

Перетворення моделі при переході від результатів опробування геологорозвідувальної мережі до мережі експлуатаційних свердловин

По отриманим гістограмам вмістів у пробах (або інтервалах), ми оцінюємо запаси (у цілому або по окремих ділянках) відповідному тому рівню селективності, що досягається при обраній мережі опробування і методиці відбору проб. У цьому випадку - це мережа геологорозвідувальних свердловин, а у дійсності селективність відпрацювання визначається кроком мережі експлуатаційного опробування.

Для обліку цієї обставини пропонується наступна схема. Поле вмістів у об'ємах, що нас цікавлять, розглядається, як «сигнал» із середнім M і дисперсією D . Результат опробування C_{np} розглядається, як вимір «сигналу» із середнім рівним значенню сигналу дисперсією помилки d .

Тоді оптимальною оцінкою значення сигналу буде

$$C = \beta C_{np} + (1-\beta)M, \quad (9)$$

де

$$\beta = D/(D + d). \quad (10)$$

Вибором величини β можна забезпечити оцінку запасів для різних рівнів селективності відпрацювання. Дана процедура може бути використана як до, так і після крайгінга гістограм.

Оцінка запасів у будь-якому об'ємі, складеному з елементів моделі, або по всьому родовищу в цілому виконується на основі використання гістограм, які побудовані для кожного з елементів моделі описаним вище способом. Для заданого бортового вмісту c_b сума ймовірностей вмістів, що перевищують бортове, трактується, як коефіцієнт рудоносності елемента k_p .

$$k_p = \sum p_i, \text{ для } i, \text{ при яких } c_i > c_b \quad (11)$$

де c_i - середини інтервалів гістограми, p_i - значення гістограми в цих інтервалах.

Середній вміст металу в руді елемента обчислюється по формулі

$$c = (\sum c_i p_i) / k_{C_j > C_b} \quad (12)$$

Запаси руди R в елементі обчислюються так

$$R = k_p q V, \quad (13)$$

де q - об'ємна щільність руди; V - об'єм елемента.

Запаси металу Z в елементі вважаються як

$$Z = R c \quad (14)$$

Запаси руди і металу в заданому об'ємі підраховуються як сума запасів у вміщуючих в ньому елементів моделі. Середній вміст в об'ємі - як відношення запасів металу до запасів руди.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Відмінністю даної моделі є використання функції розподілу ймовірності як об'єкт інтерполяції, і як характеристика кожного елемента згаданої моделі. Інші технології побудови таких моделей оперують із оцінкою середнього вмісту металу, у той час як дана методика базується на операціях з функцією, що характеризує ймовірність появи в даному об'ємі вмістів різної величини. Побудовану таким чином модель родовища може бути використано для підрахунку його запасів, оптимального проектування гірничовидобувного підприємства, а також довгострокового і середньострокового планування гірничих робіт на уже діючому підприємстві.

Список літератури

1. Букринский В.А. Геометрия недр. – М.: Недра, 1985. – 526 с.
2. Шолох Н.В., Переметчик А.В. Геометризация размещения качественных характеристик железистых кварцитов Кривбасса / Разраб. рудн. месторожд.: Кривой Рог: КТУ. – Вып. 86, 2004. – С. 44-47.
3. Шолох Н.В., Топчий А.Л. Направления развития системы обработки маркшейдерско-геологической информации. Кривбасса / Разраб. рудн. месторожд.: Кривой Рог: КТУ. – Вып. 93, 2010. – С. 94-97.
4. Шолох М.В., Топчий О.Л., Сергеева М.П. Визначення мінімального об'єму для усереднення рудної сировини / «Вісник Криворізького технічного університету». - Вип. 25. - Кривий Ріг, 2010. - С.68-72.

Рукопис подано до редакції 12.01.12

УДК 504.42: 519.872: 622.5

Н.Н. БЕЛЯЕВ, д-р техн. наук, проф., П.С. КИРИЧЕНКО, аспирант
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЯ В СЛУЧАЕ СБРОСА ШАХТНЫХ ВОД

На базе построенной 3D численной модели выполнен расчет распространения примеси в море при сбросе шахтных вод. Модель основывается на численном интегрировании уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси и модели потенциального течения. Приводятся результаты вычислительного эксперимента.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Добыча руды является ведущей отраслью экономики Украины. Но эта деятельность приводит к огромному количеству шахтных вод. Использование шахтных вод в Украине является проблемой имеющей большое значение. Минерализации шахтных вод находится в диапазоне 19-36 г/л. Ежегодный общий объем откачки шахтных вод в Кривом Роге (центральная часть Украины) составляет около 21 млн м³. Теперь эти шахтные воды собираются в специальные пруды-отстойники, которые показано на рис. 1, а затем сбрасываются в реки. Добычу руды планируется увеличить, поэтому проблема утилизации шахтных вод привлекает еще раз внимание.



