

4. Тутышкин, Н. Д. Соотношение на разрывах при динамической плоской деформации / Н. Д. Тутышкин // Технология машиностроения. – Тула, 1972. – Вып. 29 – С. 56–66.
5. Алюшин, Ю. А. Теория обработки металлов давлением / Ю. А. Алюшин – Ростов-н/Д: изд-во РИСХМА, 1972. – 85 с.
6. Качанов, И. В. Оптимизация режима нагружения при скоростном ударном выдавливании биметаллических плоскоступенчатых стержневых изделий / И. В. Качанов, В. В. Власов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. акад. навук. - 2018. - Т. 63, №1. - С. 43-52.

УДК 532.59

Комзолова Д.С., Смагин И.А.

Научные руководители: Шаталов И.М., Щербакова М.К.

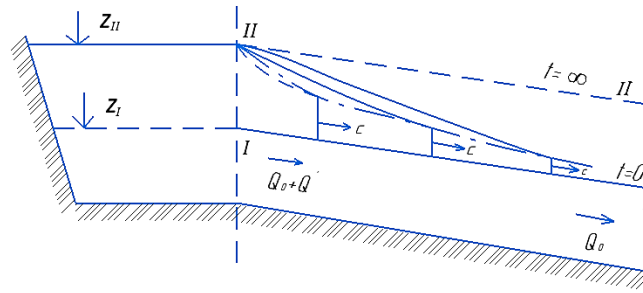
Белорусский национальный технический университет

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПРИ ПРОРЫВЕ
НАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКОГОРЬЯ**

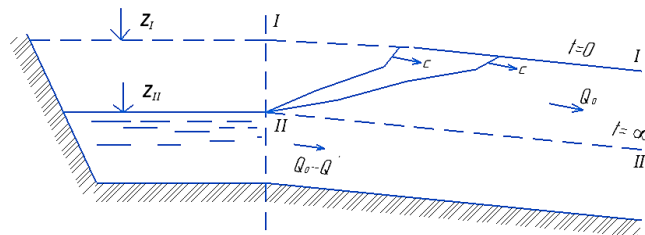
Неустановившееся движение потока воды в открытых руслах (реках и каналах) может возникать при прорыве плотин; в результате маневрирования затворами гидротехнических сооружений (шлюзов, водозаборов, гидроэлектростанций и т.д.); включения и выключения насосных станций. При этом неустановившееся движение в открытых руслах чаще всего принимает форму волны перемещения прямой или обратно, положительной или отрицательной [1].

Волны перемещения в этих случаях имеют строго направленное продольное движение (рис.1).

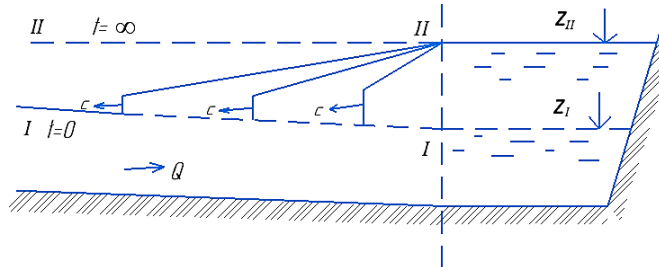
Для теоретического анализа и расчета такого движения обычно принимают плотность воды ρ (кг/м³) постоянной, а русло достаточно широким, т.е. $B \gg h$ (где B , м – ширина русла по урезу воды; h , м – глубина потока) и поперечное сечение русла близким к прямоугольной форме, а неустановившееся движение сравнивается с установившимся равномерным движением воды при котором силы трения и поверхность потока уравниваются проекцией силы тяжести, действие которой обусловлено продольным уклоном водотока.



