anterial and an allowed a second

**ГНДРОЛОГИЯ** 

### И. В. ЕГИАЗАРОВ

# ВЛИЯНИЕ ШИРОКОЙ СМЕСИ НАНОСОВ И САМООТМОСТКИ РУСЛА НА ДВИЖЕНИЕ И РАСХОД НАНОСОВ

### Сообщение 1

### I. Введенне

1. До послезнего времени изучению полвергались почти исключительно однородные по крупности напосы, в лабораторных условия:, без сопоставления расчетов по их подвижности и по их расходу с измерением в натуре. Влияние смеси наносов разной крупности обычно слишком упрощенно учитывалось введением некоторого довольно неопределенного и недостаточно проверенного среднего размера по крупности. Исключение составляли исследования Плителопулоса (Чехословакия [1-э]), теоретически рассматривавшего [влияние гранулонетрической кривой на движение смеси, с проверкой в лаборатории.

2. Влияние затенения мелких фракций крупными, т. е. влияние сортвровки по крупности, или иначе самоотмостки, не учитывалось. Псключение составляет имеющий теоретическую основу метод Элиштейна 1950 года [6] и его произвольные сверх эмпирические молифивации, явившиеся следствием сопоставления расчетов с измерениями в натуре. Влияние неоднородности наносов по крупности определялось четырьмя эмпирическими зависимостями, составленными Эйнштейном в результате натурных измерений.

3. Влияние сопротивления формы русля при трядообразовании на движение наносов и на их расхол обычно не учитывалось, хотя экспериментальное изучение условий образования гряд, их размеров и коэффициента сопротивления, получило за последние годы в целом ряде исследований некоторое развитие. Введение влияния гряд в расчет расхода наносов произведено: только в методе 1950 года Эннштейна [6] с предложением эмпирической зависимости по натурным аминым, и в 1948 г Мейер-Петером [7, 8] по соотношению коэффицяента сопротивления безгрядового и грядового русла.

4. Сопоставление расчетов с измерениями в натуре затрудиялось отсутствием доброкачественных методов непосредственного измерения расхода донных наносов, далеко неполным охватом измерениями взвещенных наносов по глубине (около половины замеренного расхода

взвещенных наносов обычно недоучитывается: это вызвало постановку ряда исследованний в США) и недостаточностью данных по объемному весу отложений наносов.

5. Только переход к объемным, суммарным методам измерения отложений наносов, обязательно с нараллельным измерением всех гидраялических нараметров русла реки питающей эти отложения, может дать возможность определения полного расхода наносов, его гранулометрического состава и объемного веся. Такие измерения произведены у нас только для р. Каранкузь [9, 10].

Сопоставление таких объемных измерений в натуре с расчетом по методу Эйнштейна показывает возможность определить толькопорядок величии всса отложений или расхода наносов. Расхождение расчета по методу Эйнштейна с измерениями в натуре составляют для 13 ирригационных каналов США от 0,2 до 1,9 раза (если за единицу принять измеренную в натуре величину); для ряда рек США расхождение составляет от 0,53 до 1,9 раза; в 3 раза для р. Моней-Крик (без учета влияния затенения мелких фракций крупными) и от 1,01 до 2,2 раза, по расчетам автора по методу Эйнштейна, для р. Каранкуль.

6. Работа Эйнштейна 1942 (11) года реферирована и критически анализирована во исех кингах Великанова. Но его основная работа 1950 г. только в 1963 году кратко охарактеризована на стр. 43—44 труда под редакцией Юфина [12]. без приведения графиков сиязи основных критериев Элиштейна у и Ф и его эмпирических кривых для определения R' т. с. влияние гряд и 3, у, влияние смеси.

Несколько более полно, с приведением основных графиков метод Эйнштейна 1950 года изложен авгором [13].

7. В США относительно большое распространение получила модификация метода Эйнштейна (1950 г.) в результате стремления чисто эмпирической пригонки результатов измерения к натурным измерениям [13, 14—18]. Такая необоспованияя модификация проведенная применительно к р. Ниобрара, привела для ряда рек США к меньшим расхождениям, чем основной метод Эйнштейна. Но разумеется такая эмпирика не может считаться достижением.

8. Но возможность получения расчетом только порядка величин отложений и расхода наносов мы все таки вынуждены рассматривать как достижение, так как ни один из существовавших до сих пор методов, не охватывал всего комплекса возникающих влияний не охватывал влияния: широкой смеся напосов по крупности, затенения мелких фракций крупными и самоогмостки, грядообразования и деления полного расхода наносов на донные и взвешенные.

9. Ілже существующие формулы и методы расчета пригодные только ли однородных по крупности напосов и при безгрядовом русле давали расхождение друг с другом в десятки раз, т. е. не давали даже порядка всличия. Эти формулы и методы подвергались только проверке по лотковым измерсниям и не были проверены по измерениям в натуре. Разумеется сопоставление формул и методов расчета друг с другом не имеет смысла и не может привести к аппробации расчетных результатов без сопоставления с измерениями в натуре.

10. Поэтому автор задался целью разработать, на основе полученных им ранее зависимостей для однородных наносов [19-23], более полный метод расчета имеющий несколько более полную теоретическую основу и несколько менее трудоемкий, чем отмеченные выше, позволяющий произвести сравнение с измерениями в натуре, с скромной целью получить расхождение с измерениями в натуре в пределах от 0,5 до двух раз, но с учетом всего комплекса вопросов отмеченных в п, 8.

