

*Алышанов Г.Н., адъюнкт, НУГЗУ,
Тарасенко А.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ*

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ О ВОЗМОЖНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АКВАТОРИИ МОРЯ

Предложен критерий принятия решения о возможности локализации разлива нефти на морской акватории, основанный на окружении группы нефтяных slickов боновыми заграждениями. В качестве контура боновых заграждений целесообразно использовать минимальную выпуклую оболочку.

Ключевые слова: разливы нефтепродуктов, локализация, боны, минимальная выпуклая оболочка

Постановка проблемы. Разливы нефтепродуктов имеют место на всех стадиях добычи, транспортировки, переработки и использования нефти. Нефтяные загрязнения наносят существенный ущерб окружающей среде, влияют на социальные и экономические процессы. Своевременное реагирование на аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (АРН) на акватории моря может снизить ущерб от загрязнения на один-два порядка.

В [1] показано, что для типичных источников загрязнения в Каспийском море (для объема нефти 100 м³) характерное время существования пятна в режиме поверхностного натяжения – 1,5-30 ч, пространственный масштаб пятна - 1000 м. Для больших объемов нефти (1000 м³) - от 7 ч до 145 ч и 3000 м соответственно.

Для разлива нефти, пребывающего в стадии поверхностного натяжения, характерны незначительная динамика площади, отсутствие интенсивных физико-химических процессов связанных с фрагментацией нефтяных slickов, эмульгированием, испарением и растворением нефти. Данная стадия является оптимальной для борьбы с АРН.

Для организации мер по ограничению распространения нефтяного загрязнения разрабатываются планы ликвидации аварийных разливов нефти. В них предусмотрено, что локализацию и перемещение нефтяного пятна, особенно на начальной стадии растекания, когда размер загрязненной области относительно невелик, целесообразно осуществлять с помощью боновых загражде-

ний, поскольку основной упор должен делаться на использовании механизированных способов удаления нефти, как наиболее экологичных [2]. Поскольку конфигурация нефтяного загрязнения индивидуальна, а суммарная длина бонов ограничена и, как правило, соизмерима с характерным размером загрязнения, актуальным является решение задачи отыскания оптимального способа локализации разлива.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [3-6] рассматриваются общие вопросы тактики борьбы с АРН. В качестве базового параметра при этом выступает площадь разлива, но не учитывается его форма. При этом отсутствуют работы, посвященные вопросам борьбы с конкретным разливом, которые учитывают динамику конфигурации разлива и в которых анализируется целесообразность использования тех или иных тактических приемов борьбы с АРН.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обоснование критерия принятия решения о целесообразности локализации разлива путем окружения его боновыми заграждениями.

В работе [3] описаны возможности авиационного детектирования нефтяных загрязнений на акватории моря. Преимуществом авиационных методов является их оперативность и высокая разрешающая способность. Изображение контуров группы пятен, полученное авиационным методом, может быть векторизовано, т.е. в локальной системе координат с известным масштабом контур загрязнения может быть задан массивом A вершин ломаных, аппроксимирующих контуры отдельных сликов (нефтяных пятен)

$$A = \begin{bmatrix} [(x_1^1; y_1^1), (x_2^1; y_2^1), \dots, (x_{N_1-1}^1; y_{N_1-1}^1), (x_{N_1}^1; y_{N_1}^1)] \\ [(x_1^2; y_1^2), (x_2^2; y_2^2), \dots, (x_{N_2-1}^2; y_{N_2-1}^2), (x_{N_2}^2; y_{N_2}^2)] \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ [(x_1^M; y_1^M), (x_2^M; y_2^M), \dots, (x_{N_M-1}^M; y_{N_M-1}^M), (x_{N_M}^M; y_{N_M}^M)] \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где M - количество сликов в момент времени t ; $(x_n^m; y_n^m)$ - n -ая вершина ($n = 1 \dots N_m$) границы m -ого слика ($m = 1 \dots M$); N_m - количество вершин контура m -ого слика. В силу замкнутости границы первая и последняя точки каждого контура совпадают, т.е.

$(x_1^m; y_1^m) = (x_{N_m}^m; y_{N_m}^m) \forall m = 1 \dots M$. Каждое из пятен занимает область пространства Ω_m .

