

УДК 556.5:532.52

Шишкина Ольга Дмитриевна¹, научный сотрудник отдела нелинейных геофизических процессов
e-mail: olsh@ipfran.ru

¹ ФИЦ Институт прикладной физики РАН им. акад. А.В. Гапонова-Грехова, г. Нижний Новгород, Россия.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОФИЛЯ СУДОХОДНОГО КАНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В РАЗМЫВАЕМОМ ДНЕ

Аннотация. В работе представлены результаты исследования закономерности размыва осадочных пород в речном русле со ступенчатым поперечным профилем после заглубления фарватерной части русла в нижнем бьефе плотины гидроэлектростанции.

Ключевые слова: морфология русла, волновой канал, поперечный ступенчатый профиль, дноуглубление, транспорт грунта.

Проблема размыва речного русла, сложенного из осадочных пород, является одной из основных в гидроморфологии. Особенное внимание её решению уделяется при проведении дноуглубительных работ.

Постановка задачи:

Русло реки представляет собой узкий волноводный канал с соотношением длины волны к ширине канала $\lambda/B \gg 1$. В этом случае ведущую роль в гидроморфологических процессах играет соотношение продольных скоростей в потоке жидкости.

Условие устойчивости поперечного профиля размываемого дна ступенчатого типа в речном русле будет выполняться при равенстве продольных скоростей жидкости в глубокой H и мелководной h зонах руслового канала [1].

Очевидно, что при наличии ступенчатого профиля дна поперек потока это условие не может выполняться для одного типа волн, так как скорость их распространения определяется одной и той же зависимостью. И равенство скоростей потока при переменной глубине поперек течения в таком случае невозможно.

Следовательно, в прибрежной и фарватерной частях русла должны одновременно присутствовать две разные волновые системы с различными физическими свойствами и, как следствие, разными зависимостями их параметров от глубины потока.

Проведенные ранее автором исследования [2] показали, что такое условие выполнимо.

Рассмотрим случай изменения геометрических параметров русла со ступенчатым поперечным профилем при производстве дноуглубительных работ при заглублении фарватерной части русла H с неизменной глубиной h вблизи берега. Схема постановки задачи приведена на Рисунке 1.

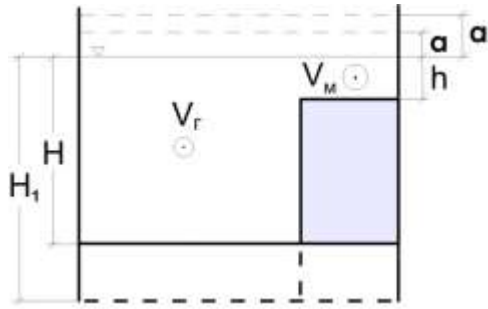


Рисунок 1 - Схема постановки задачи об изменении высоты волны в зависимости от заглубления фарватера: H и h – исходные глубины глубоководной и мелководной частей русла соответственно, H_1 – глубина фарватера после дноуглубления, a и a_1 – высота волны до и после дноуглубления

Решение задачи:

До и после дноуглубления условия равенства продольных скоростей поперек потока могут быть выражены следующим образом:

$$V = V_{Г} = V_{М} \tag{1}$$

$$V_1 = V_{Г}^1 = V_{М}^1,$$

где $V_{Г}$, $V_{М}$ – скорости воды в глубокой (фарватерной) и мелкой (прибрежной) зонах русла соответственно;

$V_{М}^1$, $V_{Г}^1$ – те же скорости после проведения дноуглубительных работ.

Учитывая волновой характер движения жидкости в нижнем бьефе плотины гидроэлектростанции, равенства (1) могут быть записаны в следующем виде [1]:

$$V = \sqrt{gH} = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3a}{4h} \right) + V_0 \tag{2}$$

$$V_1 = \sqrt{gH_1} = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3a_1}{4h} \right) + V_0,$$

где H и H_1 – глубина фарватерной части до и после дноуглубления соответственно;

h – глубина прибрежной части русла;

a и a_1 – высота волны в нижнем бьефе плотины до и после дноуглубления соответственно;

V_0 – скорость фонового течения.

Из уравнений (2) выражение для изменения скорости потока $\Delta V = V_1 - V$ вследствие углубления дна фарватера H до глубины H_1 при постоянной глубине прибрежного мелководья h будет иметь следующий вид:

$$\Delta V = \sqrt{gH_1} - \sqrt{gH} = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3a_1}{4h} \right) - \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3a}{4h} \right). \tag{3}$$

Откуда можно получить выражение для изменения высоты волны $\Delta a = a_1 - a$ в зависимости от изменения глубины фарватерной части H :

$$\Delta a = \frac{4}{3} \sqrt{h} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H}). \tag{4}$$

Данное соотношение определяет условие равновесного состояния речного дна при воздействии на него сложной волновой системы, формируемой в размываемом русле с поперечным профилем ступенчатого типа.

