

П.О. БАЛДЖЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ
ПОТОКОВ ПРИ ПОСТОЯНСТВЕ ИХ НАНОСОНЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Предлагается обобщение зависимости для решения задач руслообразования, в которых имеет место баланс наносов. На основе анализа результатов разработок выводится связь между гидравлическими параметрами “живого” сечения, позволяющая при заданных до начала руслообразования величинах потока прогнозировать их значения после завершения процесса с учетом всего многообразия имеющихся выражений для расчета количества наносов.

Ключевые слова: процесс руслообразования, расход наносов, транспортирующая способность потока, баланс наносов, прогноз.

Прогноз руслообразующих процессов играет важную роль в прикладной гидродинамике. Без него не могут быть решены задачи мостовой гидравлики и различных противоселевых сооружений, заиления водохранилищ и руслового размыва у речных сооружений. В указанных задачах естественным или искусственным путем нарушается созданное равновесие между руслом и потоком, что приводит к интенсивному руслообразованию как в вертикальном, так и в поперечном направлениях. Данный процесс завершается, если в новых условиях восстанавливается равновесие, т. е. имеет место баланс наносов. Необходимость соблюдения условия баланса наносов, как признак завершения руслообразования, вытекает также из уравнения Экснера-Великанова [1], описывающего нестационарный русловой процесс в виде

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

где A – поперечная “живая” площадь потока; P — количество наносов в потоке.

При завершении размыва или отложений имеем постоянные параметры по времени, т.е. $\partial A / \partial t = 0$. Следовательно, по направлению движения получаем

$$P = \text{const} \quad \text{или} \quad q_{\text{ТВ}} = \text{const}. \quad (2)$$

Некорректность использования в дальнейших разработках той или иной формулы проявляется в том, что до настоящего времени отсутствует строго полученное универсальное уравнение по определению расхода наносов $q_{\text{ТВ}}$ или же наносонесущей способности потока P (предельное значение последнего обозначим через S).

При этом ввиду сложности и многофакторности задачи (разнообразие русел водотоков, широкий разброс физико-механических параметров русла и наносов, большая разница между концентрациями потока) невозможно получить достаточно точное решение. Исходя из этого, при решении задач руслообразовательного процесса в различных работах за основу принята та или иная рекомендация. В результате надежность решений в значительной степени становится зависимой от принятого исходного выражения. Это является причиной того, что даже в одной задаче данной области (мостовой переход, заиление водохранилища и т. д.) полученные по различным методам результаты порой сильно отличаются друг от друга.

С учетом вышеизложенного и опираясь на проведенный нами анализ известных зависимостей [1-6], охватывающих многообразие задач движения наносов, разработано универсальное решение. Полученная на основе баланса наносов обобщающая зависимость позволяет учесть основные предложения по расчету величин $q_{тв}$, p и S при решении различных задач руслообразующего процесса.

С целью четкого представления особенностей исследуемого объекта рассматриваются некоторые недостаточно освещенные стороны руслового процесса.

Обычно продольный уклон водотоков в направлении движения уменьшается. Каждому участку русла, в зависимости от его уклона, расхода потока и других характеристик, соответствует определенная величина предельной наносонесущей (транспортирующей) способности потока S , которая также уменьшается. При руслоформирующем расходе Q_p имеем концентрацию P_p . Очевидно, что транспортирующая способность потока на каком-то участке русла S с практической точностью будет соответствовать расчетной концентрации потока P_p . Иначе говоря, на данном участке поток будет двигаться с предельной наносонесущей способностью. Все параметры этого участка, именуемого в дальнейшем предельным, обозначим индексом "ноль" (рис. 1). Величины указанных параметров (уклона i_0 , транспортирующей способности S_0 , площади живого сечения A_0 и др.) играют важную роль при оценке состояния потока по длине водотока и, следовательно, установлении типа руслообразования. Очевидно, что для предельного участка имеем

$$S_0 = P_p. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что величины транспортирующей способности потока в верхних по отношению к предельному участкам больше S_0 , а в нижних - меньше S_0 . Следовательно, по длине водотока можно выделить следующие состояния потока: на верхних участках он движется с концентрацией P_p , меньшей транспортирующих способностей данных участков; на предельном участке - $P_p = S_0$; на нижних участках - концентрация P_p больше их пропускных способностей. Указанное позволяет

по всей длине водотока выделить два известных типа естественного руслообразования: зону транзита наносов (верхние и предельный участки) и зону их отложений (нижние участки) (см. рис.). Со временем при возрастании величины P_p предельный участок переместится вверх, а при ее уменьшении – вниз.