Располагая данной информацией, руководитель ликвидации АРН должен принять решение о целесообразности локализации всей группы пятен одним боновым заграждением известной длины P_{L_B} .

Чтобы принять или отвергнуть данное решение, руководитель должен соотнести тактические возможности имеющихся в его распоряжении сил и средств с масштабом задачи. В частности, необходимо выяснить, достаточна ли длина наличных боновых заграждений для осуществления локализации.

Данную задачу можно формализовать в следующей постановке: необходимо найти такую форму $\bar{\Omega}_B$ линии бонового заграждения, охватывающую область Ω_B , чтобы при выполнении ограничения $P_{\bar{\Omega}_B} \leq P_{L_B}$ выполнялось условие $\left(\bigcup_{m=1}^M \Omega_m \right) \subseteq \Omega_B$.

Решением данной задачи при наличии информации в виде (1) о пространственных параметрах АРН является минимальная выпуклая оболочка (МВО) [7], охватывающая все точки массива A .

Расчет МВО возможен с помощью алгоритмов [8].

Найдя МВО, ее периметр P_{MBO} и произведя сравнение с P_{L_B} , руководитель может сделать вывод о целесообразности использования упомянутой тактики. В частности, в том случае, если

$$P_{MBO} > P_{L_B}, \quad (2)$$

такое решение нецелесообразно.

Очевидно, что с течением времени t пространственная конфигурация загрязнения изменяется, т.е. $\Omega_m = \Omega_m(t)$. При этом количество несвязных пятен M также изменяется в виду их фрагментации и слияния.

Динамика нефтяных slickов в гравитационно-вязкой фазе (типичной для начала реализации ПЛАРН) формируется под влиянием ветра и приповерхностных течений.

