обобщенные критерии подвижности наносов и определение пиковой скорости по следам селевого турбулентного потока. Труды АрмНИИВШГ т. 1 (6), Ереван, 1967.