Рис. 1. Сброс шахтных вод в пруд-отстойник в балке Свистунова

Анализ исследований и публикаций. В 1988 году проект отвода шахтных вод в Черное море был разработан в СССР [1], но в то время не было возможности провести экологические исследования. Сейчас этот проект находится на стадии рассмотрения и проблема его экологического обоснования появилась снова. «Інструкція про розроблення гранично допустимих скидів для об'єктів, що здійснюють скид зворотних вод до морів», которая используются сейчас в Украине для прогнозирования загрязнения моря, не может обеспечить решение рассмотренной задачи.

Потому инженерам, работающим над исправлением старых проектов для удовлетворения современных требований нужна программа для прогнозирования загрязнения в случае сброса шахтных вод в Черное море.

Постановка задачи. Эта статья представляет численную модель для прогнозирования поля течения и рассеивания загрязняющих веществ в районе рассеивающего оголовка, который находится в море. Гидродинамическая модель врезанного потока используется для прогнозирования поля скорости потока, который образуется в результате взаимодействия течения моря и струи шахтных вод. Эта модель не требует много машинного времени.

Изложение основного материала и результаты. Для математического моделирования переноса и рассеивания загрязняющих веществ в море используется трехмерное уравнение переноса примеси

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_g)C}{\partial z} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i),$$

где C - концентрация, u, v, w - компоненты вектора скорости водяного потока; σ - параметр, учитывающий процесс распада загрязнителей; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ коэффициенты диффузии; Q - интенсивность выбросов загрязняющих веществ.

Для имитации гравитационного оседания шахтных вод в результате разницы в плотности между ними и морской водой используется параметр w_g . Этот параметр определяется в экспериментальных исследованиях.

Уравнения переноса используется со следующими граничными условиями:

граница на входе: $C_{inlet} = C_E$, где C_E известной концентрацией;

граница на выходе: в численной модели используется условие $C(i+1, j, k) = C(i, j, k)$ (это граничное условие означает, что мы пренебрегаем процесс диффузии на этой плоскости);

на верхней границе и нижней поверхности $\partial C/\partial n=0$.

В численной модели для следующих приближений используется средняя скорость морских течений

$$u_m = a_0 + a_1V + a_2H + a_3V^2 + a_4H^2 + a_5VH + a_6V^2H + a_7VH^2$$

где a_i ($i = 1,2 \dots 7$), коэффициенты, приведенные в табл. 1; H - глубины моря; V - скорость ветра.

Это приближение используется, если выполняются следующие условия

$$2,0 \leq V \leq 20 (м/с), \quad 1,5 \leq H \leq 50 (м)$$

Коэффициенты диффузии рассчитываются с использованием следующих приближений

$$\begin{aligned} \mu_x &= 0,032 + 21,8u_m^2 \\ \mu_z &= 0 + c_1V + c_2H + c_3V^2 + c_4H^2 + c_5VH + c_6V^2H + c_7VH^2 \end{aligned}$$

где c_i ($i = 1,2 \dots 7$), коэффициенты, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты для расчета усредненной скорости моря и параметров диффузии

$V \leq 6 м / с$	
a_i	c_i
$a_0 = 3,613 \cdot 10^{-2}$	$c_0 = 599 \cdot 10^{-4}$
$a_1 = -2,751 \cdot 10^{-3}$	$c_1 = 5,347 \cdot 10$
$a_2 = 1,108 \cdot 10^{-2}$	$c_2 = -3,681 \cdot 10^{-4}$
$a_3 = 1,461 \cdot 10^{-3}$	$c_3 = -1,469 \cdot 10^{-4}$
$a_4 = 9,729 \cdot 10^{-6}$	$c_4 = 5,669 \cdot 10^{-6}$
$a_5 = -7,189 \cdot 10^{-3}$	$c_5 = 1,426 \cdot 10^{-4}$
$a_6 = 9,925 \cdot 10^{-4}$	$c_6 = 2,276 \cdot 10^{-6}$
$a_7 = -3,875 \cdot 10^{-6}$	$c_7 = -2,401 \cdot 10^{-6}$

Отметим, что эти приближения рекомендуется в государственной методике, которая используется в Украине для прогнозирования загрязнения моря, если проблема сброса сточных вод в море находится на рассмотрении. В методике не указывается, как должен быть рассчитан коэффициент диффузии вдоль оси Y , таким образом считаем, что в разработанной модели $\mu_y = \mu_x$.

