

*Г.Н. Альшианов, адъюнкт НИЛ МЧС НУГЗ Украины
А.А. Тарасенко, д.т.н., ведущий. науч. сотр. НИЛ МЧС НУГЗ Украины*

ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ НА АКВАТОРИИ МОРЯ

Наибольшую опасность для окружающей среды представляют собой аварийные разливы нефти (АРН) вблизи побережий, поскольку ликвидация последствий таких разливов с поверхности воды в открытом море и удаление нефтепродуктов с береговой зоны принципиально различаются как методами, так и величиной трудо- и финансовых затрат [1]. В такой ситуации недопущение загрязнения берега является первоочередной задачей, что указывает на предпочтительность проведения процесса локализации разлива в открытом море.

В результате дрейфа нефтяного загрязнения в условиях неоднородного векторного поля скорости приповерхностных течений, характерного для прибрежной зоны, а также и ветров, происходит трансформация загрязнения, приводящая к разбиению нефтяного пятна на группу более мелких пятен. В силу ограниченности ресурсов локализация группы пятен отличается от локализации отдельного пятна.

В связи с этим, актуальным является вопрос принятия управленческого решения о выборе тактики локализации разлива, а именно о целесообразности локализации всей группы пятен либо о локализации разлива отдельными подгруппами. В работе [2] предложен критерий принятия решений о целесообразности локализации группы пятен одним боновым заграждением, при этом не рассмотрен вопрос о целесообразности локализации пятен по отдельности либо по более мелким группам.

Пусть имеется изображение группы из M нефтяных пятен на акватории [3]. Данное изображение может быть векторизовано, т.е. в локальной системе координат с известным масштабом контур загрязнения может быть задан массивом A вершин ломаных, аппроксимирующих контуры отдельных нефтяных пятен

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

где M - количество зафиксированных пятен; $(x_n^m; y_n^m)$ - n -ая вершина ($n=1 \dots N_m$) положительно определенного контура $\bar{\Omega}_m$ m -ого пятна Ω_m ($m=1 \dots M$); N_m - количество вершин контура m -ого пятна. В силу

замкнутости границы первая и последняя точки каждого контура совпадают, т.е. $(x_1^m; y_1^m) = (x_{N_m}^m; y_{N_m}^m) \forall m = 1 \dots M$. При этом $\Omega_i \bigcap_{i \neq j}^M \Omega_j = \emptyset$. Также будем

полагать, что $\Omega = \bigcup_{m=1}^M \Omega_m$.

Локализация группы пятен сводится к окружению ее боновым заграждением. Область, ограниченную k -ым боном обозначим как Θ_k , а границу данной области как $\bar{\Theta}_k$. Требование минимизации длины $\bar{\Theta}_k$ (при неизменности информации (1) о группе пятен в процессе ее локализации) требует задания $\bar{\Theta}_k$ в виде выпуклой оболочки (ВО) [4].

Используем допущение о том, что эволюция нефтяного поля осуществляется лишь под действием природных факторов (течений и ветров) и на нее не влияет сам процесс локализации. Кроме того, в приведенной модели не учтена динамика постановки боновых заграждений (рассмотренная ранее в работе [5]).

Располагая информацией (1), руководитель ликвидации АРН должен принять решение о целесообразности локализации всей группы пятен одним боновым заграждением заданной длины L либо осуществлять локализацию всех возможных m подгрупп боновыми заграждениями, такими, что $\sum_{k=1}^m L_k \leq L$.

Подход в решении данной задачи базируется на использовании прямого перебора разбиений множества пятен на все возможные подмножества.

Количество $S(M, m)$ неупорядоченных разбиений M -элементного множества на m непустых подмножеств ($m = 1 \dots M$) задается [6] числом Стирлинга второго рода из M по m

$$S(M, m) = \frac{1}{m!} \sum_{j=0}^m (-1)^{m+j} j^M C_m^j. \quad (2)$$

Так, например, в случае $M=3$ имеет место множество $\{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3\}$. В этом случае возможны следующие разбиения (использован алгоритм разбиения [6]):

1. $S(3,1) = 1: \{\{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3\}\};$
2. $S(3,2) = 3: \{\{\Omega_1, \Omega_2\}, \{\Omega_3\}\}, \{\{\Omega_1, \Omega_3\}, \{\Omega_2\}\}, \{\{\Omega_2, \Omega_3\}, \{\Omega_1\}\};$
3. $S(3,3) = 1: \{\{\Omega_1\}, \{\Omega_2\}, \{\Omega_3\}\}.$

Количество B_M всех возможных вариантов разбиений задается числом Белла [6]

$$B_M = \sum_{m=1}^M S(M, m). \quad (4)$$

Для приведенного примера $V_3 = 5$.

