

А.В. Максимович, И.В. Калиновский

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

Научные руководители ст. преподаватели И.М. Шаталов, М.К. Щербакова

Причинами разрушения или обрушений грунтовых плотин являются: сейсмические воздействия на сооружения; подпорный уровень воды, превышающий расчетную величину; аварийное состояние сооружения; неэффективность работы дренажных систем и др.

При развитии любого сценария аварии происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором расход воды при распространении потока по нижнему бьефу грунтовой плотины уменьшается в начальном и увеличивается в конечном створе. Для определения основных параметров такого потока были проведены экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке.

Тестовым объектом исследования было выбрано Тахтакорпюнское водохранилище на территории Азербайджана, созданное одной из наиболее высоких земляных плотин не только в регионе, но и в Европе. Располагается данное сооружение на высоте около 140 м над долиной с жилой застройкой и сетями энергоснабжения, водоснабжения и транспортного сообщения. Протяженность склона от плотины составляет 2,32 км (рисунок 1) [1].

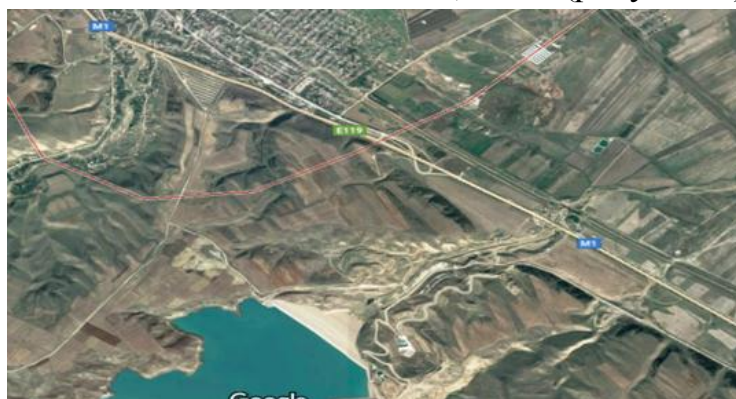


Рисунок 1– Плотина Тахтакорпюнского водохранилища

Провести натурные эксперименты на подобных объектах не представляется возможным. Поэтому лабораторные исследования являются самым оптимальным методом определения необходимых параметров водных потоков при гидродинамической аварии. Был проведен количественный

эксперимент, который позволил зафиксировать волну перемещения и определить геометрические и кинематические ее параметры. Гидравлические сопротивления, шероховатость дна, аэрация потока и волнообразование не учитывались в связи с большой инерционностью горного потока.

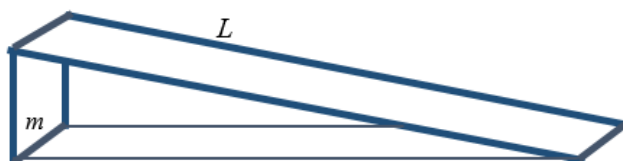
Для проведения лабораторных экспериментов на первом этапе были определены критерии подобия, которые учитывались при разработке модели тестового сооружения. Были выбраны критерии геометрического и динамического подобия, равенство которых для природы и модели обеспечивает возможность пересчета полученных экспериментальных значений исследуемых параметров потоков для натуральных условий.

Динамическое подобие выражается через число Фруда, Fr :

$$Fr_{\text{мод}} = Fr_{\text{нат}} = \frac{v^2}{gh}. \quad (1)$$

Геометрическое подобие определено геометрическими размерами согласно модели (рисунок 2):

$$\frac{m_{\text{мод}}}{L_{\text{мод}}} = \frac{m_{\text{нат}}}{L_{\text{нат}}}. \quad (2)$$



m – высота расположения плотины над горизонтальной плоскостью, м; L – длина нижнего бьефа (склона), м

Рисунок 2 – Модель нижнего бьефа (склона)