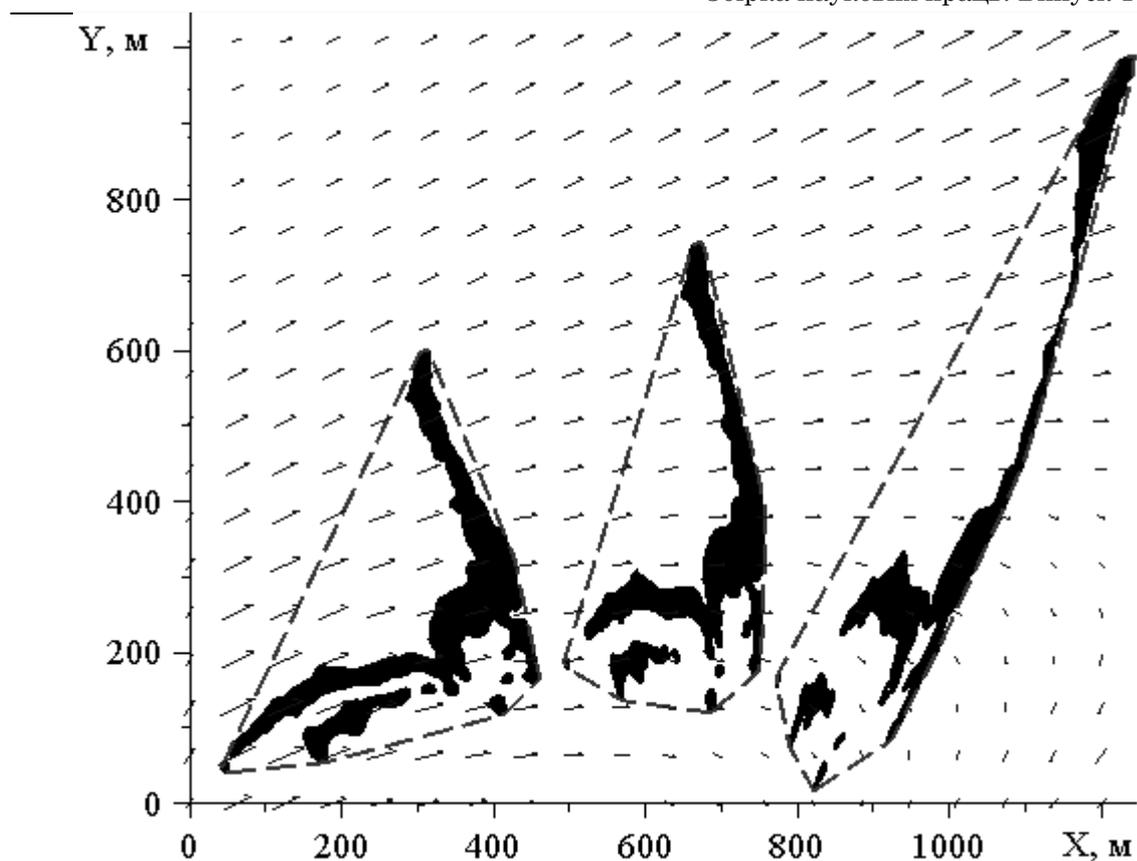


Рис. 1 – Моделирование динамики группы нефтяных пятен и ее МВО в неоднородном поле приповерхностных течений для $T = 0; 60; 120$ мин

Для поля скорости приповерхностного ветра характерна значительная степень однородности, поэтому будем полагать скорость постоянной.

Пренебрежение неоднородностью векторного поля приповерхностных течений возможно лишь в случае небольших разливов. В случае же разливов с характерными размерами несколько сотен метров и более такое пренебрежение недопустимо (особенно в прибрежной зоне).

Будем задавать векторное поле скорости \vec{V}_f течения в виде $\vec{V}_f(V_{fx}(x, y); V_{fy}(x, y))$, где зависимости $V_{fx}(x, y)$ и $V_{fy}(x, y)$ могут быть получены на основе имеющейся графической информации (карте течений), содержащейся в лоциях района разлива согласно процедуре, описанной в [9].

На рис. 1 представлена двухчасовая динамика загрязнения, изображение которого приведено в [10]. Загрязнение представлено

шестью разрозненными пятнами с начальной площадью от 0.007 до 2,7 га. При моделировании дрейфа в модельном неоднородном векторном поле скорости приповерхностных течений использован метод Монте-Карло, в качестве моделируемых частиц выступали вершины оцифрованных контуров пятен.

Для данной группы пятен параллельно с расчетом их динамики осуществлялось вычисление МВО с помощью ускоренного двухэтапного алгоритма Джарвиса Gift Wrapping («заворачивание подарка») [8].

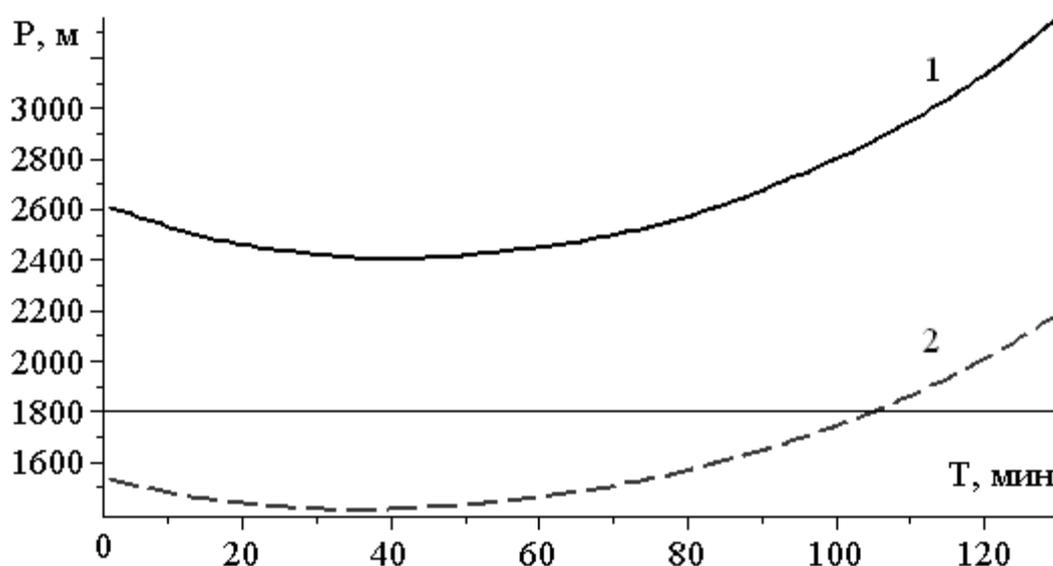


Рис. 2 – Расчетные динамики суммарного периметра пятен (1) и периметра МВО (2)