Количество K_M всех непустых подмножеств множества из M элементов

$$K_M = \sum_{k=1}^M C_M^k - 1 = 2^M - 1. \quad (5)$$

Для приведенного примера $K_3 = 7$.

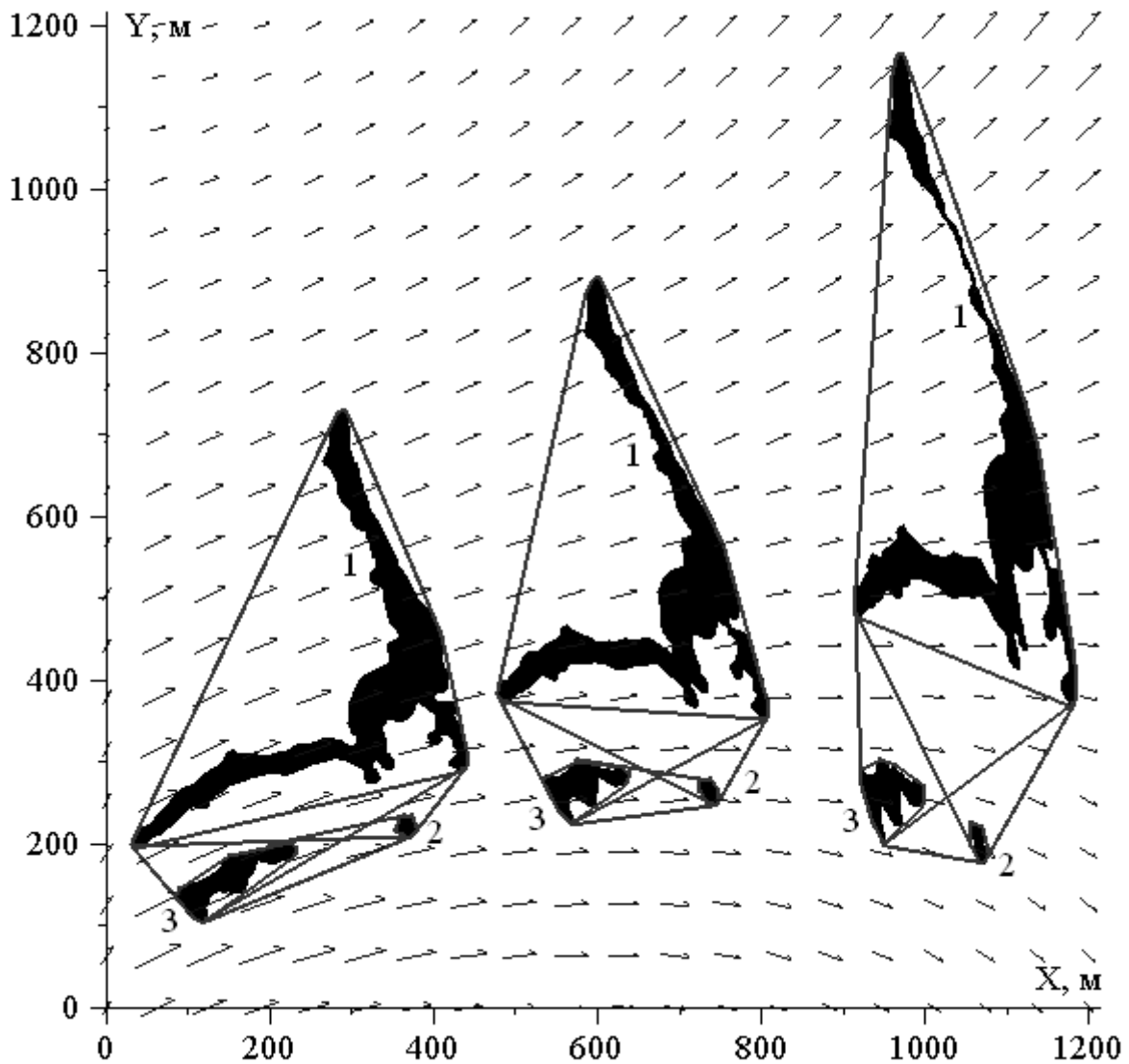


Рис. 1 – Динамика нефтяного поля и выпуклых оболочек возможных разбиений (изображены не все оболочки)

Таким образом, необходимо построить K_M выпуклых оболочек $\bar{\Theta}_k$ для всех подмножеств, после чего организовать согласно (3) объединение данных ВО. Так, например, для подмножества $\{\{\Omega_1, \Omega_2\}, \{\Omega_3\}\}$ будет иметь место объединение $\bar{\Theta}_{1,2} \cup \bar{\Theta}_3$. При этом необходимо выполнение условия

непересечения областей, т.е. $\Theta_{1,2} \cap \Theta_3 = \emptyset$, исключающее пересечение ВО (или их включения одной в другую).