## II. Основы расчета

11. Основой такого метода служит введсиный автором полный критерий водвижности [19-21]:

$$\frac{Ri/p'}{f_0 d} = \frac{f}{f_0} = \frac{\tau}{\tau_0} \,. \tag{1}$$

Этот критерий для наносов в движении превышает единицу, т. е.

$$\frac{Rl|y'}{f_0d_1} > 1,$$
 (1')

Этот критерий в условиях трогания равен единице, т. е.

$$\frac{R_{o}}{I_{o}} = 1$$
 (2). r. e.  $\frac{R_{o}}{I_{o}} = \frac{P_{o}}{I_{o}}$  (2)

В условиях режима, когда  $R > R_o$  и наносы находятся в движения, этот критерий также равен единице

$$\frac{RI/g'}{f_0 d_0} = 1,$$
 (3)

при предельной лля данного режима крупности частицы d<sub>0</sub>>d1. Следовательно

$$\frac{R}{d_0} = \frac{p'f_0}{i}(3')$$
  $u d_0 = \frac{Ri}{p'f_0}$  (3")

12. Особенностью критерия подвижности (1) является наличие в нем  $f_0$  — коэффициента сопротивления рязмываемого зеринстого русла или иначе относительной влекущей силы трогания

$$f_0 = \frac{1}{(\gamma_{\mathcal{S}} - \gamma) d}.$$
 (4)

которая зависит от числа Ребнольдса отнесенного к зерну, т. с.

$$f_0 = \varphi\left(\frac{v_{0,d}}{\eta}\right) = \varphi\left(Re_{Pd}\right). \tag{5}$$

13. Автором показано [20], что

$$f_0 = \frac{2}{3} \frac{\lambda_0}{C_0 x_0^2},$$

rae  $\zeta_0 = \frac{n_{tot}}{n_0}$ ,

т. е. зависимость  $f_0$  от гидравлического коэффициента сопротивления,  $\lambda_0$  от коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  и от распределения скорости течения потока по глубние, так как  $u_{0d}$  определяемое у зерна зависит от его диаметра (y = ad).

14. Для однородных наносов в пределах автомодельной зоны (d > 4) при  $\frac{1}{\tilde{\chi}} = \rho' = 1,7$   $\lambda_0$ ,  $C_{0x}$  и  $\zeta_0$  константы и поэтому  $f_0 = 0,06$  — константа [19, 20, 22], что приводит [21] к раненству  $u_{0d} = \sigma$ , где  $\sigma$  — гидравлическая крупность зерна.

15. Для смеси наносов различной крупности, исходя из уравнения (6) и из уравнений для скорости потока у зерна и для средней скорости на вергикали, учитывая, что точка приложения воздействия ногока на зерно  $y = ad_i$ , а величина выступа шероховатости для смеси определяется йеличиной  $a_{ep}$  смеси, автором получено [22] следуюшее выражение  $f_0$  для смеси:

$$f = \frac{0.1}{\left| Ig 19 \frac{d_i}{d_{ip}} \right|}$$

при  $d_i = d_{cp}$  величина  $f_0 = 0.06$ ;  $d_i - крупность рассматриваемой прак$  $ции, входящей в состав смеси; <math>d_{cp}$  — размер зерна о во сляющий шероховатость смеси, с учетом влияния как фракций находящихся в



Рис. 1. І — теоретическая криная по ур. (7) для зависимости  $f = q \left(\frac{d_{ep}}{d_{ep}}\right)$ : 2 – точки лабораторного исследования (угода) Пантелопулоса, 3—точки измерений на р. Каранкуль (Умаров): 4 – измерение на р. Роис меленицами изиосами (Рамет): 5—точки измерений на моделя 11: 12.5) Гип. Полла (Надери и Брадо).

движения так и ненодвижных (см. ниже). Уравнение (7) прелставлено на рис. І с опытными точками четырех исследовани подтверждающих эту зависимость. Величина характеризующая шероховатости. зависит как от движущихся наносов, при заданном расходе Q, так и от остающихся неподвижными (если отмостка не нарушена, если  $d_n <<$ < Достаточных натурных данных не позволяет онределять степень зависимости dea от обоих гранулометрических кривых: 1) водвижных наносов при расходе Q и 2) полной гранулометриче-

(6)

(7)

ской криной отложений в русле (рис. 2). Действительная величина лежит между этими двумя предельными значениями. Поэтому в первом приб-

32

лнжении принимаем величицу  $d_{cp}$  равной полусумме  $d_{cp}$  взвешенного по гранулометрии всех отложений в русле и  $d_{cp}$  – взвешенного наносов находящихся в движении при расходе Q. Если вместо этой арифметической средней рассматривать геометрическую среднюю, то уменьшается, что приводит к меньшему затенению мелких фракция крупными, и к увеличению расхода наносов (см. расчеты для р. Моней-крик).

Ниже в п. 33 статьи показано как сильно влияет неточное определение  $\vec{d}_{cp}$ на расход наносов получаемый по расчету.

