

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ДНА НА ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В КАНАЛАХ

А.О. Валов, В.В. Дегтярев, Н.Н. Фёдорова

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, Россия

В настоящее время на территории России эксплуатируются несколько десятков тысяч плотин. При этом около 10 миллионов человек проживают на территории нижнего бьефа. Прорыв плотин уровень может привести к огромным материальным потерям, ухудшению состояния окружающей среды, а также к человеческим жертвам.

Плотины из грунтовых материалов, зачастую представляющие собой основной элемент напорного фронта – источник наибольшей потенциальной опасности с точки зрения возникновения аварии. При аварии наиболее опасным последствием является разрушение напорного фронта, возникновение волны прорыва и затопление территории нижнего бьефа.

Исследование гидродинамических аспектов развития аварийных ситуаций требует выполнения комплексных расчетно-теоретических и экспериментальных исследований. Разработка новых и дальнейшее развитие уже известных математических моделей, их калибровка определяют необходимость проведения специальных лабораторных опытов, результаты которых позволят провести валидацию численной модели и выбрать наиболее адекватные методы численного решения [1,2].

Целью настоящей работы является численное моделирование волны прорыва в условиях физического эксперимента, проведенным одним из авторов настоящей работы Дегтяревым В.В. в лаборатории прикладной гидромеханики инженерно-строительного факультета Лондонского технического университета.

Экспериментальная установка представляла собой стеклянный лоток длиной 20 метров и поперечным сечением $1,4 \times 0,7$ м (Рис.1). На расстоянии 10 метров от начала лотка был создан сосредоточенный перепад уровней воды. В начальный момент времени задвижка, разделяющая «верхний» и «нижний» бьефы убиралась, и в канале формировалась волна прорыва.



Рис. 1. Экспериментальная установка в лаборатории прикладной гидромеханики инженерно-строительного факультета Лондонского технического университета (City University, Civil Engineer Department)

Таблица. Условия физического эксперимента

Эксперимент №	H_v , м	H_n , м	Точки замеров			
			l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м
№ 1	0,25	0,15	0,15	3,0	5,0	8,0
№ 2	0,25	0,2	0,5	2,0	5,0	-
№ 3	0,25	0,15	0,15	0,5	4,5	7,5

Высота воды в «верхнем» H_v и «нижнем» H_n бьефах изменялась в эксперименте согласно Таблице, в которой также представлены расстояния до точек замеров высоты поверхности от начального створа перепада уровней воды.

На данной установке была проведена серия экспериментов для гладкого и шероховатого дна. Шероховатость (Рис. 2) формировалась путем распределения частиц по дну лотка. Размеры частиц фракции изменялись от $d_{\min}=1,204$ мм до $d_{\max}=2,5$ мм (Шероховатость №1), от $d_{\min}=3,6$ мм до $d_{\max}=5,0$ мм (Шероховатость №2). Для регистрации уровней воды использовались ёмкостные датчики.



Рис. 2. Шероховатость дна

Целью настоящей работы является создание компьютерной модели нестационарного течения в канале и дальнейший сопоставительный анализ результатов вычислений с результатами физического эксперимента. Расчеты проведены в программном комплексе ANSYS Fluent¹ в нестационарной двумерной постановке на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, дополненных стандартной $k-\omega$ моделью турбулентности [4]. Для описания многофазности применялась модель Volume of Fluid [3], которая используется для моделирования двух или более несмешивающихся фаз с четкой границей раздела. В рамках этой модели для всех фаз используется общее уравнение движения, и решаются уравнения для объемной концентрации каждой фазы. Фазы не могут перемешиваться и проникать одна в другую, поэтому в большинстве ячеек вычислительной области объемная концентрация фаз равна 0 или 1. Движение поверхности раздела фаз рассчитывается на фиксированной эйлеровой сетке. Если в какой-то ячейке объемная концентрация не равна одному из предельных значений, это означает, что в этой ячейке находится граница межфазного раздела. Модель хорошо описывает стратифицированные течения, течения со свободной поверхностью, заполнение жидкостью сосуда, выплескивание жидкости, движение больших газовых пузырей в трубах и каналах, разлив жидкости по сухому руслу после разрушения плотины и другие течения.

