

Численное моделирование вихревых структур естественных потоков в русловых водохранилищах

Левкевич В.Е., Новиков А.А.*

ГНУ «Институт экономики, НАН Беларуси»,

*Белорусский национальный технический университет

Для описания транзитных и вихревых эффектов движения жидкости в русловых водохранилищах традиционно используется плановая модель

$$\text{«мелкой воды» Буссинеска-Сен-Венана } h_t + \nabla(h\vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\text{и импульсов } \vec{V}_t + (\vec{V}\nabla)\vec{V} + g\nabla(h+b) + g|\vec{V}|\vec{V}/(c^2h) - \nu\nabla^2\vec{V} = 0 \quad (2),$$

где $b(x,y)$ – отметки заложения дна водоема. Граничные условия: нулевые скорости на береговой кромке кроме фрагментов верхнего и нижнего бьефов (для вихревой составляющей потока) и условия не протекания на береговых кромках для стационарной (транзитивной) составляющей.

Векторное поле скоростей в постановке (1)-(2) может быть разложено на две составляющие: потенциальную (стационарную) и вихревую (нестационарную). Оценка транзитной составляющей $V_{mp} = grad \varphi(x,y)$ получается из решения упрощенного аналога модели (1)-(2) неоднородного уравнения Лапласа $\nabla(h\vec{V}_{mp}) = 0$ (3), которое эффективно разрешимо методом разделения по пространственным факторам при предваряющей замене реальных входных-выходных бьефов, линейные размеры которых пренебрежительно меньше длины береговой линии точечными источниками известной и постоянной интенсивности равной известному транзитному расходу водоема.

Такая композиция решения позволяет вписать реальный водоем в прямоугольник, который покрывается равномерной разностной сеткой. В «сухих» узлах сетки задавались пренебрежимо малые глубины. Исходные данные о батометрии, известные только в отдельных точках, вычислялись для всех расчетных узлов сетки кубической сплайн-интерполяцией. Полученная по (3) стационарная и потенциальная по математическому описанию составляющая потока аддитивно исключается из общей задачи (1)-(2) и на образованном поле выполняется несколько временных шагов связанных именно с вихревыми составляющими потока. Для исключения эффектов схемной вязкости проводился сглаживающий пересчет данных получаемых на трех сетках кратного размера.

Для оценки вихревого воздействия вычислялась специальная характеристика «модуль колебания скорости» $p(x,y) = \max|\partial\vec{V}/\partial t|$.