

УДК 627.131:132

О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СМЫВЕ ОДНОРОДНОГО ГРУНТОВОГО СЛОЯ

В.П. Балджян¹, Е.П. Ероян², К.А. Андриасян², Г.С. Оганесян³

¹ЗАО “АэроКомпозит” (г. Москва)

²Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова

³Национальный политехнический университет Армении

Задачи, изучающие процесс разрушения слоя грунтов и транспортировку потоком, имеют важное прикладное значение, поскольку гидравлический смыв применяется на практике давно, особенно в гидротехническом строительстве. Однако уровень научной обоснованности данного явления остается достаточно низким. Отсутствуют теоретические подходы по оценке характеристик изучаемого явления и прогнозы его хода развития. Разработан аналитический метод, описывающий смыв однородной грунтовой среды. Составлена система основных уравнений, в которую входят уравнение объемного баланса размываемого грунта, уравнение движения и формула по расходу наносов. Совместно с геометрическими закономерностями и краевыми условиями задачи система уравнений замыкается. Ее решение позволяет для каждого конкретного примера прогнозировать параметры гидравлического смыва.

Ключевые слова: водный поток, смыв грунтовой среды, транспортировка наносов, гидравлический смыв, разрушение.

Введение. В практике встречается немало случаев, когда естественным или искусственным путем происходит разрушение и транспортировка потоком воды слоя грунта или отложения наносов (гидравлический смыв). К примеру, можно отметить склоновую эрозию, постепенные углубления русел, смыв наносов, отложившихся перед различными русловыми сооружениями [1]. Перечисленные случаи являются теми разновидностями смыва грунтовой среды, которые направлены в отрицательную сторону вертикальной оси Z .

Задача, связанная с изучением процесса смыва и транспортировки грунтов потоком, имеет важное прикладное значение. Явление гидравлического смыва давно применяется на практике, особенно в гидротехническом строительстве. Отдельные вопросы данного явления достаточно хорошо изучены и решены. В частности, можно отметить исследования по определению:

- скорости трогания отдельных частиц грунта и неразмывающих скоростей в различных руслах [2];
- расхода наносов или концентрации двухфазных потоков [3].

Результаты разработок указанных и других вопросов были использованы для решения задач мостовой гидравлики, оросительных каналов, противоселевых сооружений. Однако проблема гидравлического смыва в настоящее время еще остается недостаточно изученной. Без полноценной постановки задачи и обоснованных положений невозможно составить подходящую теоретическую модель исследуемого явления и, следовательно, получить критерии по оценке и прогнозу параметров изучаемого явления. Очевидно, что отсутствие прогнозируемого хода указанных характеристик не позволит управлять процессом и тем более приобрести его конечный эффективный результат.

Таким образом, изучаемая проблема имеет важное научно-прикладное значение.

Постановка задачи и обоснование методики. Целью работы является установление аналитической закономерности по определению количества смываемого потоком грунта в зависимости от времени.

Исследования проведены для случая, когда границы грунтовой среды ограничены ($0 < x \leq L$, $H_0 \leq Z \leq H$, $B_0 \leq 2y \leq B$, где B - ширина среды), движение потока над средой стационарное, а процесс размыва нестационарен (рис. 1 и 2).

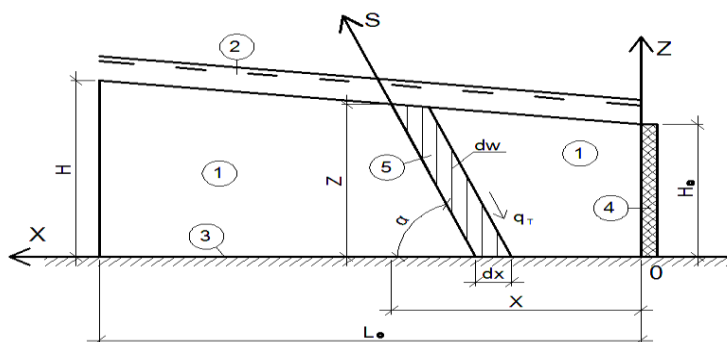


Рис. 1. Продольная схема грунтовой среды:
1- однородный грунт, 2 - стационарное движение, 3 - нижняя граница грунта, 4 - граничное условие

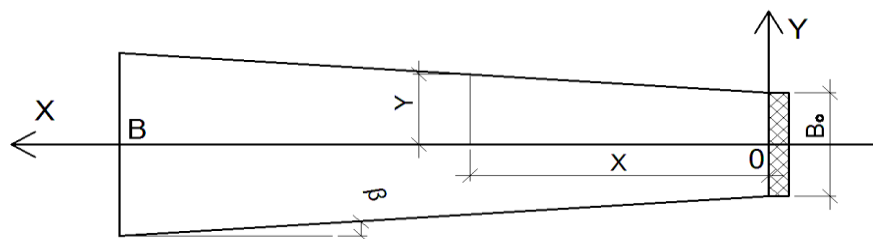


Рис. 2. Плановая схема грунтовой среды

Предполагается, что при определенных начальных условиях грунт под потоком находится в устойчивом состоянии.

