

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ С НЕСТАЦИОНАРНОГО ИСТОЧНИКА

Жайнаков А.Ж.¹, Хикметов А.К.²

¹ ИГД и ГТ при КГТУ им.И.Раззакова, Бишкек, Кыргызстан, Jainakov-41@mail.ru

² КНУ им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, khikmetov@kaznu.kz

Аннотация: Рассматривается динамика переноса нефтяного пятна на поверхности моря. Разработан численный алгоритм решения задачи.

Ключевые слова: математическое моделирование, разлив нефти, Каспийское море, нефтепродукты, деструкция, испарение.

MODELLING OF OIL SPILLS FROM UNSTEADY SOURCES ON THE CASPIAN SEA

Zhainakov A.Zh.¹, Hikmetov A.K.²

¹ Institute of mining and mining technologies, Bishkek, Kyrgyzstan

² Kazakh national University, Almaty, Kazakhstan

Abstract: In this paper, dynamics of oil slick transfer on sea surface is considered. Numerical algorithm was developed for this problem solving.

Key words: mathematical simulation, oil spill, the Caspian Sea, oil products, degradation, evaporation.

При прогнозировании возможных изменений режима моря и их экологических систем под влиянием антропогенных воздействий, в последнее время успешно используются методы математического моделирования. Однако до настоящего времени нет обобщающих работ, в которых достаточно подробно освещались бы, как особенности динамических процессов в морях, так и используемые для их описаний математические модели. В настоящей работе рассматривается математическое моделирование переноса нефтяной пленки на поверхности моря, мониторинг этого процесса и численная оценка масштабов загрязнения моря.

Наличие на поверхности жидкости пленки абсорбированного ею вещества может существенно изменить гидродинамические свойства свободной поверхности жидкости. Дело в том, что при изменении формы поверхности, сопровождающем движение жидкости, происходит растяжение или сжатие пленки, т.е. изменение поверхностной концентрации абсорбированного вещества. Эти изменения приводят к появлению дополнительных сил, которые должны быть учтены в граничных условиях, имеющих место на свободной поверхности жидкости. Ограничимся рассмотрением абсорбированных пленок веществ, которые можно считать нерастворимыми в самой жидкости. Это значит, что вещество находится только у поверхности и не проникает вглубь жидкости. Если же поверхностно-активное вещество обладает также и некоторой заметной растворимостью, то необходимо было бы принять во внимание процессы диффузии этого вещества между поверхностной пленкой и объемом жидкости, возникающие при изменении концентрации пленки [1-3].

Уравнения, описывающие, динамику течения и тепломассоперенос в море в приближении теории мелкой воды и гидростатического распределения давления по вертикали имеют следующий вид [4, 5]:

$$\frac{\partial U_i}{\partial \tau} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -g \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\eta + \frac{1}{\rho_0} \int_{x_3}^H \rho dx_3 \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{u_i u_j} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_j} = 0, \quad \rho = \rho_0 [1 - \beta(T - 4)^2 + \alpha S], \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{t u_j} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \tau} + U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{s u_j} \right). \quad (4)$$

Здесь U_i - составляющие компонент вектора скорости, T - температура, S - концентрация примеси.

Уравнения (1) в силу присутствия турбулентных напряжений в правой части незамкнуты и для замыкания требуются дополнительные уравнения для рейнольдсовых напряжений, а также граничные и начальные условия:

В начальный момент времени $\tau = 0$ задается условие покоя, т.е. все скорости равны нулю, примесь в море отсутствует, температура постоянная. Граничные условия: на боковых стенках выполнялись условия прилипания $U_i = 0$, $x_i \in z_n$, на водосбросе установлены следующие условия: $U_i = f_s(x_i, \tau)$, $T = T_0$, $S = S_0$, $x_i \in z_s$, скорость считалась постоянной и определялась из условия сохранения массы, производная температуры по нормали к сечению водозабора считалась равной нулю так, что ее значение определялось в результате численного счета:

$$U_i = f_b(x_i, \tau), \frac{\partial T}{\partial n} = 0, \frac{\partial S}{\partial n} = 0, x_i \in z_b.$$

На дне водоема принималось условие скольжения для горизонтальных компонент скоростей, равенство нулю вертикальной компоненты и условие адиабатичности для температуры:

$$U_3 = 0, \nu_T \frac{\partial U_i}{\partial x_3} = -k_b |U_i| U_i, \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0, \frac{\partial S}{\partial x_3} = 0$$

На поверхности задавалось уравнение колебания уровня водной поверхности, условие равенства касательных напряжений и уравнение теплоотдачи:

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} = U_3, \nu_T \frac{\partial U_1}{\partial x_3} = \frac{\tau_{\omega 1}}{\rho_0}, \nu_T \frac{\partial U_2}{\partial x_3} = \frac{\tau_{\omega 2}}{\rho_0}, \nu_s \frac{\partial T}{\partial x_3} = -k_e (T - T_e),$$

где k_b и k_e - эмпирические константы, τ_w - напряжения трения ветра на поверхности воды, T_e - равновесная температура окружающей среды.

