

К. А. Алексеев, А. Г. Мухаметзянова, А. В. Клинов

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МУТНОСТИ В БОЛЬШИХ ВОДОТОКАХ

Ключевые слова: математическое моделирование, технологическая мутность, большой водоток.

В статье проводится анализ влияния характеристик больших водотоков на распространение и трансформацию поля технологической мутности, и описываются основные пути учета этих особенностей при численном моделировании в программной среде ANSYS Fluent.

Keywords: numerical simulation, technological turbidity, large watercourse.

The article analyzes the performance effects of large watercourse on the distribution and transformation of the field of technological turbidity, and basic ways to incorporate these features in a numerical simulation in the software environment ANSYS Fluent.

Оценка масштабов влияния и ущерба, наносимого водным биоресурсам в результате антропогенного воздействия, является одной из основных задач при проведении дноуглубительных работ, дампинге грунта, сбросах сточных вод и т.д. Эта оценка может быть выполнена на основе численного эксперимента, позволяющего получать необходимую информацию при минимальных затратах времени и средств [1].

На данный момент для моделирования процессов поведения загрязняющих веществ в водной среде (таких как перенос, диффузия, осаждение и т.д.) разработаны и применяются специализированные пакеты программ. Их описанию посвящено значительное количество работ [2-8]. Однако в большинстве своем эти программные комплексы предназначены для моделирования в условиях океанического шельфа и имеют ограничения по применению на других типах водных объектов (таких как большие и малые водотоки, водоемы), в то время как тип водного объекта определяет основные факторы распространения и трансформации поля технологической мутности от источника загрязнения.

В статье [9] рассмотрена возможность моделирования зон осаждения полидисперсной взвеси загрязняющих веществ в малых водотоках с помощью многоцелевого вычислительного программного комплекса ANSYS Fluent. Приведено подробное описание использованных моделей, граничных условий, методики проведения расчетов, результатов оценки адекватности выбранных моделей и влияния типа и плотности сетки на результат расчета. В основу математической модели были положены закономерности переноса дискретной примеси в движущейся жидкости с расчетной гидродинамической структурой. В модельных расчетах имитировалась трехмерная динамика поведения частиц взвеси загрязняющих веществ, искомое поле концентраций находилось путем обработки их пространственного распределения. На основе полученных результатов был сделан вывод о возможности применения программного комплекса ANSYS Fluent для проведения оценки воздействия на водную среду и

её обитателей в условиях малых водотоков. Но применение описанных моделей и методик к другим типам водных объектов должно сопровождаться рассмотрением их особенностей. Поэтому целью данной статьи является анализ влияния характеристик больших водотоков на распространение и трансформацию поля технологической мутности и получения на основе модельных расчетов количественных параметров загрязнения водных объектов.

Основной особенностью рассматриваемой задачи является большой объем необходимой для постановки граничных и начальных условий информации. Эта информация может быть получена как на основе данных измерений, так и данных, содержащихся в справочной литературе (например, [10]). Но в ряде случаев, их отсутствие в процессе решения практических задач диктует необходимость использования экспертных оценок и допущений. Так для моделирования распространения взвеси загрязняющих веществ в больших водотоках необходимо знать:

1. Гидрологические данные, которые включают в себя уровень воды, морфометрические характеристики русла и рельеф дна, положение береговой линии (включая острова), скорость течения. Эти параметры полностью определяют гидродинамическую структуру течения жидкости и, следовательно, оказывают существенное влияние на поведение частиц взвеси загрязняющих веществ.

Как показывает практика, упрощение геометрии расчетной области большого водотока в процессе моделирования, в отличие от того как это было сделано в условиях малого водотока, не допустимо. Усреднение глубины и ширины при создании модели русла приводит к формированию абсолютно иной гидродинамической структуры, что сказывается на точности результата и ставит под сомнение адекватность математического описания. Построение сеточной модели в этом случае требует тщательного воспроизведения рельефа дна, который может претерпевать значительные изменения в расчетной области. На рис. 1 показаны линии тока жидкости на участке р. Волга в интервале 1264,0 – 1270,0 км судового хода, которые были получены в результате расчета. Как видно из рис. 1, рельеф дна

оказывает существенное влияние на характер течения, приводя к изгибам линий тока.