16. Из уравнения (7) видно, что ссяя то  $f_0 > 0.06$ , т. е. фракция смеси более подвижна ( $r_0$  входит в зивменатель критерия нодвижности (1)), чем в случае однородного состава крупностью  $d_i$ . Если то  $f_0 > 0.06$ , т. е. мелкие фракции смеси имеют уменьшенную подвижность. Следовательно, крупные фракции смеси имеют большую подвижность, чем мелкие, что было



Рис. 2. Сплошимя — схематизированная гранулометрическая кривая полных отложении в русле; пунктир то же кривая для напосов, илходящихся п движении при рас хода Q.

лавно установлено экспериментально (Дюранл, Пантелопулос и др.), а теперь подтверждается теорегически. В этом проявляется влияние затенения одних фракций другими, т. с. явление сортировки и самоотмостки.

17. Рис. 1 выявляет существенное положение. Автомодельная юка для смесей значительно расширяется в сторону мелких фракций, так как условия обтекания диктуются самыми крупными фракциями и затенением мелких крупными. Поэтому осли даже относится само по себе к переходной зоне, то если а гем более по своей величине относится к автомодельной зоне, то п вся смесь обтекается в условиях автомодельности и (7) соблюдается. Опытные точки нанесенные из рис. 1 это подтверждают вплоть до d <sub>гр</sub> =0,35; возможно, что это положение остается справедливо и для исиьших значений, но пока не имеется опытных гочек за пределами 0,35.

18. Спрашивается какова подвижность не отдельных фракций смеся, а смеси в целом. Эта подвижность должна определяться по гранулометрической кривой медиалным размером смеси  $d_{50}$ , так как али этого размера половина веса всей смеси относится к размерам более крупным чем  $d_{50}$  и половина веса к размерам меньше чем а транспорт наносов процесс энергетический, связанный с весом перемещаемой массы. Следовательно в уравнении (7), для смеси в пелом, отношение  $d_1/d_{cp}$  должно быть заменено отношением  $d_{50}/d_{cp}$  и уравнение будет иметь вид:

$$f_{\rm free} = \boxed{\frac{1}{lg \, 19 \frac{d_{50}}{d_{cp}}}}$$

Таким образом сказывается затеняющее влияние смеси, влияние сортировки и самоотмостки, на подвижность всей смеси, обычно уменьшающее расход наносов, так как собо <1.

19. Если смесь мелкозернистая, то по гранулометрической кривой. изогнутой вверх (рис. 2),  $d_{50} < d_{cp}$  и, следовательно. полвижность смеси будет ослаблена. Если смесь равнозернистая, и если  $d_0 > d_{max}$ , т. е. все фракции русла в движении (гранулометрическая кривая превращается в прямую), то  $d_{50} = d_{cp}$  и следовательно  $f_0 = 0.06$ . Если смесь крупцозернистая и  $d_0 > d_{max}$ , то по гранулометрической кривой, изогнутой вниз  $d_{50} > d_{cp}$  и подвижность смеси будет повышенная. Если в этом случае  $d_0 < d_{max}$ , то обычно  $d_{50} < d_{cp}$  и подвижность смеси но гранулометрической кривой пополам и определяет вместе с при заданом режиме Ri критерий подвижности (1) входящий в уравнение для расхода наносов; должно определяться по гранулометрической кривой наносов находящихся в движении при заданном расходе воды.

20. Из и.п. 15—19 статьи вытекает, что влияние смеси наносов не может определяться каким-то одним средним диамегром, а определяется совокупностью размеров двух гранулометрических кривых:  $d_{59}, d_{cp} = -\frac{-\text{подв.} + d_{cb} - \text{полное}}{-\frac{-\text{подв.} + d_{cb} - \text{полное}}{-\frac{-\text{подв.} + d_{cb} - \text{полное}}}, d_{max} - фактическое и d_0 по урав$ нению (3"), т. с. двумя гранулометрическими кривыми, для заданного расхода воды и для полных отложений русла (рис. 2).

21. Спращивается, что булет, если расход воды настолько велик. что фактическое значение  $d_{max}$  смеси будет меньше чем  $d_0$ , определяемое уравнением (3°). В этом случае неподвижных фракций нет, все фракции полвижны и не может образоваться самоогмостка, так как она срывается погоком.

Если при некотором расходе воды  $Q_1$  и соответствующем гидравлическом радиусе  $R_1$  имеющееся в отложениях русла  $d_{max} > d_{ot} =$  $= \frac{R_1 i j \rho'}{J_0}$  то самоотмостка может быть образована франциями от  $d_0$  до Если расход воды  $Q_2$  и гидравлический радиус  $R_2$  настолько увеличились, что  $a_{02} = \frac{1}{J_0} > a_{ciam}$  то образовавшаяся ранее самоотмостка будет разрушена и подвижность смеси резко возрастет и будет диктонаться влиянием крупных фракций. Следовательно влияние затенения со стороны неподвижных фракций исчезнет, мелкие

фракции будут увлечены крупными и подвижность смеси будет опрелеляться подвижностью фракции  $d_0$ . Следовательно такой количественный переход к увеличенному расходу воды вызовет качественное

(8)

нзменение подвижности, почти скачком, и приведет к катастрофической подвижке наносов, т. е. к так называемому селевому водокаменному потоку.