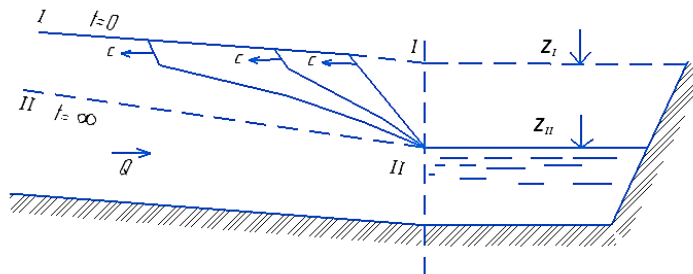
a – прямая положительная волна, или волна наполнения



б – прямая отрицательная волна, или волна отлива



в – обратная положительная волна, или волна подпора



г – обратная отрицательная волна, или волна излива

Рисунок 1 – Неустановившееся движение в открытом русле в виде волны перемещения

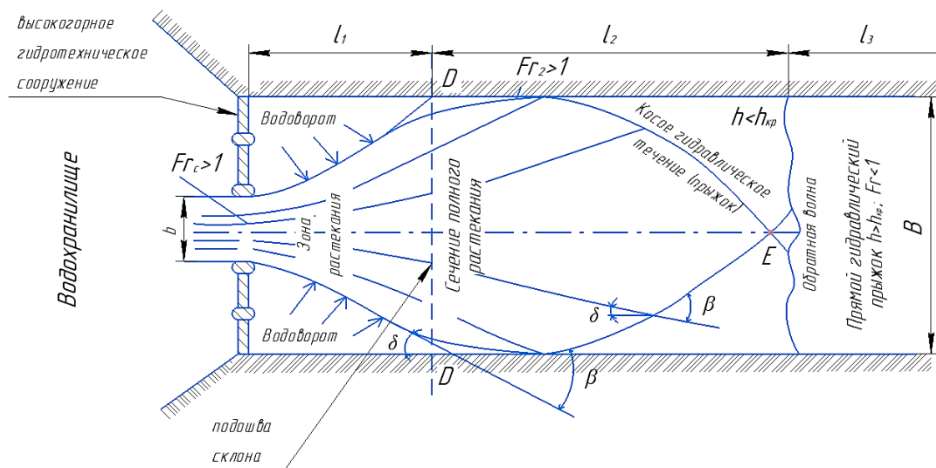
В реальных условиях (особенно в условиях возвышенностей или горного рельефа местности) разрушение напорного фронта гидротехнического сооружения (например, плотины) происходит с образованием трещины или прорана, через который происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором наблюдается падение уровня воды в водохранилище (рис. 1, *б*) и уменьшение расхода воды в начальном створе. В таких условиях более вероятно появление прямой отрицательной волны перемещения (рис. 1, *б*), которая сопровождается увеличением расхода в конечном сечении и выполнением следующих условий существования (или возникновения)

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} < 0; \quad \frac{\partial \omega}{\partial l} > 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} < 0; \quad \frac{\partial v}{\partial l} < 0.$$

При этом на начальном, расширяющемся участке, волна является преломленной, а далее на последующих участках растекания потока волна становится отражённой (обратной) положительной с уменьшением расхода в конечном сечении (рис. 1, в), при этом соблюдаются следующие условия

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} > 0; \quad \frac{\partial \omega}{\partial l} > 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} < 0; \quad \frac{\partial v}{\partial l} < 0.$$

Обращает на себя внимание тот факт, что в условиях высокогорья реальным является боковой приток воды, т. е. приток воды по нормали к оси основного потока, связанный с таянием льда, снега и ливневым притоком воды, что приводит к необходимости рассмотрения условий пространственно-изменяющегося неустановившегося движения (рис. 2).



h – глубина потока; $h_{кр}$ – критическая глубина; l_1, l_2, l_3 – длины рассматриваемых участков; b – ширина прорана; Fr – число Фруда; β и δ – углы растекания потока воды; B – максимальная ширина водотока (нижнего бьефа гидротехнического сооружения)

Рисунок 2 – Схема растекания потока воды при условиях пространственно-изменяющегося неустановившегося движения

Рассмотрим более подробно движение преломленной волны на участке l_1 , которая представляет из себя прямую отрицательную волну неустановившегося движения, при котором глубины и расход жидкости будут постепенно или плавно увеличиваться вдоль по течению.

Рассматриваемое движение воды (рис. 2) может быть описано двумя дифференциальными уравнениями: уравнением баланса расхода (1) и уравнением динамического равновесия (2).