Численная модель. Расчет рассеивания загрязняющих веществ осуществляется на прямоугольной сетке. Основные особенности разностной схемы для уравнения переноса, представлены ниже.

Зависящая от времени производная аппроксимируется так

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t}$$

На первом этапе конвективные производные представлены

$$\frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+C}{\partial x} + \frac{\partial u^-C}{\partial x}; \quad \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+C}{\partial y} + \frac{\partial v^-C}{\partial y}; \quad \frac{\partial wC}{\partial z} = \frac{\partial w^+C}{\partial z} + \frac{\partial w^-C}{\partial z},$$

где $u^+ = \frac{u+|u|}{2}$; $u^- = \frac{u-|u|}{2}$; $v^+ = \frac{v+|v|}{2}$; $v^- = \frac{v-|v|}{2}$; $w^+ = \frac{w+|w|}{2}$; $w^- = \frac{w-|w|}{2}$.

На втором этапе конвективные производные аппроксимируются следующим образом

$$\frac{\partial u^+C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}; \quad \frac{\partial v^+C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1,k}^+ C_{ijk} - v_{ijk}^+ C_{i,j-1,k}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial w^+C}{\partial z} \approx \frac{w_{i,j,k+1}^+ C_{ijk} - w_{ijk}^+ C_{i,j,k-1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1}$$

Вторые производные аппроксимируются как

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} =; \quad \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} =; \\ &= M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1} \qquad \qquad \qquad = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \tilde{\mu}_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta z^2} - \tilde{\mu}_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{ij,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} =$$

$$= M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}$$

В этих выражениях, $L_x^+, L_x^-, L_y^+, L_y^-, L_z^+, L_z^-, M_{xx}^+, M_{xx}^- \dots$ - разностные операторы.

Для моделирования поля потока используется модель потенциала скорости течения. В этом случае основное уравнение

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

где P - потенциал скорости.

Компоненты скорости рассчитываются следующим образом

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

Решение уравнения (1) проводится при таких граничных условиях:

на твердых стенках (дно и свободная поверхность) $\partial P / \partial n = 0$, где n - единичный вектор внешней нормали к границе;

на входной границе (границы втекания потока) $\partial P / \partial n = V_n$, где V_n - известное значение скорости втекания морского потока и сбрасываемых шахтных вод;

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

Для численного интегрирования уравнения (1) для потенциала скорости используется метод установления решения по времени. Поэтому, численно интегрируется уравнение вида

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

где η - фиктивное время.

При $\eta \rightarrow \infty$ решение уравнения (2) будет стремиться к «установлению», т.е. к решению уравнения (1). Для численного интегрирования уравнения (2) используется попеременно-треугольный метод А.А. Самарского [5]. В этом случае разностные уравнения на каждом шаге расщепления имеют вид:

на первом шаге

$$\frac{P_{i,j,k}^{n+1/2} - P_{i,j,k}^n}{0,5\Delta\eta} = \frac{P_{i+1,j,k}^n - P_{i,j,k}^n}{\Delta x^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i-1,j,k}^{n+1/2}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1,k}^n - P_{i,j,k}^n}{\Delta y^2} +$$

$$+ \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j-1,k}^{n+1/2}}{\Delta y^2} + \frac{P_{i,j,k+1}^n - P_{i,j,k}^n}{\Delta z^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j,k-1}^{n+1/2}}{\Delta z^2};$$

на втором шаге

$$\frac{P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1/2}}{0,5\Delta\eta} = \frac{P_{i+1,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i-1,j,k}^{n+1/2}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} +$$

$$+ \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j-1,k}^{n+1/2}}{\Delta y^2} + \frac{P_{i,j,k+1}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j,k-1}^{n+1/2}}{\Delta z^2}$$

Неизвестное значение P_{ij} на каждом шаге осуществляется по методу бегущего счета. Расчет считать завершенным при условии

$$\left| P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^n \right| \leq \varepsilon.$$

Компоненты вектора скорости рассчитываются по соотношениям

$$u_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i-1,j,k}}{\Delta x}; \quad v_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j-1,k}}{\Delta y}; \quad w_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j,k-1}}{\Delta z}.$$

На основе рассмотренной численной модели создан код «BS-2», реализованный на алгоритмическом языке FORTRAN. Этот код был использован для прогнозирования загрязнения моря после сброса шахтных вод в Черном море недалеко от поселка Железный Порт, который находится в Херсонской области Украины, рис. 2,3.