Для случая  $d_0 > d_{\max}$  величина  $d_i$  в уравнении (7) будет представлена величиной  $d_0$  и потому для смеси в целом

1

$$= \frac{0.1}{\left(l_{g} 19 \frac{d_{g}}{d_{cg}}\right)^{2}}$$
 (9)

Переход от уравнения (8) к уравнению (9) сопровождается резким увеличением подвижности смеси, так как  $f_a$  значительно уменьшается. Эго переход к другому качеству, так как резкое уменьшение  $f_a$  влечет к резкому увеличению концентрации и расходу наносов. что характерно для селевых турбулентных потоков на реках с большими уклонами.

22. Концентрация наносов *p*<sup>\*</sup> (средняя по вертикали или по сечению потока), и следовательно и расход наносов *с* — то пропорциональны [19, 20, 21] избытку критерия подвижности, т. е. величине

$$\left(\frac{Ri/p'}{f_0d}-1\right) = \left(\frac{f}{f_0}-1\right) = \left(\frac{\tau}{\tau_0}-1\right).$$

В результате экспериментального определения коэффициента пропорциональности К. снязь между критернем транспорта p''/V і и критерием подвижности та (или иначе критернем влечения) равна [19];

$$\frac{p''}{Vi} = K \left( \frac{Rijo'}{f_0 d} - 1 \right) = 0.015 \left( \frac{1}{\tau_0} - 1 \right)$$
(10)

для крупностей наносов затомодельной зоны, н

$$\frac{p^{\prime\prime}}{V\bar{i}} = K\left(\frac{N}{N_0} - 1\right). \tag{11}$$

где

(12) If 
$$N_0 = \gamma_0 u_0$$
 (13)

для всех крупностей наносов (т. е. и для переходной зоны).

Этот переход от силовой (т) к энергетической (N) концепции опубликован автором в 1956 году ([20], см. также [21] и [23]) и судественность перехода к энергетической концепции подтверждена английским академиком Бегиольдом в статье 1960 г., опубликованной Геологическим Управлением США. З тесь (N/N<sub>0</sub>—1) янляется обобшенным избытком критерия подвижности.

Для смессы при ненарушенной отмостке уравнение (10) напишется так:

$$\frac{p''}{V_{i}} = K \left( \frac{Ri/p'}{f_{gen}d_{50}} - 1 \right), \tag{10'}$$

Здесь јоки определяется по уравнению (8).

Для случая когда и стмостка полностью нарушена (потоки типа турбулентных селевых):

$$\frac{p''}{\sqrt{i}} = K\left(\frac{Rl/p'}{f_{00}d_{50}} - 1\right) = K\left(\frac{d_0}{d_{50}} - 1\right)$$
(10")

В уравнении (10") критерий подвижности резко увеличен по сравнению с уравнением (10"), что отвечает положению отмеченному в п. 20, так как приводит к резкому увеличению расхода наносов. Для случая  $d_0 > d_{max}$  гранулометрическая кривая едина, так как все фракции смеси находятся в движении. Для горных рек и логов с большими уклонами гранулометрическая кривая значительно более равномерна (приближается к прямой днагонали) и поэтому отношение и не так велико как для рек малого уклона. но все же  $f_{00} \ll f_{0см}$ , что характерно для селевых турбулентных потоков при катастрофических паводках.

23. В уравнениях (10) и (11) произведение (*Ri*) определяет полное воздействие потока для широкого русла (г. е. при отсутствии сопротивления берегов или стенок) и притом для безгрядового русла (т. е. при отсутствии сопротивления формы грядовых образований), и может быть подностью использовано потоком для транспорта наносов при налични только сопротивления частиц напосов, рассматриваемых как выступы шероховатости носпринимающие при днижении наносов лобовое сопротивление потока.

При наличии влияния берегов (узкие ущелья) или стенок (лотки) и в особенности гряд, значительная часть воздействия потока теряется и следовательно в уравнениях (10) и (11) должна входить некоторая доля (Ri)' < (Ri), а остальная часть воздействия (Ri)'' = (Ri) - (Ri)' зависит от высоты и длины гряд и теряется на преодоление этого сопротивления формы.

21. Несмотря на большое количество исследований посвященных грядам, количественного теоретического решения вопроса об их высоте, длине и гидравлическом сопротивления не имеется.

Имеющееся эмпирическое решение даст возможность определения высоты гряд только в первой стадии их развития, т. е. при относительно малых величинах столько до начинающейся сработки гряд в результате взвешивания напосов; не отражает этой сработки, сглаживания гряд; не отражает влияния условий обтеквния, т. е. изменения лобового сопротивления ( $C_x$ ) с увеличением энергии потока т. е. с увеличением числа Рейнольдса отнесенного к зерпу ( $Re_{ab}$ ).

25. Автором использованы эмпирические уравнения для высоты и длины гряд ( $h_{rp}$  и  $L_{rp}$ ) и эмпирическое уравнение для грядового сопротивления предложенные Гончаровым (1954 г) и Кнорозом [24], но с корректированием их по натурным ганным Берлекома [25] и Пантелопулося [4, 5]. В результате введения отмеченного выше влияния взвешивания  $\alpha = \varphi$  (-) на сработку гряд и влияния изменения лобового сопротивления  $C_r$  с изменением числа Рейнольдса, получено следующее уравнение для той доли гидравлического радиуса, которая связана с расходом наносов:

$$\frac{R'}{R} = \frac{\lambda'}{\lambda_{rp}} = \frac{\lambda'}{\lambda' rp} = \frac{\lambda'}{\lambda' + \left(1 - \frac{U_0}{\overline{U}}\right)^{1/ra} \left[0.03 \left(1 - \alpha\right)\right] / \left[1 - \alpha - (1 - \alpha)\lambda'\right] e^{-2/3Cx}},$$
(14)

где  $\kappa = \varphi\left(\frac{R}{d}\right) - \kappa оэффициент сопротивления зернистой безгрядовой$ 

шероховатости.

