

Доктор техн. наук Н.Н. Беляев
(Днепропетровский национальный университет
железнодорожного транспорта),
ассистент П.С. Кириченко
(Криворожский технический университет)

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЯ ПРИ СБРОСЕ ШАХТНЫХ ВОД

На базі розробленої CFD моделі виконано розрахунок забруднення акваторії моря при скиді шахтних вод. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки та моделі потенційного руху. Наводяться результати обчислювального експерименту.

CFD MODELLING OF THE SEA POLLUTION IN THE CASE OF THE MINE WATERS DISCHARGE

A CFD model was developed to calculate the sea pollution in the case of the mine waters discharge. The model is based on the numerical integration of the K-gradient transport model and the model of the potential flow. The results of numerical experiment are presented.

Введение. Одной из острых экологических проблем Криворожского района является проблема утилизации шахтных вод. В настоящее время эти воды накапливаются в прудах-накопителях и сбрасываются из них в реки. Шахтные воды содержат различные примеси. Например, шахтные воды, которые накапливаются в балке «Свистунова», имеют концентрацию хлоридов порядка 20200 мг/л, сульфатов 1320 мг/л, минерализацию 38000 мг/л и т.д. Поэтому, функционирование таких прудов в течение многих лет привело к интенсивному и негативному воздействию шахтных вод на подземные и поверхностные воды в регионе. Как один из вариантов частичной утилизации шахтных вод, сейчас рассматривается проект отвода их в акваторию Черного моря. В рамках этой сложной экологической задачи необходимо рассчитать процесс рассеивания шахтных вод в море. Поэтому целью настоящей работы является разработка численной модели для прогноза интенсивности загрязнения акватории моря в случае возможной реализации этого проекта.

Математическая модель. Полагается, что сброс шахтных вод в море будет происходить на определенном расстоянии от берега моря (рис. 1).

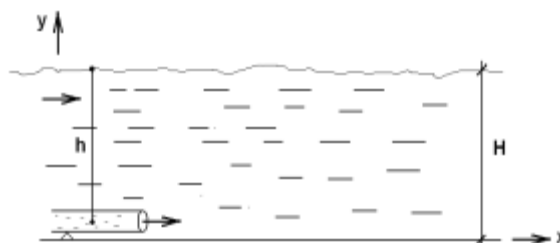


Рис. 1 – Схема сброса шахтных вод в море

Расход сбрасываемых шахтных вод, их качественный состав (концентрация примеси в водах) считаются известными.

Процесс разбавления шахтных вод в море рассчитывается на базе осредненного по ширине потока уравнения переноса примеси [1, 2, 4, 6]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \text{div } \mu \text{grad} C, \quad (1)$$

где C – концентрация загрязнителя, мг/м^3 ; u, v , – компоненты вектора скорости водного потока, м/с ; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; t – время, с .

Для данного уравнения ставятся следующие граничные условия. На твердых непроницаемых стенках (дно, препятствия в потоке) реализуется граничное условие вида:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0, \quad (2)$$

где n – единичный вектор внешней нормали к твердой поверхности.

На входной границе (граница входа потока шахтных вод и потока морской воды) ставится условие вида:

$$C|_{\text{граница}} = C_E,$$

где C_E – известное значение концентрации загрязнителя. Для потока морской воды положим $C_E = 0$.

На выходной границе расчетной области в численной модели ставится «циклическое» граничное условие:

$$C_{i+1, j} = C_{i, j},$$

где $i+1, j$ – номер разностной ячейки на выходе из устройства.

На свободной поверхности (верхняя граница области) ставится условие вида (2). В начальный момент времени полагается $C=0$ внутри расчетной области.

Для расчета поля скорости водной среды при взаимодействии потока морской воды со входящим потоком шахтных вод используется модель потенциального течения. В этом случае базовое уравнение имеет вид [3, 5]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (3)$$

где P – потенциал скорости.

Для данного уравнения ставятся следующие граничные условия [5]:

- на твердых стенках: $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$, где n – единичный вектор внешней нормали к твердой границе;

- на входной границе (зона втекания морской воды или шахтных вод): $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$, где V_n – известное значение скорости втекания, м/с;

- на выходной границе расчетной области: $P = P^* = \text{const}$, $y = y^* + \text{const}$ (условие Дирихле).