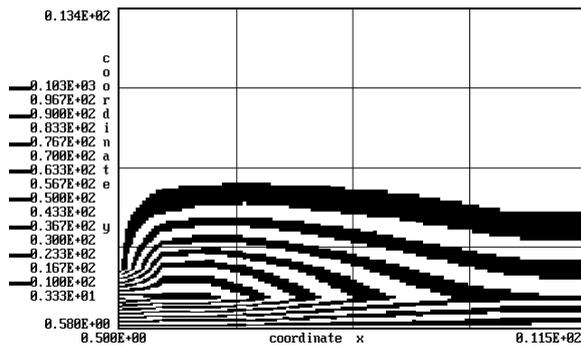


Рис. 2. Концентрація забруднюючих речовин поблизу випуску из труби, $w_g = 0,01$ м/с (вид сбоку, цена деления шкалы $Y = 5,5$ м)

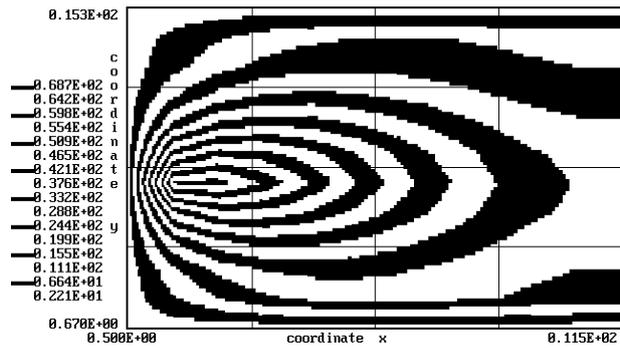


Рис. 3. Концентрація забруднюючих речовин поблизу випуску из труби, $w_g = 0,01$ м/с (вид сверху, цена деления шкалы $Z = 1,5$ м)

Выводы и направление дальнейших исследований. Численный эксперимент проводился для следующих исходных данных. Скорость ветра 3 м/с, скорость шахтных вод на выходе из трубы 1,27 м/с, глубина моря составляет 12 м, диаметр трубы 1 м, концентрация загрязняющего вещества в шахтных водах составляет 100 единиц (безразмерная величина). Размеры расчетной области площадью $12 \times 16 \times 12$ м. Численный эксперимент проводился для $w_g = 0,01$ м/с. Результаты численного эксперимента представлены на рис. 1-3.

Понятно, что увеличение значение w_g причина снижения загрязненной территории. Так эксперименты для оценки этой величины должны осуществляться с необходимой точностью. Очевидно, что наиболее интенсивно загрязненная территория формируется около выпуска и составляет около 11 м длины и на этом расстоянии интенсивно уменьшается концентрация.

Закон Украины по охране окружающей среды требует, чтобы концентрация загрязняющего вещества не превышала допустимого уровня на расстоянии 500 м от точки сброса. С этой точки зрения сброс отвечает этому требованию.

Список литературы

1. Основные положения технико-экономического расчета отвода шахтных вод Кривбасса / «Укрпипроводхоз», К., 1990.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1978. - 735 с.
3. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, 1982. - 320с.
4. Озмидов Р.В. Горизонтальная турбулентность и турбулентный обмен в океане. М.: Наука, 1968. - 204с.
5. Самарский А. А. Теория разностных схем. - М.: Наука, 1983. - 616 с.

Рукопись подана в редакцию 12.12.11

УДК 624.012.45

М.О. ВАЛОВОЙ, ассистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ, ПІДСИЛЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Визначено та проаналізовано технологію виготовлення та підсилення у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів при випробування балок повторним циклічним навантаженням.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний розвиток промислового виробництва, модернізація громадського та житлового фонду пов'язані з реконструкцією, розширенням, технічним переобладнанням і поліпшенням умов праці та мешкання на діючих підприємствах, у житлових, адміністративних і громадських будівлях. Сучасні тенденції до безперервного скорочення термінів оновлення технологічного обладнання, перебудова морально і фізично застарілого житла та робочих приміщень, інженерних споруд є дуже важливим напрямком будівельної справи.