Уравнение (14) приводит к расчетному графику рис. 3, в коорлинатной системе v<sub>4</sub>/э и который удовлетворительно подтвержлается многочисленными опытными исследованиями многих авторов, нанесенных соответствующими точками. Расчетные прямые под углом



Рис. 3. 1—опыты Калинске и Хсил *d*.—0,0011 см. 2—Лаурсена—0,01 см: 3—Брукса—0,0137 см; 1—Бартон и Лин—0,018 см; 5—Симонс и Ричардсон—0,045 см, Джилберт -0,0506, 0.17. 0,317. 0,491 см. Залитые точки рифели и гряды. Исзали тыс—безгрядовое русло и иссчаные волны. Силопшые линии—линии равных  $\frac{R}{R}$ : пунктирные лииня—лиини равных концентрации навосов помноженные но 10<sup>0</sup>; точечные лиини—линии равных *R*.

в 45 хорошо подтверждаются опытными точками. Анализ условий подучения уравнения (14) будет опубликован отдельно.

Приведенная автором [13] зависимость  $\frac{R'}{R} = \varphi$  (w), где w — живое сечение потока оправданная точками для рек Моней-Крик и Биг-Санд-крик не может считаться универсальной, и должна быть заменена для случаев выходящих за рамки параметров этих рек уравнеинем (14), дающим

$$\frac{R'}{R} = \varphi\left(\frac{R}{d}, \frac{R_0}{d}, \frac{v_*}{\sigma}, Re_{,d}\right), \text{ так как } A = \varphi\left(\frac{R}{d}\right),$$

$$\frac{U_2}{U} = \varphi\left(\frac{R}{d}, \frac{R_0}{d}\right); a = \varphi\left(\frac{v_*}{\sigma}\right); C_1 - \varphi\left(Re_{,d}\right)$$
(15)

при этом

$$\frac{R_a}{a} = \frac{p' f_0}{i}$$
 (2')

26. В применении к смесям в уравнении (14) и на рис. 3 величину *d* нужно заменить через  $d_{cp}$ , а отношение  $\frac{R_0}{d} = \frac{d}{i}$  (2') определять по  $f_0$  для смеси, т. е. по уравнениям (7) или (8), соответственно.

27. На рис. З нанесены также и линии равных p", определенные по уравнению (10) по заданному уклону, и по определенной уравнением (14) величине R'. Лянин равных р" (пунктир) указывают на прямую связь между концентрацией напосов и категориями конфигурации русла (рифели, дюны, сглаженное русло и переход к песчаным волнам и антидюнам), подтверждаемую опытными точками. На рис. 3 залитые точки относятся к рифелям и дюнам, т. е. к таким конфигурациям русла, которые находятся впе фазы с волновой конфисурацией свободной водной поверхности. Исзалитые опытные точки относятся к переходу к сглаженной поверхности русла, к песчаным волнам, т. с. к конфигурациям русла находящимся в фазе с волновой свободной поверхностью, т. с. практически при постоянной глубине потока, не вызывающей заметного наменения гидравлического сопротивления, характерного для рифелей и дюн. На рис. З нанесены также линии равных R (точечные). Этим лишиям следуют границы между зонами разных грядовых категории как по Албертсону [21, 37], так и по Богарди 28. 291.

28. До сих пор речь шла о зеряистом русле из неоднородных сферических частиц. Для в рехода к округлым песчаным частицам необходимы опытные данные о гидравлической крупности, каждой из фракции и следовательно необходима гранулометрическая кривая не только d, но и з: кроме того необходимы опытные данные для каждой из фракций для определения их среднего эквивалентного диаметра по объему, если удельный вес всех частиц фракции одинаков, и по весу, если удельный вес разный. Тогда по этим данным может быть построена гранулометрическая кривая эквивалентных диаметров. Такая гранулометрическая кривая должна привести к увеличению  $d_{so}$ , г. е. к уменьшению p'' и G''.

Но если форма зерен резко отличается от сферической (плоская галька, пластинчатая форма), то отмеченных построений недостаточно. Строго говоря для несферических частиц изменяется числовой коэффициент 2/3 формулы (6) и становится зависимым от соотношения разных по величине линейных размеров частиц. Для дисков высотой  $\alpha$  и диаметром 8 автором получена вместо 2/3 величина =3/4 $\alpha$  увеличивающая  $f_0$ , следовательно уменьшающая подвижность наносов, и следовательно вместо  $d_{s0}$  и  $d_{cp}$  необходимость вводить  $z_{s0}$  и  $\alpha_{cp}$ .