В определенный момент нарушаются устойчивые условия среды, и начинается процесс разрушения и унос грунта потоком. Постановка задачи, ее начальные условия и принятые положения приведены в работе [1]. С учетом этих результатов здесь излагаются аналитические разработки, описывающие процесс гидравлического смыва потоком однородной грунтовой среды, и предлагаются пути применения этих разработок на практике.

При исходных параметрах необходимо составить систему основных уравнений, позволяющих в зависимости от времени и расстояния установить закономерности изменения геометрических и гидравлических характеристик грунтовой среды и потока. Начало координат "0" принято в конечном створе (рис. 1). В этом случае можем фиксировать, что перед началом размыва в точке $x=0$ имеем: $y = \pm \frac{B_0}{2}$, $Z = H_0$, $q_T = 0$ (где q_T - расход грунта, унесенного потоком).

В начальный момент времени ($t=0$) при изменении граничных условий $Z = H_0$ на $Z=0$ начнется процесс гидравлического смыва и транспортировки грунта.

Необходимо отметить, что в практических задачах изменение граничных устойчивых условий может происходить как по всему фронту $B_0 \left(y = \pm \frac{B_0}{2} \right)$, так и на его конкретных участках. Обозначив ширину участка размыва через b_0 , можем написать $\sum b_0 \leq B_0$. В этом случае разрушение среды происходит в соответствии с размерами этих участков, и в грунтовой среде по оси x образуется одно или несколько русел.

В этом варианте необходимо иметь добавочные закономерности по учету видоизменения русел. Естественно, что задача усложняется: меняются и граничные условия, и пределы интегрирования, однако получаемые решения не будут существенно отличаться от тех, когда размыв идет по всему фронту.

Результаты исследования. С целью разработки математической модели исследуемой задачи определим круг используемых уравнений и зависимостей. В общей постановке параметры, характеризующие разрушение и транспортировку грунта, зависят как от координат, так и от времени. В определенный момент времени t , обозначив расход смытого грунта через q_T , можем составить следующее уравнение объемного баланса за элементарный промежуток времени dt :

$$q_T = \rho_{sp} \frac{dW}{dt}, \quad (1)$$

где ρ_{sp} - плотность грунта; dW - элементарный объем смытого грунта.

Согласно рис.1, для элементарного объема будем иметь

$$dW = 2y S \sin \alpha dx = 2y z dx, \quad (2)$$

где $2y$ - переменная ширина фронта рассматриваемой среды (ось x проходит по середине фронта грунтовой среды (рис. 1 и 2)).

С учетом зависимостей (1) и (2) уравнение баланса можно представить в виде

$$dt = \rho_{sp} \frac{2y z dx}{q_T}. \quad (3)$$

Координаты y и z нетрудно выразить через x (рис. 1 и 2), в частности:

$$y = \frac{B_0}{2} + x \operatorname{tg} \beta, \quad (4)$$

$$z = x \operatorname{tg} \alpha. \quad (5)$$

Как показывают натурные и экспериментальные исследования [4,5], в ходе смыва угол фронтальной поверхности грунта α может:

- оставаться неизменным, равным первоначальному значению α , которое определяется в зависимости от грунтовых характеристик;
- постепенно уменьшаться до угла наклона поверхности α_0 .

Первый случай имеет место в тех натуральных условиях, когда длина грунтовой среды L сопоставима с другими размерами (H_0 и B_0). В остальных случаях с ростом координаты x величина α уменьшается.

Что касается угла расширения (сужения) грунтовой среды β , то его величина является исходной. В практике она обычно или постоянная, или равна нулю, т.е. форма среды относительно оси x призматическая.

С учетом выражений (4) и (5) балансовое уравнение (3) примет вид

$$dt = \rho_{sp} \frac{2 \left(\frac{B_0}{2} + x \operatorname{tg} \beta \right) x \operatorname{tg} \alpha}{q_T} dx, \quad (6)$$

где элементарный объем смытого грунта dW составляет

$$dW = 2 \left(\frac{B_0}{2} + x \operatorname{tg} \beta \right) x \operatorname{tg} \alpha dx. \quad (7)$$

В дифференциальном уравнении (6) важное значение имеет правильная оценка расхода транспортируемого потоком грунта q_T . На его величину особенно сильно влияет уклон смываемой поверхности по оси S . О возможном поведении этого угла объяснено выше. Если его значение принимается постоянным, то, естественно, величина расхода грунта тоже будет постоянной.