Компоненты вектора скорости потока рассчитываются зависимостями [3, 5]:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}.$$

Метод решения. Для численного интегрирования уравнений модели используется ортогональная разностная сетка. Геометрическая форма расчетной области (положение отверстия для ввода шахтных вод, положение водобойной стенки и т.п.) задаются в численной модели с помощью метода «фиктивных ячеек». Для численного интегрирования уравнения переноса примеси (1) используется неявная разностная схема расщепления [1, 2, 4]. Численное интегрирование уравнения для потенциала скорости проводится с использованием идеи установления решения по времени и с применением попеременно – треугольного метода А.А. Самарского [7].

Практическая реализация модели. На основе рассмотренной модели создан код, язык программирования – FORTRAN. Расчет сброса разбавленных шахтных вод, на базе разработанного кода, проведен для следующих исходных данных. Полагается, что внутри водовыпуска происходит разбавление шахтных вод и концентрация загрязнителя на выходе из устройства составляет 25% от концентрации в неразбавленных шахтных водах (т.е. в водах, находящихся в пруде-накопителе), поэтому не учитывается гравитационное оседание в море минерализованных шахтных вод. Средняя скорость потока на выходе из водовыпуска – 1.5 м/с; глубина моря 12 м; скорость ветра 3 м/с; средняя скорость морского потока и значение коэффициентов диффузии рассчитывается на базе эмпирических зависимостей, принятых в нормативной методике с учетом скорости ветра и глубины моря. На границе $x=0$ задается равномерный профиль скорости морского потока. Концентрация загрязнителя на выходе из водовыпуска полагается равной 1 (в безразмерном виде). Длина расчетной области 55 м, высота 12 м. Рассматривается сценарий сброса, когда перед отверстием водовыпуска размещена водобойная стенка. Высота стенки 2 м, длина 8.8 м.

Результаты вычислительного эксперимента показаны на рис. 2 и 3. Здесь представлено распределение изолиний «избыточной» концентрации примеси в расчетной области, т.е., концентрации, превышающей фоновую. Данные расчета представлены в виде матрицы распределения концентрации примеси. Значение концентрации загрязнителя приводится в безразмерном виде: каждое число – это значение концентрации примеси в процентах от величины

концентрации в потоке, выходящем из водовыпуска. Печать чисел осуществляется по формату «целое число», т.е. без сохранения дробной части.

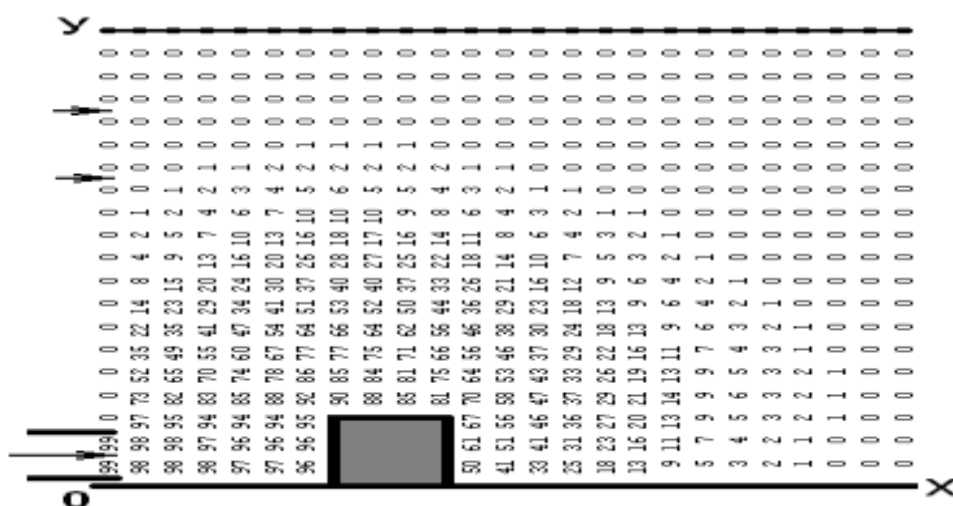


Рис.2 – Распределение концентрации загрязнителя в море вблизи водобойной стенки (сбросная труба на дне)

