

УДК 004.942

И.Ю.Пушкарь

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра системного анализа и моделирования

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗЛИВА НЕФТИ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Аннотация

Пушкарь И.Ю. Моделирование процесса разлива нефти в черном море.

Выполнен анализ аварийной ситуации, связанной с разливом нефти в Черном море. Выполнено моделирование поведения нефтяного разлива в зависимости от воздействующих факторов. Произведено сравнение результатов, полученных в процессе моделирования данной ситуации.

Ключевые слова: анализ аварийной ситуации, моделирование поведения нефтяного разлива, сравнение результатов.

Постановка проблемы. В связи с интенсивным развитием нефтегазовой отрасли исследование методов и средств ликвидации последствий аварий, методов предупреждения аварийных ситуаций и применение их на практике является особо актуальной задачей.

В настоящее время в Черном море практически нет такой области, где не ощущалось бы нефтяное загрязнение. Основными природными источниками нефтяного загрязнения морской среды являются естественные выходы нефти на дне моря и менее значительным источником – эрозионные процессы.

Типичными источниками физического загрязнения Черного моря являются крупные промышленные предприятия и портовые зоны. Открытие новых и эксплуатация старых месторождений нефти активизировало поиски путей эффективной и безопасной ее транспортировки. В море, наряду с традиционным способом – перевозкой нефти и нефтепродуктов с помощью танкеров – в последние годы весьма интенсивно разрабатываются проекты прокладки трубопроводов по дну моря, что удешевит, и, как кажется, обезопасит сам процесс транспортировки нефти. Однако как первый способ, так и второй, не исключают аварийные ситуации, при которых весьма вероятны разливы нефти и загрязнение обширных акваторий моря.

Таким образом, возникает необходимость проведения моделирования аварийной ситуации разлива нефти в Черном море для получения информации о поведении разлива в зависимости от разного времени пребывания в Черном море.

Анализ литературы. В Черном море, как и в Мировом океане, нефть встречается в различных формах:

- нефтяные пленки различного происхождения;
- эмульгированная и растворенная нефть системы «вода в нефти» и «нефть в воде»;
- нефтяные остатки (агрегаты) остающиеся в поверхностном биотопе длительное время [1].

Нефть и нефтепродукты, попавшие в море за счет многочисленных факторов, разрушаются за счет химических, физических, биологических, механических, океанических процессов (динамика моря), что создает значительную неоднородность в ее распределении по акватории и глубине.

Распространение нефтяной пленки на поверхности моря происходит за счет процессов адвекции и растекания. В настоящее время многие полагают, что не существует ни одной универсальной модели, которая бы давала надежные прогностические оценки распространения разлитой нефти.

Построить модель разлива нефти в Черном море можно с помощью дифференциальных уравнений.

Для решения дифференциальных уравнений применяются аналитические, приближенные и численные методы.

Аналитические методы позволяют получать решения дифференциальных уравнений через элементарные или специальные функции в конечном виде и являются эффективным средством исследования уравнений, однако применимы лишь для ограниченного класса дифференциальных уравнений — линейных, с постоянными коэффициентами и др. Эти методы в основном реализованы в универсальных математических пакетах MathCad, Maple и других. Однако в практических задачах они оказываются часто неприменимыми.

Приближенные методы используют различные упрощения исходных уравнений: линеаризацию, разложения в ряд по некоторому малому параметру, асимптотические методы и др. Однако они также имеют ограниченную область применения, хотя и являются эффективным средством исследования решения.

Наиболее мощными и универсальными методами решения обыкновенных дифференциальных уравнений являются численные методы, позволяющие получать решения тогда, когда традиционные, классические, методы не помогают.

Цель статьи – провести анализ методов решения дифференциальных уравнений и выбрать метод, который позволит провести моделирование процесса разлива нефти в Черном море и предоставит возможность получить ответы на поставленные вопросы. Ускорить получение прогноза по поведению нефтяного пятна, повысить ликвидацию устранения аварийной ситуации, снизить воздействие нефтяного разлива на экологическую обстановку.

Постановка задачи исследования. Пусть в водоеме произошел аварийный разлив нефти. Предположим, известны, координаты разлива, плотность нефти, мощность разлитой нефти.

В этом случае процесс распространения тепла описывается неоднородным уравнением. Неоднородное дифференциальное уравнение - дифференциальное уравнение (обычное или в частных производных), которое содержит не равный тождественно нулю свободный член – слагаемое, не зависящее от неизвестных функций. Рассмотрим неоднородное уравнение:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{d^2 u}{dx^2} + f(x, t) \quad (1)$$

Для выделения единственного решения уравнения теплопроводности необходимо к уравнению присоединить начальные и граничные условия. Будем искать решение задачи со следующими условиями. Граничные условия:

$$u|_{x=0} = C_1, u|_{x=1} = C_2 \quad (2)$$

И начальным условием:

$$u|_{t=0} = C_3, \quad (3)$$

где C_1, C_2, C_3 – значение граничных условий. В данном случае C_1, C_2, C_3 равны нулю, поскольку к моменту выброса в Черном море никаких признаков нефтяных разливов не наблюдалось.

Параметр a - коэффициент теплоемкости и теплопроводности [2].

Решение задачи и результаты моделирования. Задача (1) - (3) решается при помощи метода Фурье. Метод Фурье (метод разделения переменных) принадлежит к числу важнейших методов решения уравнений математической физики. Первая часть метода Фурье состоит в том, что мы отыскиваем частные решения уравнения, удовлетворяющие краевым условиям вида $u(x, t) = X(x)T(t)$.

Решение уравнения имеет вид:

$$u(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^t e^{-\left(\frac{n\pi a}{l}\right)^2 (t-\tau)} f_n(\tau) d\tau \right] \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (4)$$

Каждое из искомым частных решений, таким образом, представляется в виде произведения двух функций, одна из которых зависит только от x , а другая только от t [3].

При помощи программного пакета Matlab моделируется поведение нефтяного пятна. Для этого необходимо знать место, где произошел разлив, плотность нефти, время пребывания нефти на воде. Для построения графика необходимо задать все известные переменные.

Параметр a – плотность вылитой нефти. Плотность нефти задается стандартами плотности нефти. Пусть в данном случае плотность равна 0,910 кг/.

n – порядковый номер элемента ряда. Зададим значение равное 1. l – отрезок, на котором моделируется процесс разлива нефти. Примем значение равно 30 км.

t – время моделируемого процесса. Моделируемое время - 24 часа. График описывает поведение одного члена ряда. В совокупности все линии описывают поведение пятна нефти (рис.1):

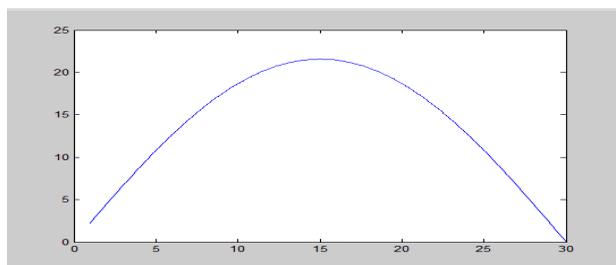


Рисунок 1 – Поведение одного члена ряда

При моделировании поведения нефтяного разлива при разных параметрах можно сделать вывод, что чем больше длина пятна и плотность пролитой нефти, тем выгнутее линии, формирующие поведение нефтяного разлива.

Выводы. Разработанная модель дает достоверную информацию о поведении нефтяного пятна, что позволит учитывать эти характеристики при устранении аварийной ситуации и подборе метод очистки водоема от нефти.

В дальнейшем, на основе полученных данных во время моделирования можно разработать информационную систему, которая будет хранить все необходимые данные о произошедших разливах. Данная информация позволит уменьшить количество времени, затрачиваемое на изучение аварийной ситуации, и позволит устранить проблему в кратчайшие сроки.

Список литературы

1. К.А.Коротенко, Д.Е.Дитрих, М.Дж.Боуман «Моделирование циркуляции и переноса нефтяных пятен в Черном море», 2003 – 367 с.
2. Блинова И.В., Попов И.Ю «Простейшие уравнения математической физики» Учебное пособие, 2009 – 22с.
3. Араманович И.Г., Левин В.И. «Уравнения математической физики» 1969 – 55с.