На рис. 2. показана динамика суммарного периметра всех пятен и динамика периметра минимальной выпуклой оболочки. Интересным является наличие минимума в районе сороковой минуты, что позволяет квалифицировать данный момент времени как оптимальный для постановки бонов (для данного конкретного примера). В дальнейшем наблюдается рост величины периметра, который на 110 минуте приводит к невозможности локализации всей группы в виду ограничения на длину бонов (полагая, что $P_{LB} = 1800$ м).

Таким образом, выполнение критерия (2) имеет место лишь в интервале времени 0-110 мин.

Невозможность окружения всей группы не отменяет возможность локализации подгрупп пятен или отдельно каждого из них

путем постановки бонов в форме соответствующих им (подгруппам) МВО. При этом количество всех возможных комбинации из n пятен равно $2^n - 1$ (при условии непересечения всех МВО между собой), что приводит к экспоненциальному росту объема вычислений (для приведенного примера необходимо найти 63 МВО). Благодаря проведенной модификации алгоритм Джарвиса данная задача может быть решена за приемлемое время.

В приведенном примере не рассмотрена динамика постановки бонов, т.е. полагается, что за время установки изменениями в конфигурации загрязнений можно пренебречь. Очевидно, что в условиях дрейфа АРН в неоднородном поле течений данное положение является модельным допущением. Поэтому в дальнейшем планируется рассмотреть динамику установки боновых загрязнений.

Выводы. Показано, что реализация тактики локализации нефтяного загрязнения путем окружения его целиком боновыми загрязнениями возможна в случае непревышения периметра минимальной выпуклой оболочки загрязнения длины загрязнения. Невыполнение данного положения приводит к необходимости использования иных тактических приемов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асадов С.Б. Закономерности распространения нефтяного загрязнения в Каспийском море: Автореф. дис....к-та географ. наук. СПб, 2003. – 20 с.
2. Мамедов Р.М. Изменчивость гидрофизических полей и распространение загрязнителей в Каспийском море. Р.М. Мамедов. - Баку: Елм, 2000. - 184с.
3. Караблин У.С. Методы ликвидации и предупреждения аварийных ситуаций при освоении месторождений углеводородного сырья. – Алма-Аты, 2008. – 185 с.
4. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. - М.: Ин-октаво, 2005. - 368 с.
5. Березин И.К. Оптимизация природоохранных мероприятий при ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов (на примере акватории Санкт-Петербурга): Автореф. дис....к-та техн. наук. СПб, 2005. – 28 с.

6. Атнабаев А.Ф. Информационная поддержка принятия решений при аварийных разливах нефти по водным объектам на основе ГИС-технологий: Автореф. дис....к-та техн. наук. Уфа, 2007. – 19 с.
7. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос. - М.: Мир, 1989. - 478 с.
8. Андреева Е.В. Вычислительная геометрия на плоскости / Е.В. Андреева, Ю.Е. Егоров // Информатика. – 2002. - №40. – С. 28-31.
9. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения. Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
10. Процессор распознавания нефтяных пятен. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=378>.

Тарасенко О.А., Алишанов Г.Н.

Прийняття рішення про можливість локалізації розливу нафтопродуктів на акваторії моря

Запропоновано критерій прийняття рішення про можливість локалізації розливу нафти на морській акваторії, яку засновано на оточенні групи нафтових сліків боновими загородженнями. В якості контуру бонових загороджень доцільно використовувати мінімальну опуклу оболонку.

Ключові слова: розливи нафтопродуктів, локалізація, бони, мінімальна опукла оболонка

Tarasenko AA., Alishanov G.N.

Making decision on possibility of localization of oil spills on the sea water area

The criterion of decision-making on possibility of localization of oil spill on the sea water area, based on an environment of group oil slicks is offered by bon obstacles. As a contour of bon obstacles it is expedient to use the minimum convex cover.

Key words: oil spills, localization, bon, minimum convex cover