Для определения движения нефтяной пленки надо добавить к уравнениям гидродинамики моря с начальными и граничными условиями еще одно уравнение соответственно тому, что мы имеем теперь на одну неизвестную величину (количество нефти S на единицу площади поверхности) больше. Этим дополнительным уравнением является уравнение непрерывности, выражающее собой неизменность общего количества нефтяной пленки. Тогда уравнение нефтяной пленки на поверхности воды имеет вид:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial(U_1 S)}{\partial x_1} + \frac{\partial(U_2 S)}{\partial x_2} = 0, \text{ где все величины берутся на поверхности воды.}$$

Наличие на поверхности моря пленки нефти может существенно изменить гидродинамические характеристики свободной поверхности моря. Дело в том, что при изменении формы поверхности, сопровождающем движение жидкости, происходит растяжение или сжатие пленки, т.е. изменение поверхностной концентрации вещества [6-8]. Эти изменения приводят к появлению дополнительных сил, которые и должны быть учтены в граничных условиях, имеющих место на свободной поверхности жидкости. Граничные условия имеет следующий вид

$$\frac{\partial S}{\partial n} = 0, \quad n \in z_b, \text{ где } z_b - \text{ береговой контур моря.}$$

Для решения поставленной задачи используются самые современные методы вычислительной гидродинамики: статистическое моделирование турбулентности на основе усредненных по Рейнольдсу уравнений Навье Стокса и прямое численное моделирование. Для решения уравнения движения применяется метод расщепления по физическим параметрам. На первом этапе находятся компоненты скорости методом дробных шагов, а уравнение колебания свободной поверхности и уравнение для переноса нефтяного пятна решается матричной прогонкой [9, 10]. Для моделирования разлива нефти и переноса нефти необходимо задание источников и количества вылившегося нефти в открытое море. Рассматривается задача, разлива нефти с нестационарного источника, т.е. с танкера, получившего пробоину, выливается нефть в открытое море.

Задавался наихудший сценарий события, пробоина значительная и не имеется возможность заделать пробоину и отбуксировать танкер на берег. Водоизмещение танкера 50 тысяч тонн. При решении задачи расчетная область покрывалась сеткой 65x65x50. Рельеф дна была смоделирована методом фиктивных областей и подставлена в разностное уравнение для учета в процессе счета. В результате численного моделирования гидродинамики Каспийского моря получены следующие данные: распределение концентрации нефтяного пятна, распределение скоростей течения в горизонтальных плоскостях на поверхности моря при различных направлениях ветра (юго-западный, северо-западный) с силой 5-8 м/сек. На рис. 1 изображена динамика распространения нефтяного пятна, при юго-западном ветре через 5 ч. после разлива нефти, с движущегося в том же направлении источника. На рис. 2 показана динамика распространения нефтяного пятна в юго-восточном направлении на поверхности воды, через 60 часов после разлива. Источник непрерывного разлива нефти находился ближе к центру северо-восточного Каспия. На рисунках 3-4 рассматривается распространение нефтяного пятна в следе танкера при северо-западном ветре, танкер же движется в юго-западном направлении. Как показывают расчеты, распространение нефтяного пятна на поверхности моря сильно зависит от силы и направления ветра и что поступления вод из прибрежных рек не оказывает своего влияния на распространения и миграцию нефтяного пятна на море.

Таким образом, имея метеорологические прогнозы ветра над акваторией Каспийского моря и объем разлившейся нефти, используя методы математического моделирования, возможно, оценить ареал распространения нефтяного пятна, что позволяет принять эффективные меры по ликвидации нефти и нефтепродуктов в море.



Рис.1. Миграция нефтяного пятна при юго-западном ветре через 5 ч. после разлива

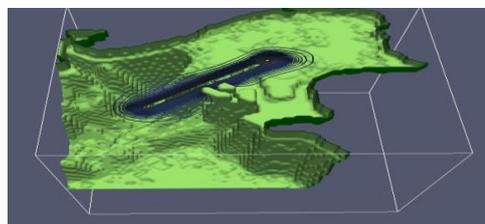


Рис.2. Миграция нефтяного пятна при юго-западном ветре через 60 ч. после разлива

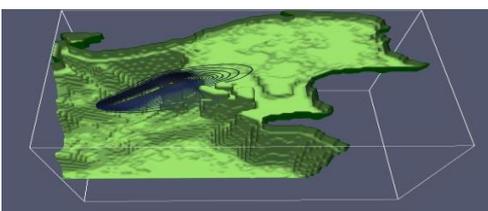


Рис.3. Миграция нефтяного пятна при северо-западном ветре через 24 ч. после разлива

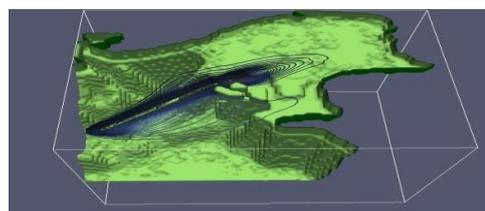


Рис.4. Миграция нефтяного пятна при северо-западном ветре через 72 ч. после разлива

Использованная литература

1. Джексонов М.К. Меры, принимаемые Республикой Казахстан по охране окружающей среды Каспийского моря // Вестник КазНТУ. – М., 2010. – № 1. – С. 12-15.
2. Кузьмина Е.М. Политико-экологические проблемы освоения шельфа Каспия // Эколого-экономические проблемы освоения Каспийского шельфа. – М., 2006. – С. 19-25.
3. Бухарицин П.И. Опасные гидрологические явления на Сев. Каспии. – М., 1994. – 452 с.
4. Фельзенбаум А.И. Динамика морских течений. – М.: ВИНТИ, 1970. – С. 97-338.
5. Филатов Н.Н. Динамики озер. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 168 с.
6. Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений. – Л., 1977. – 181 с.
7. Марчук Г.И. Математ. моделир. в проблеме окружающей среды. – М., 1982. – 320 с.
8. Архипова Е.Г. Об испарении на Каспийском море // Тр. ГОИН. – М., 1955.
9. Яненко Н. Метод дробных шагов решения многомер. задач мат. физики. – М., 1967. – 196с.
10. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. – М.: Мир, 1991. – 552 с.