Существует множество формул для определения величины q_T в различных русловых условиях [3,6]. В зависимости от исходных параметров грунтовой среды, из числа указанных формул в состав системы уравнений можно выбрать подходящую формулу. Интегрирование дифференциального уравнения (6) в известных пределах грунтовой среды не представляет трудности.

Заключение. Таким образом, решение полученного уравнения (6) с учетом соответствующей формулы для определения расхода грунта дает возможность установить закономерность изменения объема смытого и уносимого потоком грунта во временном пространстве. Полученное решение может быть использовано при определении процессов гидравлического смыва наносов, отложившихся в верхнем бьефе различных русловых сооружений, а также при решении аналогичных задач гидравлики.

Литература

1. **Балджян П.О., Балджян В.П.** Математическое описание процесса смыва потоком несвязанного однородного грунта // Сб. 5-й Межд. н/т конф. "Современные проблемы водного хозяйства".- Тбилиси, 2015.- С.13-16.
2. **Laursen E.M.** Scour at bridge crossings // Jurn. of Hydraulics, Div., Pr. ASCE.- 1960.- V.86, N H12. - P. 91-102.
3. **Юфин А.П.** Движение наносов и гидравлический транспорт.- М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 199 с.
4. **Исмагилов Х.А.** Гидравлические основы расчета противоселевых сооружений для предгорной зоны Средней Азии: Автореф. дис. ... д.т.н.- М., 1991. – 46 с.
5. **Балджян П.О., Токмаджян Л.О.** Результаты натурных исследований головного гидроузла Армавирского канала "Кара-Кала" на р. Аракс // Сб. науч. труд. ИВХ Грузии.- Тбилиси, 2010.-N 65. - С. 21-22.
6. **Салахов Ф.С.** Гидравлический расчет ирригационных отстойников // Сб. науч. трудов АзНИИГиМ.– Баку, 1964. –Т.5. - С. 36 - 43.

*Поступила в редакцию 09.09.2015.
Принята к опубликованию 22.02.2016.*

ՄԻԱՍԵՌ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՇԵՐՏԻ ՀԻԴՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ԼՎԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Վ.Պ. Բալջյան, Ե.Պ. Երոյան, Կ.Ա. Անդրիասյան, Գ.Ս. Հովհաննիսյան

Գրունտային շերտի քայքայման և հեղուկի հոսանքով դրա տեղափոխման խնդիրներն ունեն կիրառական կարևոր նշանակություն, քանի որ հիդրավլիկական լվացումը վաղուց արդեն օգտագործվում է հիդրոտեխնիկական շինարարության բնագավառում: Սակայն տվյալ երևույթը գիտականորեն դեռևս բավարար չափով հիմնավորված չէ: Բացակայում են գրունտի լվացման գործընթացի բնութագրիչների գնահատման տեսական մեթոդները և զարգացումը կանխատեսող մոտեցումները: Մշակվել է միասեռ գրունտի հիդրավլիկական լվացման պարամետրերի որոշման անալիտիկ մեթոդ: Կազմվել է հիմնական հավասարումների համակարգ, որում ներառված են լվացված և տարվող գրունտի ծավալային հաշվեկշռի և շարժման հավասարումները, ինչպես նաև ջրաբերուկների ելքի առնչությունը: Հաշվի առնելով խնդրի երկրաչափական օրինաչափությունները և եզրային պայմանները՝ ստացվել է հավասարումների փակ համակարգ: Հավասարումների լուծումը հնարավորություն է տալիս յուրաքանչյուր կոնկրետ խնդրի դեպքում կանխատեսել գրունտի հիդրավլիկական լվացման պարամետրերը:

Առանցքային բաներ. ջրային հոսք, գրունտային միջավայրի ողողում, բերվածքների տեղաշարժ, հիդրավլիկական լվացում, քայքայում:

THE HYDRAULIC WASHOUT OF HOMOGENEOUS GROUND LAYER

V.P. Baljyan, Y.P. Yeroyan, K.A. Andriasyan, G.S. Hovhannisyan

Tasks, studying the process of destruction of the ground layer, and the transportation by flow, have a very important practical value as the hydraulic washout has long been used, especially in hydraulic engineering. However, the level of scientific validity of this phenomenon remains rather low. There are no theoretical approaches to the assessment of the characteristics of the studied phenomenon and anticipation of its development progress. The goal of the work is to develop an analytical method, describing the homogeneous ground washout. A system of basic equations is created, including the equation of the volumetric balance of the washed gr

ound, the movement equation, and the formula for the sediment discharge. Along with geometric laws and boundary conditions of the problem, the equation system is closed. Its solution allows to predict the parameters of hydraulic washout for every specific example.

Keywords: water flow, washout of ground environment, sediment transportation, hydraulic washout, destruction.