При возведении руслового сооружения на соответствующих местах водотоков имеет место нарушение равновесия. Вследствие этого около створа сооружения возбуждаются интенсивные руслообразующие явления: размыв или отложение грунтов (см.рис.). Начатый процесс затухает, когда восстанавливается транзитная переброска наносонесущего потока с расчетной концентрацией P_p через исследуемый участок. (Все его параметры обозначим без индекса). Очевидно, что по всей длине участка движение, аналогично предельному, будет подчиняться условию

$$S = P_p \quad . \quad (4)$$

Из связей (3) и (4) следует

$$S_0 = S \quad . \quad (5)$$

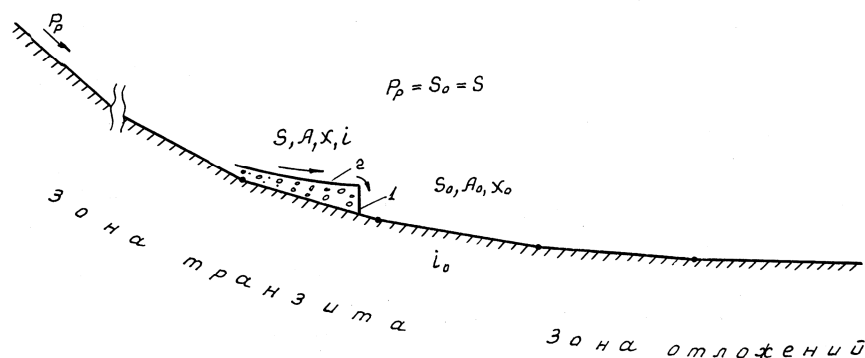


Рис. Профиль русла водотока: 1 - русловое сооружение, 2 - конечная поверхность отложений наносов

Равенство (5) справедливо для любого местоположения участка (по отношению к предельному) при условии, чтобы здесь имел место баланс наносов. Данное равенство позволяет, с учетом существующих предложений по расчету расхода наносов или наносонесущей способности, вывести обобщенную зависимость между гидравлическими параметрами двух участков русла: предельного и вновь образованного, т. е. установить функцию

$$X = f(A, A_0, X_0) \quad . \quad (6)$$

Как было отмечено выше, известно множество выражений по расчету количества наносов [1- 6]. В настоящей работе поставлена цель раскрыть вид функции (6), что практически позволит сделать первоначальный прогноз по конечному результату руслообразования. При этом учитывается весь спектр

известных формул по расчету количества наносов. На примере формулы Великанова [2] приводится последовательность разработок:

М. А.

$$S = \text{const} \frac{V_i}{W\rho'}, \quad (7)$$

где W - гидравлическая крупность наносов; ρ' - их относительная плотность. С учетом формулы Шеззи имеем

$$S = \text{const} \frac{V^3}{C^2 R W \rho'}. \quad (8)$$

Согласно выражению (8), равенство (5) напишется в виде

$$\frac{V_0^3}{C_0^2 R_0} = \frac{V^3}{C^2 R}. \quad (9)$$

Введем безразмерные величины: $\bar{b} = \frac{b}{b_0}$, $\bar{h} = \frac{h}{b_0}$, $\bar{A} = \frac{A}{A_0}$, $\bar{X} = \frac{X}{X_0}$, $\bar{R} = \frac{R}{R_0} = \frac{\bar{A}}{\bar{X}}$,

$$\bar{V} = \frac{V}{V_0} = \frac{1}{\bar{A}}, \bar{n} = \frac{n}{n_0}, \bar{C} = \frac{C}{C_0} \text{ и т.д.}$$

При этом, например, для прямоугольной формы русла площадь живого сечения и смоченный периметр имеют вид

$$\bar{A} = \frac{bh}{b_0 h_0} = \bar{b} \bar{h} K, \quad (10)$$

$$\bar{X} = \frac{b + 2h}{b_0 + 2h_0} = (\bar{b} + 2\bar{h}) \frac{K}{k + 2}, \quad (11)$$

где $K = b_0 / h_0$ - известное в гидравлике соотношение.

В безразмерных величинах выражение (9) напишется в виде

$$\frac{\bar{V}^3}{\bar{C}^2 \bar{R}} = 1. \quad (12)$$

Заменяя безразмерные скорость потока $\bar{V}$ и гидравлический радиус $\bar{R}$ на площадь живого сечения $\bar{A}$ и смоченный периметр $\bar{X}$ и определив коэффициент Шеззи по Маннингу, получим

$$\frac{\bar{X}^{4/3}}{\bar{A}^{13/3}} \bar{n}^2 = 1. \quad (13)$$

Практически $n = n_0$ (т.е. $\bar{n} = 1$). Следовательно, для предельного и подвергнутого руслообразованию участков русла зависимость между их гидравлическими параметрами представляется в виде

$$\bar{X} = \bar{A}^{13/4} . \quad (14)$$

Аналогичным образом обработаны более чем 40 выражений по определению величины S или $q_{\text{ТВ}}$ [1-6]. На их основе были получены соответствующие соотношения между $\bar{X}$ и $\bar{A}$, отличающиеся друг от друга значениями показателя степени при $\bar{A}$. В случаях, когда $n \neq n_0$ или $C \neq C_0$, использованы известные зависимости (Штриклера-Чанга, несдвигающих скоростей и др.).