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

$$(i - AQ^2)g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \quad (2)$$

Однако эти уравнения не учитывают пространственного изменения неустановившегося движения. Пространственное изменение неустановившегося движения сопровождается боковым притоком или оттоком жидкости (воды) по нормали или под некоторым углом к оси основного главного потока (рис. 2). Наличие такого притока или оттока вызывает изменение расхода на участке dl на величину dQ [1]. В этом случае количество движения, отнесенное к единице веса воды, протекающей в русле растекающегося потока, получает приращение, равное:

$$\frac{\alpha_0 \rho g v dQ}{g \rho g \omega dl} \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; $\rho g dQ$ и $\rho g \omega dl$ – вес воды, поступающей в русло во время притока или оттока; ω – площадь поперечного сечения русла, заполненного водой, м².

Учитывая, что $dQ = d(v\omega) = v d\omega + \omega dv$, выражение (3) можно записать в частных производных:

$$\frac{\alpha_0 v^2}{g \omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \frac{\alpha_0 v}{g} \frac{\partial v}{\partial l} \quad (4)$$

Если в правую часть уравнения (2) добавить член, определенный выражением (4), то уравнение (2) переписывается в виде:

$$(i - AQ^2)g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{\alpha_0 v^2}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha_0 v \frac{\partial v}{\partial l}$$

или

$$(i - AQ^2)g = \left(\frac{g}{B} + \alpha_0 \frac{v^2}{\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial l} + (\alpha + \alpha_0) v \frac{\partial v}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (5)$$

Выражение (5) является динамическим уравнением пространственно-изменяющегося неустановившегося движения, которое учитывает боковой приток или отток воды, поступающий в основное русло растекающегося потока воды нормально к его оси. Приток или отток воды связан обычно в горных условиях с поверхностным стоком талых (от таяния льда и снега) и ливневых вод.

Предложенную математическую модель можно использовать при компьютерном моделировании прорыва напорных гидротехнических сооружений и последующего растекания потока воды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по гидравлике / под ред. В.А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Высш. шк. Головное издательство, 1984. – 343 с.

2. Стриганова, М.Ю. Математическая модель неустановившегося движения волны прорыва и экспериментальные исследования потока в призматическом нижнем бьефе / М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – Т. 28, № 2. – С. 83–93.

3. Карпенчук, И.В. Математическая модель неустановившегося движения волны прорыва гидротехнических сооружений напорного фронта / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали IV Міжнарод. наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ін. героїв Чорнобиля, 2010. – С. 57–60.

УДК 669:620.197

Денисов В.А., Ковалёнок Н. А.

Научные руководители: Качанов И.В., Шаталов И.М

Белорусский национальный технический университет

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ИХ ОТ КОРРОЗИИ

Эффективность реализации целого ряда технологических процессов напрямую зависит от качества очистки поверхностей от коррозии [1–2]. Так, например, для подготовки стальных листов под лазерную резку (ЛР) (в настоящее время на промышленных предприятиях Республики Беларусь насчитывается порядка 300 комплексов, на которых ежегодно разрезается более 80 тыс. тон листовой стали) необходимо после очистки от коррозии иметь высококачественную поверхность с шероховатостью $R_a = 0,4–1,0$ мкм с минимальным уровнем упрочнения (микротвердость H_{μ} после обработки по сравнению с исходным значением $H_{\mu 0}$ должна находиться в пределах $H_{\mu} = 1,5–1,6H_{\mu 0}$) и низкой отражательной способностью [3–5]. Обеспечение такого качества поверхности является экономически затратным.

Исследования, проведенные на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» («ГЭСВТГ») БНТУ показали, что весьма экономично и с гораздо меньшими затратами мощности можно подготовить листовые стальные материалы к последующей ЛР применяя для удаления продуктов коррозии реверсивно-струйную очистку (РСО), основанную на струйном воздействии рабочих жидкостей на обрабатываемую поверхность (рисунок 1). При этом в качестве рабочих жидкостей используются водные составы с добавками на начальном этапе очистки речного песка и бентонитовой глины – на завершающем этапе. При