Очевидно, что в условиях реальной обстановки число пятен может быть большим, что обуславливает высокую размерность решаемой задачи. В связи с этим очевидна необходимость создания соответствующего программного обеспечения.

На рис. 1 проиллюстрирован вариант разбиения нефтяного поля, представленного тремя пятнами (в разные моменты времени). Также на данном рисунке приведены все возможные варианты выпуклых оболочек для каждого из пяти вариантов.

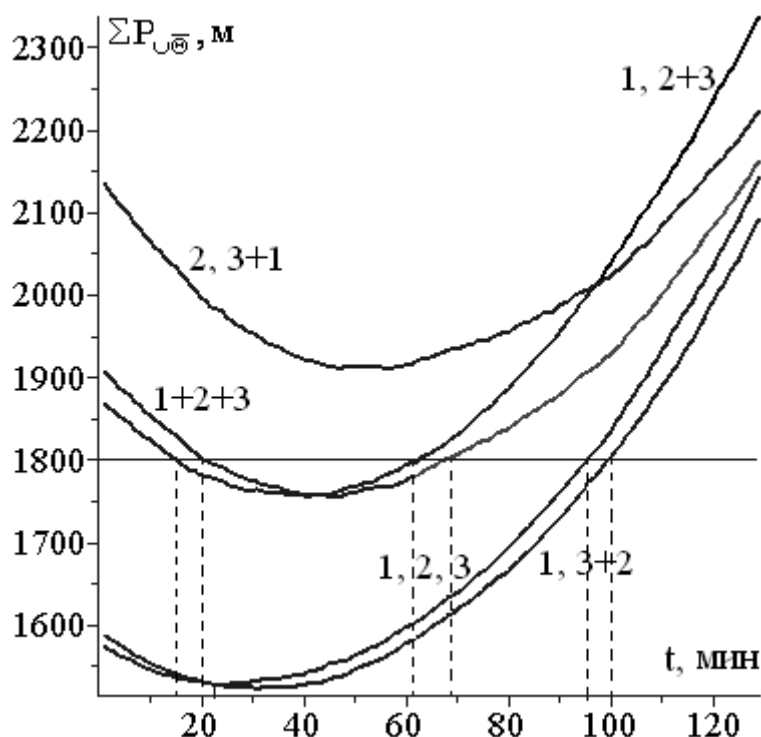


Рис. 2 – Динамика суммарного периметра объединения выпуклых оболочек

На рис. 2 представлена динамика суммарного периметра $\Sigma P_{\cup \Theta}$ объединения выпуклых оболочек для каждого из вариантов разбиения. По рисунку видно, что в самом начале с момента фиксации нефтяного поля наиболее предпочтительным с точки зрения минимизации длины боновых заграждений являлся вариант совместной локализации всех трех пятен, однако по мере дрейфа пятен более удачным становится вариант совместного окружения пятен №1 и №3 и отдельного окружения пятна №2. В том случае, если суммарная длина боновых заграждений, имеющихся в наличии, не превышает 1800 м, имеется временное окно для реализации данных сценариев локализации в интервале времени 0-95 мин и 0-100 мин, соответственно. Возможны также два других варианта локализации - отдельно каждого из пятен (20-68 мин) и в вариант совместного окружения пятен №1 и №2 и

отдельно – пятна №3 (15-62 мин). Все прочие варианты локализации при такой длине боновых заграждений не могут быть реализованы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мамедов А.К. Каспию быть чистым / А.К. Мамедов. – Баку: ОКА Офсет, 2004. – 415 с.
2. Алышанов Г.Н. Принятие решения о возможности локализации разливов нефтепродуктов на акватории моря / Г.Н. Алышанов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 17. С. 11-17.
3. Процессор распознавания нефтяных пятен. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/p.378>.
4. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос. - М.: Мир, 1989. - 478 с.
5. Алышанов Г.Н. Модель локализация боновыми заграждениями разлива нефти на акватории моря / Г.Н. Алышанов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 18. С. 9-16.
6. Федоряева Т.И. Комбинаторные алгоритмы: Учебное пособие / Т.И. Федоряева. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т., 2011. - 118 с.