На основе анализа результатов проведенных разработок можно сделать вывод о том, что, несмотря на конкретные назначения выражений по определению наносонесущей способности (для взвешенных и данных наносов, двухфазных и селевых потоков, гидротранспорта и т. д.), независимо от имеющихся расхождений между результатами расчетов по данным выражениям, все они с учетом баланса наносов (5) приводятся к обобщенному виду

$$\bar{X} = \bar{A}^a \quad (15)$$

или

$$\frac{X}{X_0} = \left(\frac{A}{A_0} \right)^a . \quad (16)$$

При этом каждому выражению соответствует определенное значение показателя a . Однако, вопреки вышеуказанному расхождению между результатами расчетов по указанным выражениям, доверительный интервал изменения показателя a сравнительно небольшой - от 2,5 до 4,5. Из зависимостей (15) или (16) легко перейти к любым частным известным решениям по прогнозу процесса руслообразования. Например, для прямоугольной формы русла при $a = 3$ получим хорошо известную в мостовой гидравлике формулу по расчету глубины размыва под мостом [6]:

$$h = h_0 \left(\frac{b_0}{b} \right)^{2/3} . \quad (17)$$

Анализ значений a показывает, что в различных задачах, в зависимости от концентрации потока, указанный интервал можно раздробить. Так, при концентрациях 10...70 кг/м³ (заиление водохранилищ, ирригационные каналы) значения a предпочтительно брать 2,5...3,3, при 70...150 кг/м³ (мостовые переходы и другие русловые сооружения на предгорных водотоках) - 3,0...4,0, для селевых и горных паводковых потоков - 3,5...4,5.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно прийти к следующим выводам:

- так как ни одно из существующих выражений по расчету наносонесущей способности потока не охватывает всего многообразия движения наносов, то

для решения задач руслообразования использование того или иного конкретного выражения в условиях баланса наносов некорректно;

- целесообразно использовать обобщенную зависимость (15) или (16), полученную с учетом всего многообразия существующих выражений. При этом расчеты необходимо вести на фоне изменения показателя α и в качестве окончательного принимать возможно неблагоприятный из полученных вариантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Великанов М. А.** Динамика русловых потоков. Том. 1. - М.: Гостехиздат, 1954. - 322 с.
2. **Великанов М. А.** Динамика русловых потоков. Том. 2. - М.: ГИТТЛ, 1955. - 323 с.
3. Движение наносов и гидротранспорт/ Под ред. **А. П. Юфина**. - М.; Л.: Госэнергоиздат. 1963. - 199 с.
4. **Салахов Ф. С.** Гидравлический расчет ирригационных отстойников: Сб. науч. тр. АзНИИГиМ.- Баку, 1964. - Том 5.- С. 36-43.
5. **Балджян П. О.** Определение гидравлических параметров селевого потока и расчет селетранспортирующих каналов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.- Ереван, 1982.- 23 с.
6. **Андреев О. В.** Проектирование мостовых переходов.- М: Транспорт, 1980.- 208 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.03.2003.

Պ. Հ. ԲԱԼԺՅԱՆ

ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՀԴՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՄԻՋԵՎ ԿԱՊԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԲԵՐՎԱԾՔԱՍԱՆՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊԶՈՒՄ

Հունակագմական խնդիրների լուծման համար բերվածքների քանակի որոշման բանաձևերի մշակման և վերլուծության հիման վրա առաջարկվում է հոսանքի հիդրավլիկ պարամետրերի միջև կապ հաստատող ընդհանրացված արտահայտություն, որի օգնությամբ հնարավոր է նաև կանխագուշակել հունակագմական երևույթի կարևոր բնութագրերը:

P. H. BALJYAN

DEFINITION OF DEPENDENCE BETWEEN HYDRAULIC FLOW PARAMETERS AT THEIR DRIFT- BEARING CAPACITY CONSTANCY

Generalization of dependence for solving those problems of river bed processes in which the drift balance takes place is considered. Based on the development result analysis of a large number of expressions by defining the drift-bearing flow capacity, a relation between hydraulic parameters of free cross-sectional area allowing at the given flow magnitudes before beginning of the bed formation to predict their values after the completion of the process is deduced.