

**А. В. Иванов** (Сочи, СГУТ и КД). **Расчет распространения нефтяного разлива в морской акватории.**

Наиболее распространенными загрязнителями прибрежной зоны следует считать нефть и нефтепродукты. Нефть и нефтепродукты, попадая в прибрежную зону, претерпевают изменения под воздействием физических, химических и биологических процессов. Физические: растекание, испарение, растворение и оседание.

Моделирование распространения примесей (загрязнений) в прибрежной зоне является одной из важнейших задач при оценке влияния антропогенных воздействий на ее экологию. При этом все примеси можно разделить на два вида: консервативные, т. е. не подверженные химическим преобразованиям при взаимодействии с морской водой, и неконсервативные — вступающие в активные химические реакции с морской водой. Общее уравнение турбулентной диффузии примеси имеет вид

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (w + w_c) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} K_c \frac{\partial C}{\partial z} + K_{cl} \nabla^2 C + Q \delta(x - x^*) \delta(y - y^*) \delta(z - z^*) - \gamma C,$$

где  $C$  — концентрация примеси мг/л,  $x, y, z$  — пространственные координаты,  $x^*, y^*, z^*$  — координаты источника примеси,  $u, v, w$  — компоненты скорости течения в водоеме,  $w_c$  — скорость всплытия выпускаемой жидкости,  $K_c, K_{cl}$  — коэффициенты вертикального и горизонтального турбулентного обмена,  $Q$  — мощность источника примеси,  $\nabla^2$  — трехмерный оператор Лапласа,  $\delta$  — дельта-функция Дирака,  $\gamma$  — коэффициент неконсервативности примеси.

Распространение загрязнения (нефтяного пятна) после разлива загрязняющей жидкости (нефти) по поверхности моря, может быть в первом приближении описано уравнением

$$C(x, y, t) = \frac{C_0 Q_0}{4 \pi K_{cl}} \frac{1}{\exp \left\{ - \frac{(ux_e^2 + vy_e^2)}{4K_{cl}} \right\}}.$$

Задача решается в предположении, что аварийный разлив нефтепродукта объемом  $W$  произошел в точке с координатами  $X_0, Y_0$ . Расчет выполняется на прямоугольной сетке, в узлах которой заданы глубины  $D[i, j]$ . Поле течений считается заданным, т. е. в узлах сетки известны составляющие скорости суммарного течения  $U[i, j], V[i, j]$ .

Распространение разлива выполняется при следующих предположениях.

1. После разлива нефтепродукта на поверхности моря он испытывает растекание по поверхности моря и снос суммарным течением. Растекание происходит при штилевых условиях (или близких к ним) до пленки толщиной  $T_{\min 1} = 100 \text{ мкм} = 0,0001 \text{ м}$ . При штормовых условиях нефть растекается плохо и собирается в сгустки на небольшой площади. При этом минимальная толщина пленки  $T_{\min 2} = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$ .

2. Согласно данным наблюдений, приведенным в [1],  $1 \text{ м}^3$  попавшей на поверхность моря нефти при штилевых условиях (принимается, что  $h_b \leq 1,0 \text{ м}$ ) растекается за  $Dt = 10 \text{ мин}$  на площади  $S_{o1} = 1800 \text{ м}^2$ . Минимальная толщина слоя нефти — порядка  $T_{\min 1} = 100 \text{ мкм} = 0,0001 \text{ м}$ . Тогда радиус пятна разлива составит  $R_1 = \sqrt{S_{o1}/\pi} = 24 \text{ м}$ , исходная толщина нефтяной пленки  $T_{ис1} = W/S_{o1} = 1/1800 = 0,0006 \text{ м}$ , скорость растекания разлива  $V_{pac1} = R_1/Dt = 0,04 \text{ м/с}$ . Предельная площадь разлива составит  $S_{пред} = W/T_{\min 1} = 10000 \text{ м}^2$ . Таким образом, нефть будет растекаться до тех пор, пока площадь пятна не составит  $S_{пред}$ . После этого пятно будет только дрейфовать в направлении течения,  $V_{pac2} = 0,0$ .

3. При штормовых условиях ( $h_b > 1,0 \text{ м}$ ) нефть растекается практически мгновенно на площади  $S_{пред} = W/T_{\min 2}$  и в дальнейшем это пятно дрейфует по направлению течения.

Алгоритм расчета следующий.

1. По заданным координатам центра разлива  $X_o, Y_o$ , объему разлива  $W$  и заданному времени шторма  $Dt$  определяются: шаг расчета по времени  $D_{st} = Dt/9$  (т. е.

время шторма делится на 9 временных интервалов); рассчитываются исходные координаты 8 точек, аппроксимирующих исходное пятно разлива на шаге расчета 1:  $X_{1,n} = X_o + R \sin(\alpha)$ ,  $Y_{1,n} = Y_o + R \cos(\alpha)$ .

2. Рассчитываются компоненты скорости течения в точках  $1 \div 8$  на шаге расчета  $i$ :  $U_{i,n} = U_{ti,n} + V_{pac} \sin(\alpha)$ ,  $V_{i,n} = V_{ti,n} + V_{pac} \cos(\alpha)$ , где  $U_{ti,n}$ ,  $V_{ti,n}$  — компоненты скорости сносящего течения в точках аппроксимации пятна разлива.

3. Рассчитываются новые координаты точек аппроксимации пятна разлива на шаге расчета  $i + 1$  для точек  $j = 1, 2, \dots, 8$ :  $X_{i+1,j} = X_{i,j} + D_{st}U_{i,j}$ ,  $Y_{i+1,j} = Y_{i,j} + D_{st}V_{i,j}$ .

4. Рассчитывается новая площадь пятна разлива  $S_{i+1} = 0,5 \sum_{i=1}^n Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$ , где  $n = 1, 2, \dots, 8$  — количество точек.

5. Если шаг по времени  $i \leq 9$ , то производится переход к пункту 2.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов Г. Н.* Океанология. М.: Высшая школа, 1987.