29. Уравнения (10) и (11) дают суммарный расход наносов и донных и извешенных. Для определения доли донных и доли взвешенных

38

наносов т. с. для рязделения полного расхода есть две возможности. Первая, использовать диффузионную теорию взвешивания как это сделал Эйнштейн [6] и использовать построенные им вспомогательные кривые для его функций и  $J_{a}$ , зависящих от z = -- диффузионной теории (см. [6] и изложение метода Эйнштейна в [12] и в [13]). Если за единицу принять расход донных паносов, которые Эйнштейн определяет раздельно, то расход взвешенных наносов относится к донному как ( $PJ_1 + J_2$ ): 1. где  $P = 2.3 lg 30 \frac{1}{d_{cp}}$ . Вторая возможность за-

ключается в использования зависимости от критерия  $\frac{v_{\phi}}{-}$  доли взве-

шенных наносов от их полной суммы, исходя из опытов Лаурсена [30]. Результаты обработки автором опытов /// Лаурсена приведены на рис. 4.

Эта зависимость x = p (с. в) использована выше и уравнении (14) и существенна тем, что доля извешивания определяется по опытам Лаурсена по полной величине  $v_{x} = \sqrt{gRi}$ , т. е. по полной величине R, и кроме того по гидравлической крупности свободного падения z для сферических зерен.

В работе [13] и табл. 2 было сделано сравнечие между величиной а по Лаурсецу и по Эйнитейну.

30. Изложенные в предыдущих пунктах статьи основы полного полуэмпирического полутеоретического метода расчета транспорта и расхода наносов не имеют произвольных допущений противоречащих физике процесса, характерных для модифицированного метода Эйнштейна. Хотя не все изложенные в предлагаемом методе положения являются вполне строгими, все же они могут служить основой для теоретического расчета наносов в первом приближении.

Приемлемость метода, в рамках определенных п. 10 эгой статьн, показывает сравнение расчетов произведенных на этой основе с измерениями в натуре. Только измерения в патуре могут служить апробанией того или иного метода расчета. В статье [13] это сравнение было ограничено измерениями на реках Каранкуль и Моней-крик. В следующем сообщении автора результаты расчета будут дополнительно сопоставлены с измерениями в натуре для 13-ти ирригационных каналов США, для р. Тине-Изола, и для р. Роны. Там же будет прииедено сравнение расчетных величин для смеся по уравнению (7) с лабораторными опытами Пантелопулоса [1-5].



во опытам Лаурсена.

### Обозначения

g" - расход наносов в весе под водой на единицу ширниы русла. G" - расход наносов в весе под водой полный. G — вес отложений наносов за весь рассматриваемый промежуток времени. q — расход воды на единицу ширины русла. р" = <sup>g"</sup> среднее содержание наносов по всей глубине потока К безразмерный числовой коэффициент равный 0.015. и - уклон равномерного потока и русла. т — касательное напряжение или влекущая сила на единицу площади. R-полный гилравлический раднус потока. R' — доля гидравлического раднуса, определяющая транспорт наносов. R" = R - R' - доля гидравлического радиуса, идущая на преодолжение сопротивления при грядовом движении наносов и на сопротивление берегоя.  $\varphi' = \frac{\gamma_{R} - \gamma}{\rho} = \frac{\gamma_{R} - \gamma}{\gamma},$ ее и о плотность наносов и жидкости потока. те и т удельный нес наносов и жидкости потока.  $f_0 = \frac{1}{(\gamma_{\rm S} - \gamma)} -$ коэффициент сопротивления подвижного русла и - днаметр зерна наносов, do - лиаметр зерна, приволящий расход наносов к полю при данном режиме потока. средний взвешенный диаметр одной грапулометрической кривой. определяемын по площади графика выше кривой dep - средний из средневзвешенных для двух гранулометрических кривых. Индекс шифровой при d дает процент более мелких наносов по гранулометрической кривой, например d. dao и т. д.

обычный коэффициент гидравлического сопротивления равный

$$\frac{1}{C^2}$$
 или  $2\left(\frac{v}{U}\right)$ 

С<sub>л</sub> — коэффициент лобового сопротивления зерна наноса вне контакта с руслом.

 $z = \frac{U}{\bar{U}}$  — переходный коэффициент от средней скорости на вертикали

к донной скорости у зерна.

$$v_s = V \overline{gR} = \sqrt{\frac{\pi}{p}}$$

U — продольная скорость потока у зерна.

и продольная скорость средняя по вертикали — или по сечению.

з . - гидравлическая крупность свободного падения.

в толщина придонного слоя.

мостоянная Кармана.

а — доля взвешивания.

Индекс ноль означает, что величина относится к условиям трогания (исключение составляет d<sub>0</sub>—см. выше).

### F. J. BABLARA

## ՋՐԱԲԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ԼԱՅՆ ԽԱՌՆՈՒՐԴԻ ԵՎ ՀՈՒՆԻ ԻՆՔՆԱՍԱԼԱՐԿՄԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋՐԱԲԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ՇԱՐԺՄԱՆ ՈՒ ՆԱԽՈՒ ՎՐԱ