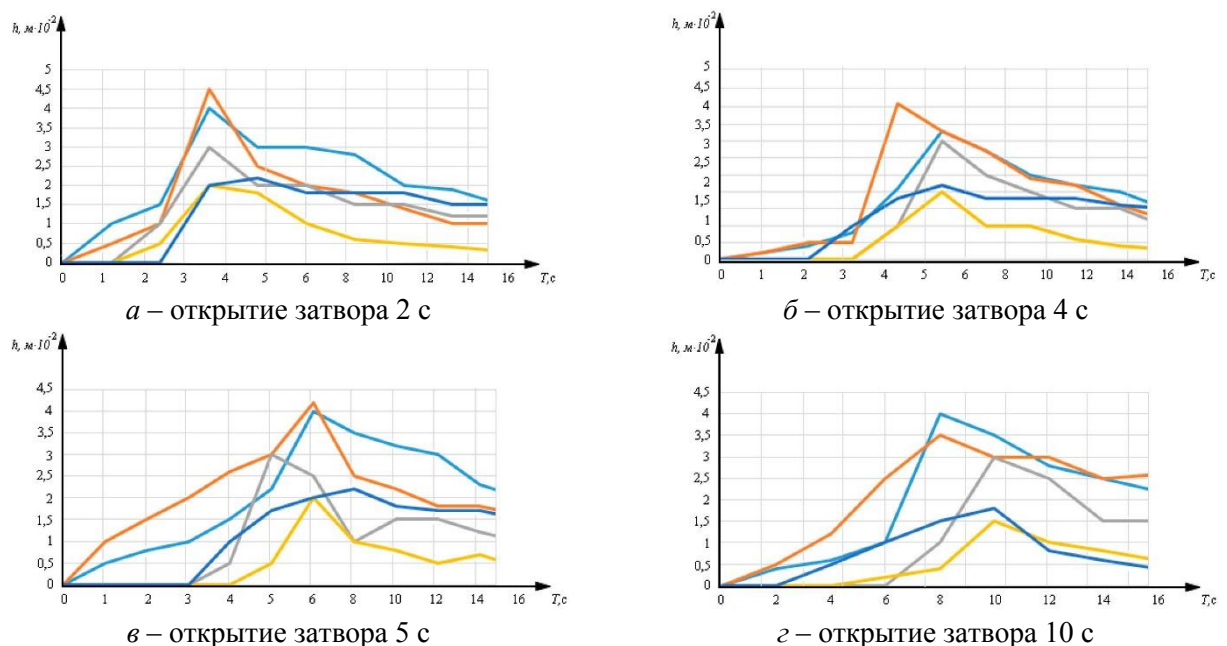
Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямоточном гидравлическом лотке шириной 0,245 м с прозрачными стенками (рисунок 3). Поток снимали неподвижной камерой.

Эксперименты были проведены при различных временных интервалах подъема затвора 1 (от 2 до 15 с или мгновенно), что соответствовало различным сценариям разрушения плотины: от возникновения прорана вдоль основания плотины до полного ее исчезновения.

Всего было определено шесть серий экспериментов с пятикратным повторением каждой серии. Далее была проведена обработка результатов измерений и наблюдений, для того чтобы в дальнейшем провести сопоставление с результатами теоретических расчетов и уточнить количественные значения полученных параметров. По результатам были построены графики зависимостей $h = f(T)$, что соответствовало изменению глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени движения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора (рисунок 4).



Рисунок 3 – Общий вид экспериментального лабораторного стенда с моделью нижнего бьефа (сухого русла)



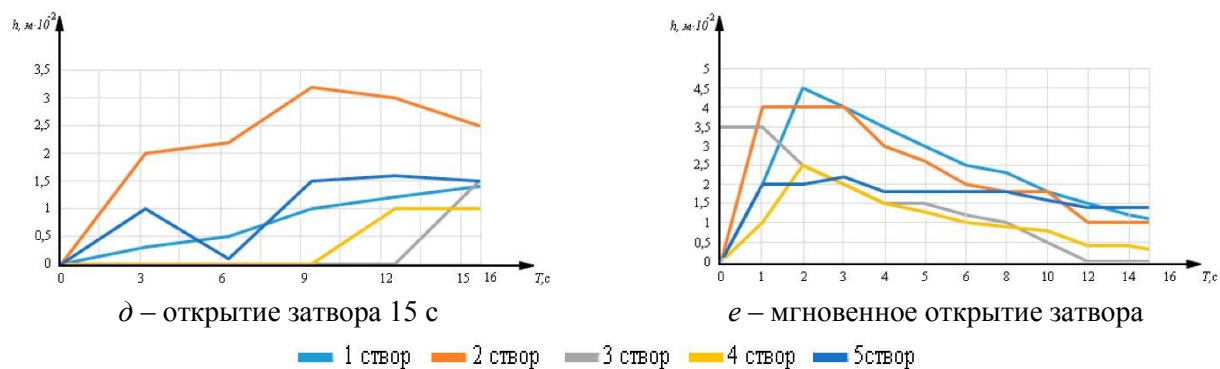


Рисунок 4 – График изменения глубины потока воды h (высоты волны перемещения) в зависимости от времени перемещения потока T в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора

Видеонаблюдение и анализ построенных графиков показывает, что в начальный момент времени перемещения потока воды на участке, расположенном на некотором расстоянии от подвижного затвора, происходит довольно резкое увеличение глубины (и, соответственно, массы или расхода) вытекающего потока воды (рисунок 4 *a–d*). Затем вода стекает по крутому склону лотка, находясь в бурном состоянии, со значительным уменьшением глубины h и увеличением средней скорости v потока (рисунок 5). Это свидетельствует о появлении прямой отрицательной волны перемещения, о которой упоминалось в ранее опубликованных работах [2; 3]. Здесь следует отметить, что при мгновенном открытии подвижного затвора 1 (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока (рисунки 4*e*, 5).



Рисунок 5 – Общий вид волны перемещения при мгновенном открытии затвора

При движении по наклонной поверхности (горному склону) поток всегда находится в бурном состоянии, а волна перемещения обладает максимальной скоростью и огромной разрушительной способностью. Далее, достигнув горизонтальной плоскости в гидродинамическом лотке, поток переходит в спокойное состояние; при этом появляется обратная положительная волна

(рисунок 6), у которой глубина увеличивается, что в натуральных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне.



Рисунок 6 – Общий вид обратной волны

Проведение лабораторных модельных исследований потока, движущегося по наклонной плоскости, имитирующей нижний бьеф в виде сухого русла высокогорной плотины при гидродинамической аварии, позволило описать процесс формирования волны перемещения при различных сценариях разрушения сооружения.

Экспериментальная модель движения волны перемещения визуально подтвердила рассмотренные ранее теоретические исследования [2; 3] об имеющей место прямой отрицательной волне при протекании потока по наклонному склону вследствие опорожнения водохранилища и обратной положительной волне ниже склона вследствие торможения потока. Однако при мгновенном открытии подвижного затвора (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока.

Разработанная методика лабораторных исследований, проведенный эксперимент и полученные результаты позволяют оценить гидравлические показатели (скорость и глубина) движущегося потока от времени развития прорана. Полученные экспериментальные данные будут использованы для сопоставления с результатами теоретических расчетов для оценки возможностей и достоверности выбранного метода численного моделирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стриганова, М.Ю. Аспекты теоретических и экспериментальных исследований движения водных потоков при прорыве плотин / М.Ю. Стриганова, С.А. Самедов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС

Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 493–500. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.493. – EDN: YPMHSP.

2. Стриганова М.Ю. Математическая модель пространственно изменяющегося неустановившегося движения потока при прорыве напорных гидротехнических сооружений в условиях высокогорья / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 48–58. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.48. – EDN: KGXUEV.

3. Стриганова М.Ю. Об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 328–334. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.328. – EDN: BVNHOW.

УДК 627.8

И. И. Назаров, Н.В. Седляр, Н.Я. Шпилевский

Белорусский национальный технический университет

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В БЕЛАРУСИ И МИРЕ

Общие сведения. ГЭС Беларуси, в виду равнинного рельефа территории, низконапорные и имеют небольшую мощность. Гидроэнергетический потенциал использования всех водотоков Беларуси официально оценивается в 441 МВт, экономически эффективный равен 270 МВт.

Для Беларуси энергия рек – наиболее надежный и целесообразный источник возобновляемой энергии, который может быть реально задействован. Малая гидроэнергетика помогает прогрессу возобновляемых источников электроэнергии и достижению целей по снижению выбросов парниковых газов.

В глобальном масштабе гидроэнергия является наиболее распространённым источником возобновляемой энергии с общей установленной мощностью на всех шести континентах 1,2 ТВт. Общая установленная мощность малых гидроэлектростанций постоянно растёт и составляет примерно 1,9% общей установленной мощности в мире и занимает четвёртое место, уступая крупной гидроэнергетике, ветровой и солнечной энергии (рис. 1).

Варианты развития малой гидроэнергетики в Беларуси: