

МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Ю.И. Ибрагимов, Ю.Ю. Гончаренко,
А.В. Чухлебова*

Севастопольский национальный
университет
ядерной энергии и промышленности
г. Севастополь, ул. Курчатова, 7
E-mail: nio@sinp.com.ua

На основании генеральной гипотезы распространения антропогенного нефтяного загрязнения предлагается алгоритм решения обратной задачи, позволяющий определить границы области возможного нахождения источника загрязнения в момент умышленного сброса нефтепродуктов за борт.

Введение. Защита окружающей природной среды – стратегическая задача, которая стоит перед человечеством, каждым государством и индивидом, решить которую без соответствующего научного обеспечения невозможно [1]. Одним из аспектов этой всеобъемлющей проблемы является предотвращение антропогенного загрязнения водной среды с кораблей и судов [2]. Часто возникают ситуации, когда эффективно ликвидировать нефтяные разливы можно в том случае, когда известны характеристики загрязнения (вид и объем нефтепродукта, интенсивность разлива, гидрометеорологическая обстановка, близость берега и др.) и параметры его перемещения по водной поверхности [3]. В то же время перед водной экологической инспекцией часто возникает неразрешимая ситуация – обнаружено нефтяное загрязнение, определены его геометрические размеры и местоположение его периметра на определенный момент времени. Известен также предполагаемый источник загрязнения – судно, стоящее на внешнем рейде порта. Проблема только в том, что якорные стоянки судов занимают десятки квадратных миль, на которых одновременно может находиться большое количество судов. Сужение района поиска предполагаемого нарушителя хотя бы до двух-трех судов значительно бы повысило эффективность работы водной экологической инспекции.

Постановка цели и задач научного исследования. Целью данной работы является разработка алгоритма решения обратной задачи распространения загрязнения на водной поверхности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, проанализировать начальные и конечные и граничные условия решения прямой и обратной задачи распространения антропогенного загрязнения на водной поверхности. Во-вторых, рассмотреть алгоритм решения прямой задачи. В-третьих, разработать алгоритм решения обратной задачи распространения антропогенного загрязнения на водной поверхности.

Начальные и граничные условия решения прямой и обратной задачи. Начальные условия решения задачи предполагают ряд постулатов, выполнение которых необходимо для упрощения или формализации решения поставленной задачи. В нашем случае решение задач распространения антропогенного нефтяного загрязнения на водной поверхности должно удовлетворять трем принципам: одномоментности, однородности и дискретности.

Одномоментность состоит в том, что попадание антропогенного нефтяного загрязнения в водную среду происходит мгновенно, то есть на определенный момент времени t , весь объем загрязнения V оказывается на водной поверхности, после чего начинается его растекание и перенос под действием течения и ветрового дрейфа. Объем нефтяного загрязнения остается постоянным на весь период решения задачи (промежуточное время, в течение которого производится растекание нефтяного пятна и его миграция по водной поверхности). В подтверждение этой позиции можно привести тот факт, что при умышленном сбросе льяльных (нефте содержащих) вод судовыми водоотливными насосами за 15–20 минут за борт может быть откачено от 5 до 40 кубометров, в которых количество нефтепродуктов может быть до 30 % и более. Образование подобным образом пятно из нефтепродуктов мигрирует по водной поверхности от нескольких часов (при штормовой погоде) до нескольких суток (в спокойную погоду).

Однородность обуславливается постоянством физико-химических свойств нефтепродукта, водной и воздушной сред. Другими словами нефтяное пятно, образование на водной поверхности в результате антропогенного загрязнения является однородным, то есть в любой его точке физико-химические свойства нефтепродукта (динамическая и кинематическая вязкость, химический состав, температура и др.) одинаковы.

Нефтяное пятно в начальный момент сплошное (не имеет разрывов) и имеет блинообразную форму. Подобное относится и к водной и к воздушной среде, то есть гидрологические характеристики (температура, соленость, волнение, скорость и направление течения) воды и термобарические параметры (температура, влажность, давление, направление и сила ветра) атмосферы в районе нахождения пятна постоянны.

Дискретность состоит в том, что действие сил, способствующих перемещению пятна (течение и дрейф от ветра) может изменяться дискретно через определенные интервалы времени Δt . Одновременно с ними могут изменяться и другие характеристики. Другими словами, получаем, что однородность обеспечивается на определенных временных интервалах. При переходе с одного временного интервала к последующим все физико-химические характеристики загрязнения, водной среды и атмосферы могут мгновенно изменяться, после чего сохраняют свои значения на протяжении всего временного интервала. Подобное дискретное изменение параметров происходит в соответствии с определенным интервалом времени Δt на протяжении всего времени решения задачи.

Граничные условия определяются диапазоном изменения всех физико-химических характеристик, с использованием которых решается поставленная задача. В нашем случае граничные условия будут обусловлены особенностями Черноморского региона (в первую очередь его северо-западной части) и набором горючесмазочных материалов, используемых на водных транспортных средствах Черноморского региона.

Таким образом, начальные и граничные условия решения задачи обусловлены особенностями Черноморского региона и должны удовлетворять принципам одномоментности, однородности и дискретности.

Алгоритм решения прямой задачи.
Решения задачи определения распространения антропогенных загрязнений на водной поверхности осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 1.

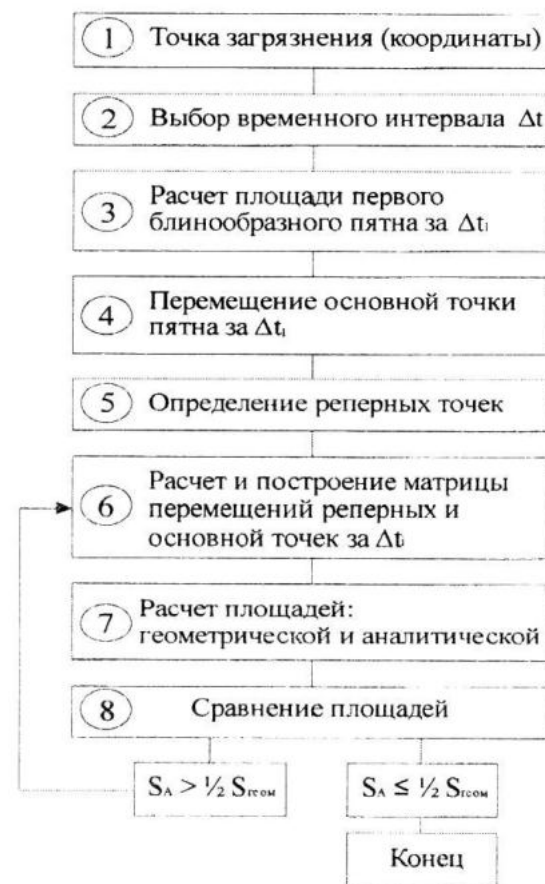


Рисунок 1 – Алгоритм решения прямой задачи

Рассмотрим подробнее этот алгоритм.

Первый блок – это определение или выбор координат источника нефтяного загрязнения. Именно с этой точки осуществляется решение задачи.

Второй блок – выбор временного интервала. Как правило, он обусловлен двумя факторами. Первый – точность решения задачи и наличие фактических данных о параметрах ветра и течений, действующих в районе на момент загрязнения. Как правило, это 15, 20, 30 или 60 минут (0,25; 0,33; 0,5 и 1 час).

Третий блок – расчет площади первого блинообразного пятна S_1 за первый интервал времени Δt_1 . Этот расчет производится по одной из известных аналитических зависимостей, где площадь загрязнения определяется как функция от времени при постоянстве всех других параметров, входящих в нее.

Четвертый блок – перемещение основной – центральной точки пятна за временной интервал Δt_1 . В течение этого временного интервала в зависимости от направления и силы ветра определяется вектор дрейфа, который характеризуется направлением $K_{д1}$ (курс дрейфа) и $L_{д1}$ (дрейфовое перемещение). За этот же промежуток времени загрязнение будет перемещаться с водным потоком – постоянным течением и должно будет перемещаться по направлению $K_{т1}$ на расстояние $L_{т1}$. Сложение этих двух векторов дает нам суммарное перемещение по направлению $K_{\Sigma 1}$ на $L_{\Sigma 1}$.

Пятый блок – определение реперных точек. Здесь по площади S_1 рассчитывается радиус первого блинообразного пятна. По направлению генерального перемещения пятна определяются реперные точки, как показано на рисунке 2, где H_1 – начальная точка, K_1 – конечная точка, Π_1 и L_1 – соот-

ветственно правая и левая точки. Поскольку данные о параметрах ветра и течения определяются по направлению $\pm 10^\circ$, данные по дрейфу и течению имеют минимальное и максимальное значение. По этой причине генеральное перемещение по направлению будет в интервале от $K_{\Sigma 1} - 10^\circ$ до $K_{\Sigma 1} + 10^\circ$, и по расстоянию от $L_{\Sigma 1 \min}$ до $L_{\Sigma 1 \max}$. Главная гипотеза, в соответствии с которой решается прямая задача состоит в том, что начальная H , основная O и конечная K реперные точки нефтяного пятна перемещаются в одном и том же направлении $K_{\Sigma 2}$, но за интервал Δt_2 переместятся: H на максимальное расстояние $L_{\Sigma 2 \max}$, O – на среднее $L_{\Sigma 2 \text{ ср}}$, а K – минимальное $L_{\Sigma 2 \min}$. Правая и левая реперные точки переместятся на среднее расстояние $L_{\Sigma 2 \text{ ср}}$, но правая будет перемещаться по крайне правому направлению $K_{\Sigma 2} + 10^\circ$, а левая – по крайне левому $K_{\Sigma 2} - 10^\circ$.

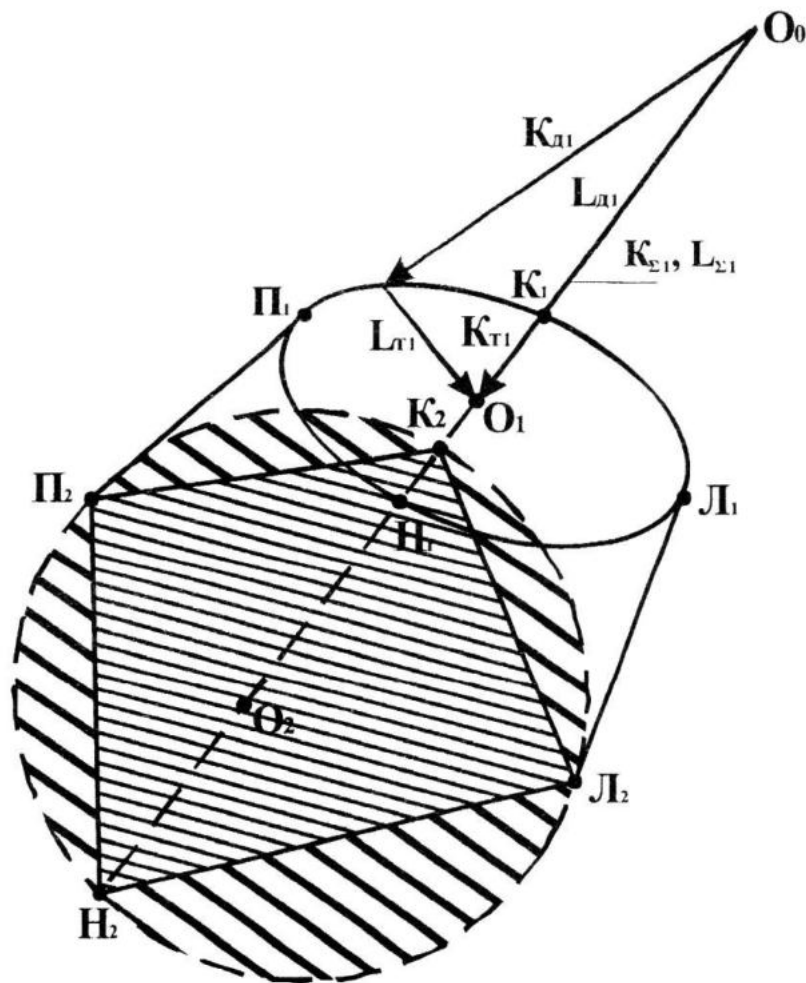


Рисунок 2 – Генеральная гипотеза распространения загрязнения

Шестой блок – Расчет и построение матрицы перемещений реперных и основной точек за следующий интервал времени Δt , в соответствии с генеральной гипотезой распространения загрязнения.

Седьмой блок – расчет геометрической и аналитической площадей загрязнения. Первая геометрическая $S_{\text{геом}2}$ (слабая штриховка на рис. 2) – площадь четырехугольника, образованного четырьмя реперными точками H_2, P_2, K_2, L_2 . Аналитическая S_{A2} – результат расчета по выбранной зависимости как функция времени.

Восьмой блок – сравнение площадей. Если $S_{A2} > S_{\text{геом}2}$, то на величину разницы $\Delta S_2 = S_{A2} - S_{\text{геом}2}$ производится построение выпуклой фигуры (жирная штриховка на рис. 2), а если наоборот – то вогнутой. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто соотношение, что аналитическая площадь пятна вдвое меньше геометрической. После этого программа останавливается.

Таким образом, решение прямой задачи распространения антропогенного нефтяного загрязнения осуществляется по алгоритму, который включает восемь последовательно соединенных блоков, в котором обратная связь соединяет восьмой блок (сравнение площадей) с шестым, блоком расчета и построения матрицы перемещений реперных и основной точек до Δt_i (очередной временной интервал).

Разработка алгоритма решения обратной задачи. Решение обратной задачи должно исходить из той же генеральной гипотезы распространения антропогенного нефтяного загрязнения с соблюдением всех ранее определенных начальных и граничных условий. Исходя из этого, первое главное действие после обнаружения нефтяного загрязнения, его идентификации необходимо определить геометрические размеры загрязнения, его площадь. Следующим действием после этого должно быть определение генерального (вероятного) направления перемещения пятна, которое делается на основании анализа гидрометеорологической обстановки и гидрологии района.

На основании первых двух действий выполняется третье – назначение реперных точек: начальной, конечной, левой, правой и в центре пятна основной. Здесь также производится определение и ввод их координат.

После этого, по измеренной (фактической) площади пятна оценивается время его существования (прошедшее после загрязнения) с использованием аналитической зависимости площади загрязнения, как функции времени при постоянстве всех других параметров. Исходя из полученного результата и фактических (имеемых в распоряжении оператора) данных о направлении и силе ветра, постоянных и других течений выбирается временной интервал Δt_i .

На основании четвертого выполняется пятое действие – восстановление матрицы перемещений. Исходя из времени существования загрязнения и временного интервала, определяется n -число позиций каждой точки. Далее для каждой точки рассчитывается обратная матрица перемещений, например, для основной точки она будет выглядеть, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Обратная матрица перемещений для основной точки

Δt_n	Δt_{n-1}	...	Δt_1
$K_{дn}, L_{дn}$	$K_{д(n-1)}, L_{д(n-1)}$...	$K_{д1}, L_{д1}$
$K_{тn}, L_{тn}$	$K_{т(n-1)}, L_{т(n-1)}$...	$K_{т1}, L_{т1}$
$K_{\Sigma n}, L_{\Sigma n}$	$K_{\Sigma(n-1)}, L_{\Sigma(n-1)}$...	$K_{\Sigma 1}, L_{\Sigma 1}$

По данным матриц перемещений производится обратное построение перемещения пятна. Получение позиции реперных точек позволяет определить область возможных положений источника загрязнений на момент умышленного сброса нефтепродуктов в море.

Исходя и выше изложенного, алгоритм решения обратной задачи распространения загрязнения будет таким, как показано на рисунке 3.

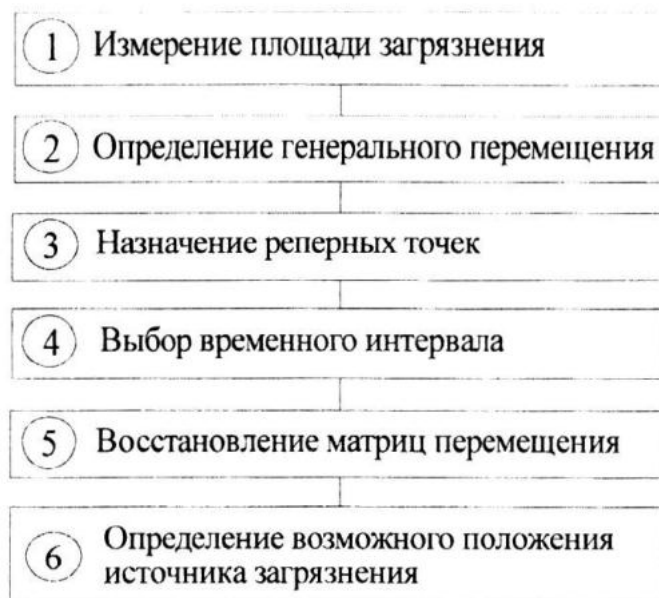


Рисунок 3 – Алгоритм решения обратной задачи

Таким образом, разработанный алгоритм решения обратной задачи распространения антропогенного загрязнения состоит из шести последовательно соединенных блоков и позволяет определить границы области возможного положения источника загрязнения.

Выводы.

1. Начальные и граничные условия решения задачи обусловлены особенностями Черноморского региона и должны удовлетворять принципам одномоментности, однородности и дискретности.

2. Решение прямой задачи распространения антропогенного нефтяного загрязнения осуществляется по алгоритму, который включает восемь последовательно соединенных блоков, в котором обратная связь соединяет восьмой блок (сравнение площадей) с шестым, блоком расчета и построения матрицы перемещений реперных и основной точек до Δt_i (очередной временной интервал).

3. Разработанный алгоритм решения обратной задачи распространения антропогенного загрязнения состоит из шести последовательно соединенных блоков и позволяет определить границы области возможного положения источника загрязнения.

Литература

1. Программа gin «Порядок денний на XXI століття» («Ageuda 21») / Пер. с англ. – Киев, 2000. – 360 с.
2. Международная конференция по предотвращению загрязнения с судов MARPOL – 73178. – М.: Транспорт, 1981. – 160 с.
3. Гончаренко Ю.Ю. Вычисление координат и параметров перемещения тонких пленок / Ю.Ю. Азаренко, И.П. Шумейко // 36. наук. пр. СКУЯЭтаП. – Севастополь: СКУЯЭиП, 2009. – Вып. 3 (31). – С. 226 – 233.