#### Հաղորդում 1

### Ամփոփում

Նախարանում նշված է ջրարհրուկների լուտ խոշորանկան լայն խառնուրդների աղգեցունվան հայտնարհրման անհրաժեշտունվունը և ննդավոր (ГРЯДОВОС) հունի ազգեցունվունը ջրարհրուկների ծախոի հաշվարկի և նրանց նատված բների ծավալի որոշման վրա, ինչպես և այդպիսի նատված բների ծավալույին բնական չափումների անհրաժեշտունյունը հաշվային եղանակների մամեմատման և փորձարկման նպատակով։ առայ է արված, որ վերը հիչված ազգեցունվունները հաշվի առնող հաշվարկման հղանակները նույլ են տալիս ստանալու մի բանի մեծունկունների միայն կարգը։ Այնուշնան բերված է հեղինակի կողմից նախկինում մշակված եղանակի՝ միատարը լուտ խոշորունյան ջրարհրուկների, նրանց լայն կատնուրդների շարժունակունվան լրիվ չափանիչի վրա հիմնված (1) հավասարումը, որը հեղինակի կողմից առացված է եղև դեռ 1949 խվականին։

 $b_2$ ված են տեղաշարձի (1') և (2) պատմանները, ինչպես և տրված են ներգրավող յ<sub>0</sub> անչափելի ածի նկատմաման (1, 5 և 6) հավասարումները և նրանց դարգացումը լամն խառնապեսերի համար (7 և հ)։ Արանց հիման վրա արված է մանը ֆրակցիաները խոշորների կողմից սավերարկման, այսինքն ին չնաստյարկման աղդեցանկան վերլուծունվունը։ Նամնի վրա էլ արված է երկու գրանալոմեարիկ կորերի աղդեցունվան ուսումնասիրունվունը՝ 1) հունի մեջ լրիմ նատված քի և 2) ջրի ապմած ծախոհ պայմանում շարժման մես գտնվող օրարերուկների դեպքերի համար և հաստատված է երկու գրանուլոմետրիկ կորերի համար ընունադրող մել (նկ. -) որոշման աղդեցունվունը, ինչպես և հաստատված է շարմուն չրարերուկների խոշորունկունը – d<sub>50</sub>:

Ալնահնաև տրված են ջրարերուկների կենտրոնացման և ծախօի (10, 11) հավասարումները, այն տարածելով լայն խառնուրդների վրա (10'. 10-)։

Բերված են (14) Տավտատրման միջոցով արտաճայտված (նկ. 3) խմրերի ազդեցության ուսուննասիրուցյան արդյունջները, որը ճաշվի է առնում ոչ միայն խմրի լարձրությունը, այլն ջրարհրուկների կակովածության պայմանը թմբերի ստացման, ճարթեցման և անցումը ճարթ հատիկավոր ճունի ավաղային այիջներին։ Լաուրսենի փորձերի հիման վրա ացված է ջրարերումների կախվածային րամնի որոշման կապըս Այսպիսոմ ներկայացված է վերը նշված բոլոր աղդեցությունկունները հաշվի առնող հաշվարկի լրիմ հպանակ, որը կարող է հիմ չ ծառայել համեմատելու իրական ու նատուր տվյալների հետ և որը կտա հաշիմների համար ելակետային տվյալների ճիշտ կարզը, 0.5 մինչն 3.0 սահմաններում։

Սուացված է ավելի թուն թավարար ճաժհմատութվուն Գ. Ա. Էրւշտելնի կողմից 1950 թնվակունին առաջարկված միակ հղանակի ճետ (6), որը ընդդրբկում է բոլոր նշված աղդեցությունները, սակալն նույնպես տայիս է մեծուբվունների միայն կութգը, ըստորում քիչ ավելի լալն սաճմաններում։ Նոր եղանակի ճաշխիների ճամեմատությունը նտտուրալում արված չափումների ճետ կներկալացվի ճաջորդ ճաղորդագրություն մեջ։

### PROFESSOR L EGIAZAROFF

Member of Armenian Academy of Sciences, Corresp. member of the Toulouse (France) Ac. of Sci., Honorary member IAHR.

# LARGE RANGE MINTURE SEDIMENT MOVEMENT AND DISCHARGE, SHADOWING AND SELF PAVEMENT EFFECTS

### Communication Nº 1

In the infroduction the necessity of sediment mixture effect and the bed configurations influence for sediment discharge calculations is emphasized, as well as the necessity of prototype, field, measurements by the volume (bulk) method for comparison and approval.

It is shown that even calculation methods including all the mentioned influences are giving only the *order* of magnitude of the sought for values of sediment discharges and sedimentation volumes or weights.

A development of the authors formerly presented calculation method for homogeneous sediments as to their sizes, for sediment mixtures is given, based on the authors complete dimensionless criterion of movability of sediments (1).

The grain movement threshold conditions (1') and (2) are shown, and the equations (4, 5 and 6) for the relative critical shearing force fo are given, and are developed for sediment mixtures (eq. 7 and fig. 1). A presentation of the sediment mixture shadowing or selfpavement effect is given.

On this base an analysis of the granulometric curves, of the total bed sediments and of the sediments in motion, at the given water discharge, is made, and the value of the caracteristic d<sub>x</sub> depending on both granulometric curves (fig. 2) is proposed; the role of the median sediment size  $d_{50}$  is emphasized.

Further the equations (10, 11) of sediment concentration and discharge are presented, with their development for sediment mixtures (10', 10''). Вличине самоотмостка на движение и расхол наносов

The results of an investigation of the bed configurations (bars, dunes) are given by eq. (14) and fig. 3, which gives the relation  $\frac{R'}{R}$ , and

accounts not only for the resistance due to the height of dunes, but also the influence of sediment suspension on the flattening and transition from dunes to flat bed and sand waves.

A relation for the part of sediments that is brought into suspension is given based on Laursens experiments.