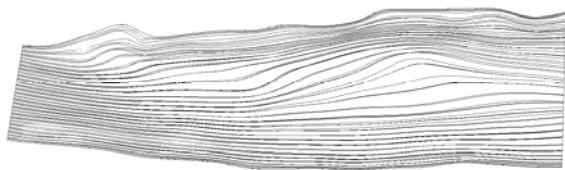


Рис. 1 - Линии тока жидкости

В некоторых случаях на распространение взвеси загрязняющих веществ оказывают влияние характеристики ветро-волнового режима из-за больших площадей акватории водотоков данного типа. Ветер формирует у поверхности ветровые течения, направление которых может, как совпадать, так и отличаться от основного течения. Действие этих течений на взвесь неоднозначно и сложно предвидеть заранее, их учет значительно усложняет математическая модель и увеличивает требования к вычислительным ресурсам. Поэтому, когда это возможно, характеристики ветро-волнового режима исключались из рассмотрения. В противном случае, в первом приближении ветровые течения можно сформировать постановкой на поверхности граничных условий движущейся стенки (moving wall).

Немаловажными при расчетах являются сведения о значениях фоновой (естественной) мутности, которые вносят коррективы в значения полей концентраций зоны мутности.

Гидрологические характеристики (такие как скорость течения, уровень воды и ветро-волновой режим) носят сезонный характер, т.е. их значения могут различаться на порядки во время весенних половодий и летне-осенней межени, поэтому в расчетах использовались средненавигационные показатели этих характеристик или их значения в определенный календарный период проведения работ.

2. Геологические данные (осредненный гранулометрический состав разрабатываемых грунтов и донных отложений) определяют характер распространения и трансформации поля мутности и расстояния уноса частиц от источника загрязнения. Наличие в сбросах большого количества мелких пылеватых частиц приводит к существенному увеличению площадей загрязнения, но уменьшает среднюю концентрацию поля мутности; в то время как крупные частицы уменьшают площадь загрязнения, но увеличивают средние концентрации.

3. Параметры источника загрязнения, его положение и мощность. Характерным отличием больших водотоков является рассмотрение источника загрязнения как локального или точечного в поперечном сечении потока. При этом значения концентраций в контрольных створах, надежный расчет которых должна обеспечить математическая модель, на четыре и более порядка

отличаются от концентрации взвеси у источника загрязнения.

Т.к. источник загрязнения представляется локальным, его местоположение значительно влияет на поведение взвеси загрязняющих веществ. Мощность источника загрязнения определяет значения концентраций в поле мутности.

Таким образом, проведенный анализ показал, что математическая модель, описанная в [9], позволяет моделировать поведение взвеси загрязняющих веществ и в условиях больших водотоков. При этом для учета всех названных особенностей, необходимо уточнить и расширить методику проведения численного эксперимента.

Для учета влияния геометрии русла на зоны мутности были использованы трехмерные сеточные модели, которые были образованы по поперечным сечениям русла, взятым с шагом 100 м по данным карт геологической разведки. Это обеспечило приемлемую точность описания морфометрических характеристик русла и рельефа дна.

Значительную сложность при моделировании представляет создание сеточной модели расчетной области. Она возникает из-за различия значений основных геометрических размеров. Так размер ареала распространения взвешенного вещества на несколько порядков превышает глубину акватории, которая в свою очередь существенно больше размера самого источника загрязнения. Решение этой задачи было найдено в применении специального алгоритма создания сеточной модели со сгущением сетки возле источника загрязнения, что дополнительно повышает точность проводимых расчетов.

Большое число переменных факторов и большие градиенты концентрации отрицательно сказываются на процессе вычисления. Поэтому для повышения устойчивости используемых математических моделей были уменьшены значения коэффициентов релаксации, что привело к уменьшению невязок сходимости расчетных уравнений, но увеличило время проведения расчетов.

В процессе моделирования сброса загрязняющих веществ через выпускную трубу было обнаружено, что при определенных условиях поле мутности может раздваиваться, как это показано на рис. 2. Это явление можно объяснить обтеканием основным потоком струи, выходящей из источника загрязнения, как твердого препятствия. При этом частицы взвеси увлекаются наиболее сильным течением, двигаясь по линиям тока. Течение за источником, оказывается “ослабленным” струей и не может образовать поле мутности. Т.к. зоны мутности при продолжительном времени воздействия оседают, образуя донные отложения, то подтверждение возникновения этого явления в естественных условиях можно найти по рельефу дна. О таком соответствии свидетельствуют изолинии глубин р. Волга в области 1445 км судового хода [10], изображенной на рис. 3. На данный момент установлено, что это явление возникает при определенных скоростях течения,

мощности источника загрязнения, местной глубине и гранулометрического состава взвеси.