Геометрическая модель полностью повторяет размеры экспериментальной установки (Рис. 3).

¹ ANSYS Customer Number 531496

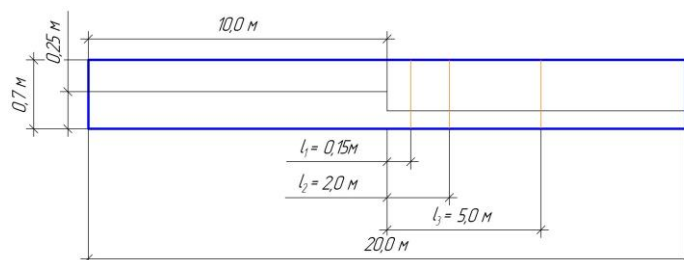


Рис. 3. Геометрическая модель лотка (для условий Эксперимента №2)

Геометрическая модель и расчетная сетка построены в ANSYS Workbench с использованием модулей Design Modeler и Meshing. Расчетная область строилась с помощью инструмента Sizing со сгущением к ко всем твердым поверхностям. Итоговая сетка содержала около 500000 прямоугольных элементов.

В результате расчета были получены графики, показывающие изменение уровня свободной поверхности во времени. Результаты численного моделирования сопоставлены с данными физического эксперимента. На Рис. 4. представлены графики результатов численного и физического экспериментов для условий Эксперимента №1 (гладкое дно) в точке замера $l_3=5$ м. Рисунок показывает качественное соответствие расчетных и экспериментальных данных по времени прихода и длине волны. Однако расчетная амплитуда волны превышает экспериментальное значение, что может быть связано как с погрешностью измерительной аппаратуры, трудностями проведения измерений в нестационарном течении, так и с несовершенством численной модели.

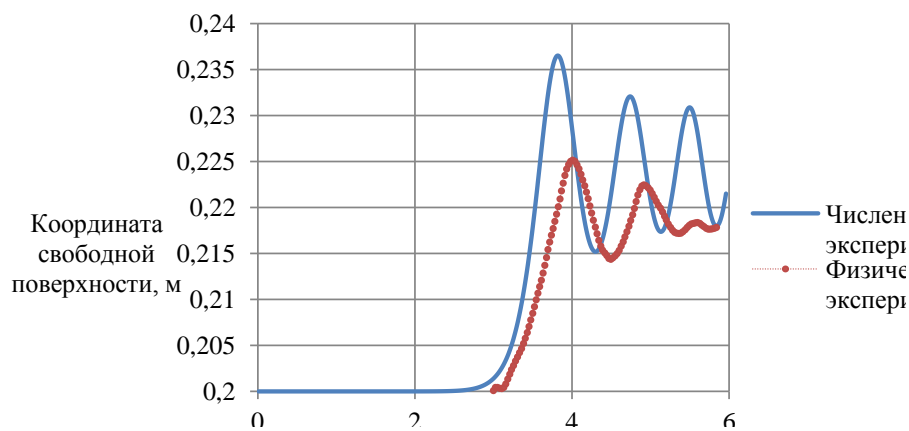


Рис. 4. Полученные результаты численного и физического экспериментов (произведение замеров на расстоянии 5 метров от начального створа)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Букреев В.И.** Экспериментальная проверка методов расчета волн после частичного разрушения плотины / В.И. Букреев, В.В. Дегтярев, А.В. Чеботников // ПМТФ. – 2008. – Т. 49, №5. – С. 61 - 69.
2. **Букреев В. И.** Гравитационные волны при распаде разрыва над уступом дна открытого канала / В.И. Букреев, А.В. Гусев // ПМТФ. – 2003. – Т. 44, №4. – С. 64 - 75/
3. **Wilcox, D. C.** (2008), Formulation of the $k-\omega$ Turbulence Model Revisited, // AIAA Journal, Vol. 46, No. 11. P. 2823–2838.
4. **Hirt, C.W.; Nichols, B.D.** (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries // Journal of Computational Physics. Vol. 39, No. 1: P. 201–225.