

# ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Лепихин А.П.<sup>1</sup>, Любимова Т.П.<sup>2</sup>, Тиунов А.А.<sup>1</sup>, Богомолов А.В.<sup>1</sup>, Паршакова Я.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Горный институт Уральского отделения РАН, <sup>2</sup> Институт механики сплошных сред  
УО РАН, Россия

Традиционно гидродинамические модели, используемые для описания поверхностных водных объектов, разделяются на 1,2 и 3 мерные.

При выборе оптимальных моделей необходимо исходить из следующих положений:

- модель должна описывать, воспроизводить наиболее значимые, принципиальные для рассматриваемой задачи, особенности водного объекта с требуемой детальностью, надежностью;
- объем и детальность исходных данных, доступность вычислительных ресурсов должны обеспечивать устойчивость функционирования модели.

Наиболее простыми и доступными для реализации являются гидродинамические модели в 1D– постановке. Эти модели строятся, как правило, на основе решения системы уравнений Сен-Венана. При этом определяемые на основе данной модели характеристики описывают осредненные по сечению параметры потока.

Если по условиям задачи распределение расчетных параметров по сечению потока несущественно, то использование таких моделей целесообразно. Как в нашей стране, так и за рубежом разрабатывалось достаточно большое количество программных продуктов по реализации таких моделей. Наибольшую известность получили программные продукты семейства Mike 1.x.x. [1], HECRAS [2].

Гидродинамические модели в одномерном приближении кроме решения широкого круга самостоятельных задач, связанных с расчетом распространения волн прорыва и паводков, прогноза последствий в относительно небольших водотоках залповых поступлений загрязняющих веществ, прогнозирования последствий крупномасштабной русловой добычи НСМ, выполняют и вспомогательную функцию для оценки начальных и граничных условий для моделей в 2D и 3D-постановке, требующих значительных больших вычислительных ресурсов.

Гидродинамические модели в 2-мерной постановке в настоящее время являются наиболее популярными. При этом используются, как правило, 2D-модели в постановке «мелкой» воды, когда рассматриваются гидродинамические характеристики, осредненные как по глубине, так и по ширине потока. Так как большинство водных объектов характеризуются значительно большей шириной по сравнению с глубиной, то приближение «мелкой» воды представляется вполне адекватным. Модель «мелкой» воды в значительной мере строится на системе уравнений Сен-Венана, распределенной по ширине водного объекта.

Однако если исследуется структура очень глубоких водоемов, или по условиям задачи принципиальное значение имеет оценка вертикальной структуры водотока, то такое приближение становится неприемлемым. Например, такая задача возникает при моделировании взаимозависимости водотока широких и глубоких водных карьеров. Тогда соответственно модели с осреднением по ширине потока распределение системы уравнений Сен-Венана проводится по глубине водного объекта.

В качестве наиболее известных из отечественных программных продуктов, реализующих уравнение «мелкой» воды, являются:

- River, созданный НИИЭС;

- программный продукт «CARDINAL» ООО «Кардинал СОФТ»;

из зарубежных:

- программный комплекс MIKE 21, разработанный Датским гидравлическим институтом (DHI);

- SMS v.10.1[3], разработанный по заказу и участию центра гидравлических исследований (HEC) корпуса военных инженеров армии США и Федерального управления по автомобильным дорогам США (FNWA) [[www.aquaveo.com](http://www.aquaveo.com)].

Наиболее известной 2-х мерной моделью с осреднением по ширине водного объекта является W-2 [4], разработанная гидрологическим центром корпуса военных инженеров армии США и компанией ERM.

Опыт использования данной разработки для построения гидродинамической модели р. Сев.Сосьва рассматривается в [5].

Основное принципиальное ограничение этих весьма эффективных моделей – невозможность учета стратификационных эффектов, то есть рассматриваемые потоки должны

характеризоваться нейтральной плавучестью. К сожалению, при решении достаточно широкого круга задач данные условия представляются неприемлемыми.

В этом случае необходимо использование гидродинамических моделей в 3-мерной постановке. Наиболее известными программными продуктами, реализующими гидродинамические уравнения в 3-мерной постановке, являются Flood-3D и Ansys Fluent. При этом, если программный продукт Flood-3D, используя более упрощенную гидродинамическую модель, может быть реализована персональном компьютере, то пакет Ansys Fluent ориентирован на использовании высокопроизводительных кластеров.

Необходимость учета плотностных эффектов возникает не только при описании поведения в водохранилище высокоминерализованных рассолов, промывки донных углублений с накопившимися в них рассолами, но по слиянию рек с заметно отличающимся гидрохимическим режимом.

Проведенные детальные натурные исследования показали, что в зимний период более плотные воды р. Сылва подтекают под менее плотные воды р. Чусовой, в то же время воды р. Чусовой натекают на воды р. Сылвы. При этом взаимное проникновение распределения распространяется более чем на 20 км от створа слияния. Проведенные вычислительные эксперименты [6] очень хорошо подтверждают наблюдаемый эффект, имеют принципиальное значение для организации устойчивого питьевого водоснабжения г. Перми.

#### Литература

1. MIKE 11 – a Modelling System for River and Channels. Reference Manual, DHI Water Environment Health, Denmark, 2008. 520 p.
2. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual (CPD-69) / Gary W. Brunner, Version 4.1, January 2010, p. 411.
3. Donnell, Barbara P., Letter, Joseph V., McAnally, W. H., and others, “Users Guide for RMA2 Version 4.5,” [09 Sept] 2009, [<http://chl.wes.army.mil/software/tabs/docs.htm>].
4. Daniel P. Loucks and Eelco van Beek with contributions from Jerry R. Stedinger, Jos P.M. Dijkman, Monique T. Villars. Water Resources Systems Planning and Management An Introduction to Methods, Models and Applications. Studies and Reports in Hydrology. UNESCO PUBLISHING. – ISBN 92-3-103998-9 – © UNESCO 2005. 676 p.
5. Пушистов П.Ю., Данчев В.Н., Романенко Р.Д. Результаты применения модели гидродинамики и качества воды se-qual-w2 v.3.2 с автоматизированной генерацией файла

батиметрии для численного воспроизведения переменных гидродинамики участка реки Северная Сосьва// Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. 2012г. №6. С. 49-67.

6. Лепихин А.П., Любимова Т. П. Использование стратификационных эффектов для улучшения качества воды, забираемой из поверхностных водных объектов на питьевые нужды// Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. 2011г. №5. С. 89-104.