Из уравнения (4) также очевидно постоянство соотношения всех параметров задачи:

$$\frac{\sqrt{h}}{\Delta a} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H}) = \frac{3}{4} = const. \quad (5)$$

Выражение (5) определяет значение изменения высоты волны Δa , необходимого для обеспечения устойчивости профиля размываемого речного дна после углубления дна по фарватеру реки.

Это значит, что для получения устойчивого профиля дна размываемого русла ступенчатого типа при изменении глубины фарватера $\Delta H = H_1 - H$ и постоянстве глубины прибрежной зоны h должно обеспечиваться соответствующее изменение высоты волны Δa .

На рисунке 2 представлен пример решения уравнения (5) для глубины прибрежной части русла $h = 1.2 \text{ м}$ при заглублении фарватерной части $H = 4 \text{ м}$ до глубины $H_1 = 6 \text{ м}$ (синие линии). В этом случае расчетная высота волны должна увеличиться на $\Delta a = a_1 - a = 0.66 \text{ м}$.

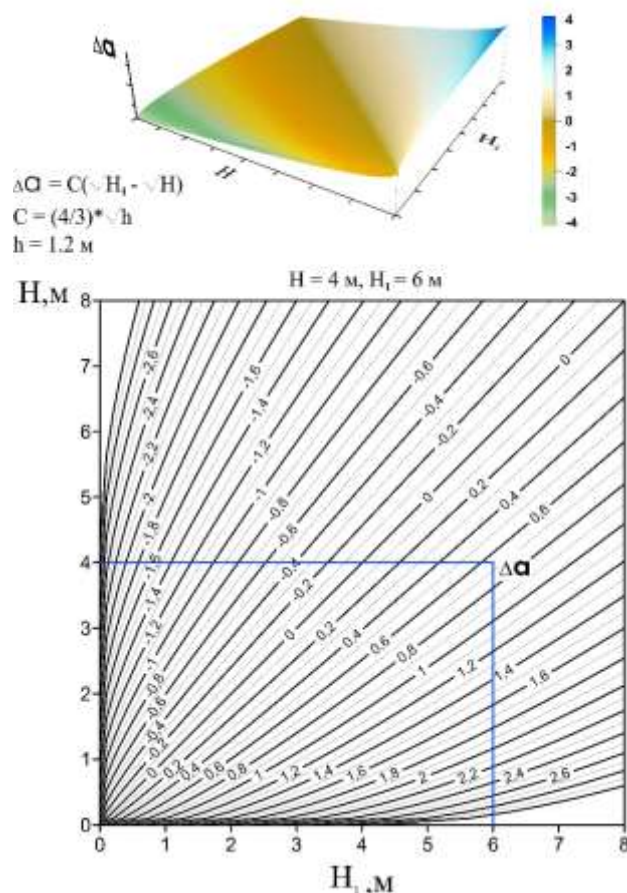


Рисунок 2 - Графическое решение уравнения (6) для изменения высоты волны в зависимости от заглубления фарватера:

Δa – изменение высоты волны после дноуглубления,
 H и H_1 – глубина фарватера до и после дноуглубления,
 h – глубина прибрежной мелководной части русла

Данное условие должно учитываться при планировании и проведении дноуглубительных работ с целью формирования стабильного руслового профиля, сложенного из размываемых осадочных пород.

Работа автора финансируется за счет средств государственного задания (программа № 0030-2021-0007).

Список литературы:

1. Шишкина О.Д. Исследование действия речного потока на динамику осадочных пород поперечно неоднородного дна ступенчатого типа [Текст]// Гидрометеорология и

экология: достижения и перспективы развития» имени Л.Н. Карлина/MGO-2022: Труды VI Международной конференции. «Перо». – 2022. – С. 245-249. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53863758> (дата обращения 13.06.2023)

2. Shishkina O.D., Sveen J. K., Grue J. Transformation of internal solitary waves at the "deep" and "shallow" shelf: satellite observations and laboratory experiment//Nonlinear Processes in Geophysics. – 2013. – V. 20. – № 5. – P. 743-757.

ESTIMATION OF THE STABILITY OF THE PROFILE OF THE SHIPPING CHANNEL WHILST DREDGING IN THE ERODING BOTTOM

Olga D. Shishkina

Abstract. The paper presents the results of a study of the stability of sedimentary rocks in a riverbed with a stepped transverse profile after the dredging of the fairway part of the channel in the lower reaches of the hydroelectric dam.

Keywords: morphology of the channel, wave channel, transverse step-like profile, dredging, sediment transport.