So a new complete method of calculation is presented, which includes all the influences mentioned and which is fundamental for the sediment motion of natural, real, sediment mixtures, which gives the sought for *order* of magnitude of values for sediment discharges and sedimentation volumes from 0.5 to 2.0 values of the field measured values. A more than satisfactory compatrison with the only method that is embracing all the mentioned influences, presented by H. A. Einstein in 1950 [6], which gives also only the *order* of magnitude of the sought for values, is given.

The comparison of the new method with field measurements is partly given in (13 and 22) and addition to it will be published in a second communication.

#### ЛИТЕРАТУРА

- I. Pantelopatos, Sur la granulometrie de charriage et la iot du debit solide d'un melange des materiaux. 6-me Congrés AIRH 1955 Hague, Rapport D --10.
- I. Pantelopulos. Etude experimentale du mouvement de charriage de fond d'un melonge des materiaux. 7-me Congres AIRH 1957 Lisbone Rappo (D 30.
- I. Pantelopulos, Influence de la turbulence sur la repartition de la force tractrice entre les materiaux d'un fond mobile, 9-me Congrès AIRH 1961. Belgrade, Rapport 1-14.
- 4 1 Pantelopulos, Resultats experimentaux sur les pertes de charge singuliers dues a la formution dec dunes de gravier. "Energia Elettrica" 1961, Nº 6.
- I Pantelopulos. Sur le mouvement des materiaus par charriage de fond. VIII Convegno di Idraulica. Pisa Aprile 1963, B-9.
- 6 H. A. Einstein, The bed-load function for sediment transportation in open channel flows, 1950, Technical Bull № 1025, US D=1 of J griculture
- h. Meyer-Peter and Müller Formulas for bed-load transport 2nd Congress (AHR Stockholm.
- E. Meyer-Peter. Quelque problemes concernant le charriage des materiaux solides, Houffle Blanchet 1949, No B.
- Л. Ю. Уларов. Напосный режим р. Каранкуль. Сб. "Вопросы энергетнки, гидротехники, горного дела" Изд. АН Узбекской ССР, 1951.
- 10 А. М. Мухалиедов и А. Ю. Умаров. К исследованию режима потока и движения напосон на горных реках. Сб. "Вопросы сидротехники", Изд. А.Н. УзбССР, вып. 6, 1962.
- H. A. Einstein Formulas for the transportation of bedload, 11, A.S.C.E. 1942, pp. 561-597.
- Движение наносов и гидраплический транспорт. Под. редакцией А. П. Юфина, Госэнергонздат, 1963.
- 13. И В. Егиазаров. Сопоставление методов расчета расхода ваносов с измерениями в натуре и попытка учесть влияние самоотмостки русла. Сб. "Методы исследований и использование водных ресурсов". Изд. АН СССР, 19.4.

- B. R. Colby and C. H. Hembree, Slep method for computing lotal sediment load by the modified Einstein method. US Bureau of Reclamation 1955.
- B. R. Colby and B. H. Hembree. Computation of total sediment discharge Niobrata River. US Geological Survey. Water supply paper 1357, 1955.
- 16 D. W. Hubbell and D. Q. Matejka, Sediment transportation Middle loup river. US Geol. Survey wat, supply paper 1476, 1959.
- B. R.Colby and D. W. Hubbell, Simplified method for computing sedtment discharge with the modified Einstein procedure. US Geol. Surv. water supply paper 1953, 1961.
- I. R. Sheppard, Total sediment transport in the lower Colorado river. Pr. ASCE Hydr. Div. 1961, November.
- 19. И. В. Егиазаров Расход влекомых потоком наносов. Известия ОТН АН АрмССР, 1949, № 5.
- 29. Н. В. Егиазаров. Транспортирующая способность открытых потоков. Известия ОТН АН СССР, 1956, № 2.
- И В. Егиаларов. К решению задачи о гранспорте наносов с учетом ваняния концентрации и слое придовной мутности. Известия ОТН АН СССР, Эпергстика. 1959, № 6.
- 22. И. В. Егиазаров. Движение неоднороднов по крупности смеся наносов. Известия ОТН АрмССР, 1963, № 2—3.
- И. В. Егиазаров. Наука о движении износов, сопредельные науки и возможности экспериментирования. Сб. "Проблемы использования водных рессурсов". Известия АН СССР, 1969.
- 24. В. С. Кнороз. Влияние макрошероховат истя русла на его ти правлические совретиваения. Известия ВНИИГ, 1959 г. 62.
- If A Berdenis van Berlekom, Discussion of "Depth-discharge relation- in allovtal channels" in Pr. ASCE Hydr. d. March 1963.
- M. H. Albertson, D. B. Simons, E. V. Richardson, Discussion on Liu's "Mechanics of sediment-ripple formation" April 1957, Proc. ASCE in February 1958 Proc. ASCE Gydr. div.
- D. B. Simons, E. V. Richardson, M. H. Albertson, "Flume studies using medium sand (0.45 mm)". US Geolog, Survey Water supply paper 1498A, 1961.
- 28. Same Ne 26 Discussion by Albertson and Bogirdi.
- I. L. Bogardi, Enquiries into channel stability and sediment inovement .Research Institute of Water\* Budapest, 1957.
- 30. F. M. Laursen, The total sediment load of streams, Pr. ASCE Hydr. d. 1958, February