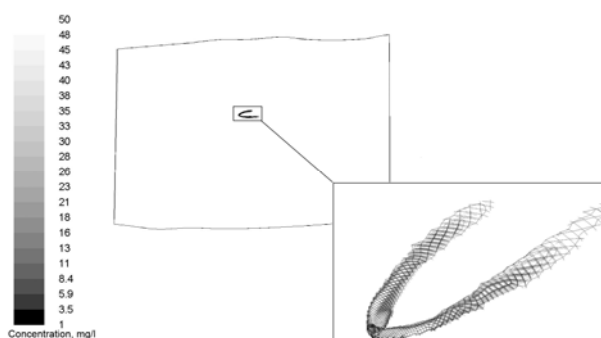


Рис. 2 - Расчетное раздвоенное поле мутности

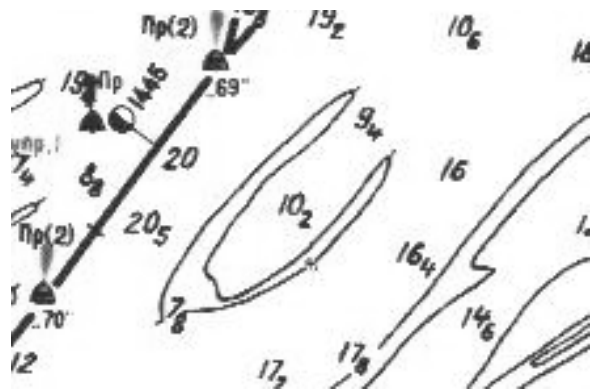


Рис. 3 - Изолинии глубин в области 1445 км судового хода р. Волга

Таким образом, в данной работе был проведен анализ влияния характеристик больших водотоков на распространение и трансформацию поля технологической мутности. Установлено, что программный комплекс ANSYS Fluent позволяет

проводить моделирование поведения частиц взвеси загрязняющих веществ с использованием математических моделей, описанных в [9], при уточнении методики проведения численного эксперимента. Было проведено численное моделирование и на его основе получены количественные параметры загрязнения водных объектов и ущерба наносимого водным биоресурсам.

Литература

1. А.Г. Мухаметзянова, Г.С. Дьяконов, Е.И. Кульментьева. Вестник Казанского технологического университета, 2, 164-172 (2005).
2. В.Н. Котеров, Ю.С. Юрезанская. Вестник МАИ, 16, 7, 125-131 (2009).
3. А.В. Игнатов, В.В. Кравченко. География и природные ресурсы, 144-150 (2008).
4. В.В. Алексеев, Н.И. Куракина, Е.В. Желтов. Информационные технологии моделирования и управления, 5, 765-769 (2005).
5. Б.В. Архипов, В.Н. Котеров, В.В. Солбаков. Модель АКС для прогноза распространения промышленных сбросов с морских буровых платформ. М.: ВЦ РАН, 2000. 71 с.
6. Б.В. Архипов, В.Н. Котеров, А.С. Кочерова, В.В. Солбаков, Г.М. Хубларян. Водные ресурсы, 31, 1, 1-9 (2004).
7. А.А. Богдановский, И.Е. Кочергин. Труды ДВНИГМИ, 89-102 (1998).
8. M.G. Brandsma, T.C. Sauer, Proceedings of MMS Workshop on An Evaluation of Effluent Dispersion and Fate Models for OCS Platforms, 58-84 (1983).
9. А.В. Клинов, А.Г. Мухаметзянова, К.А. Алексеев. Вестник Казанского технологического университета, 19, 10-13 (2012).
10. Атлас единой глубоководной системы европейской части РФ. СПб.: Волго-Балт, 2006.

© К. А. Алексеев – асп. каф. процессов и аппаратов химической технологии КНИТУ, konstantin_aleks@inbox.ru; А. Г. Мухаметзянова – д-р техн. наук, доцент той же кафедры, asia@kstu.ru; А. В. Клинов - д-р техн. наук, проф., зав. каф. процессов и аппаратов химической технологии КНИТУ, alklin@kstu.ru.