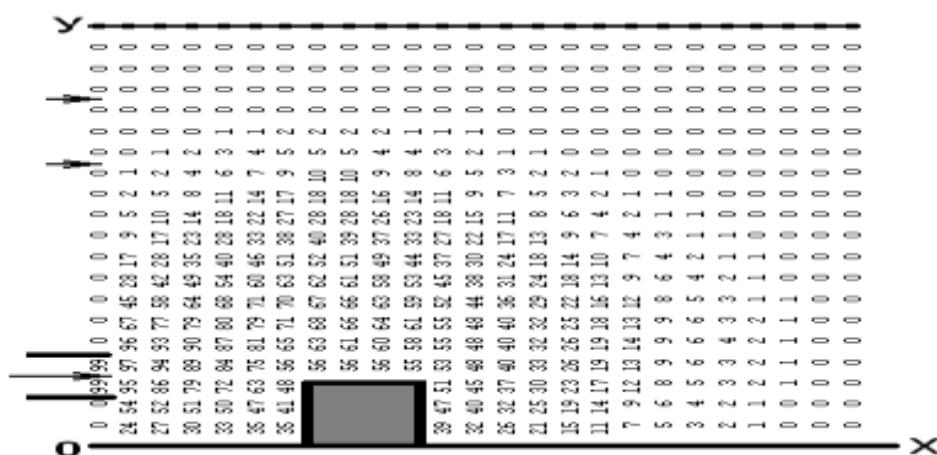


Рис. 3 – Распределение концентрации загрязнителя в море вблизи водобойной стенки (сбросная труба приподнята над дном)

Расчет выполнен для двух ситуаций: сбросная труба размещена на дне (рис.2) и сбросная труба приподнята над дном (рис.3). Четко видно формирование зоны загрязнения в виде «горба» над водобойной стенкой. Наиболее интенсивно загрязнена акватория перед стенкой. Сравнивая эти рисунки, мы видим, что когда сбросная труба размещена на дне концентрация примеси перед стенкой, возле дна, составляет величину порядка 96%, а для ситуации, когда труба приподнята – 35%. Аналогично, за стенкой акватория возле дна более загрязнена для первой ситуации. Тем не менее, как видно из приведенных рисунков, концентрация примеси на расстоянии порядка 50 м от места сброса составляет величину 1-2% от концентрации примеси, выходящей из сбросного отверстия. Таким образом, учитывая тот факт, что из водовыпуска в море поступают уже разбавленные шахтные воды (в них концентрация составляет, как отмечалось выше, 25% от той, что в пруде накопителе), можно утверждать, что на данном

расстоянии от сбросного отверстия избыточная концентрация примеси будет незначительно превышать фоновую.

В заключение следует подчеркнуть, что для расчета одного варианта задачи потребовалось 7 с компьютерного времени.

Выводы. В работе разработана 2D CFD модель для расчета процесса разбавления шахтных вод в море. Построенная модель позволяет рассчитывать процесс разбавления с учетом взаимодействия морского потока и потока шахтных вод, и основных физических факторов, влияющих на рассматриваемый процесс. Дальнейшее развитие настоящей работы следует проводить в направлении создания 3D модели процесса разбавления шахтных вод в море на базе модели вязкой жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антошкина Л.И. Численное моделирование процессов загрязнения поверхностных и подземных вод / Л.И. Антошкина, Н.Н. Беляев, Зыонг Нгуен Суан, Е.Д. Коренюк – Днепропетровск: «ЧП Свидлер А.Л.», 2004.–167с.
2. Антошкина Л.И. Математические модели в задачах водопользования / Л.И. Антошкина, В.М. Багрий, Н.Н. Беляев, И.И. Дудникова, Е.Д. Коренюк – Днепропетровск: «ЧП Грек А.С.», 2006. – 168с.
3. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич. - М.: Наука, 1979. – 536с.
4. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев.. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский – М.: Наука, 1978. – 735 с.
6. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук – М.: Наука, 1982. – 320с.
7. Самарский А. А. Теория разностных схем / А.А. Самарский – М.: Наука, 1983. – 616с.

УДК 622.02.6:622.648.2

Доктор техн. наук О.В. Витушко
(Шахта Ольховая-Западная),
канд. техн. наук С.В. Дзюба
(ИГТМ НАН Украины)

ЗНАЧЕНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Розглянуто підземні гідротехнічні споруди з точки зору забезпечення регламентованого гідралічного режиму функціонування шахти і безпечного ведення гірничих робіт. Представлені основні схеми гідротехнічного комплексу робочих горизонтів шахт. Наведено приклад вибору схеми і гідротехнічного устаткування в умовах шахти «Вільхова - Західна».

THE ROLE OF HYDRAULIC STRUCTURES FOR EFFECTIVE WORK COAL ENTERPRISES

Underground waterworks considered in terms of regulated hydraulic mode of operation of the mine and safe mining operations. The basic schemes of hydraulic mining complex working levels are presented. An example of selecting the scheme and hydraulic equipment in the mine "Vilkhova - Zahidna" is presented.

Основным назначением подземных гидротехнических систем является обеспечение регламентированного гидравлического режима объектов горных технологий, в том числе геотехнических систем подземного строительства и подземной разработки месторождений полезных ископаемых. Отметим, что подземные гидротехнические системы представляют собой совокупность под-