

Г.Н. Алышанов, ад'юнкт, НУГЗУ

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ МЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЯНОГО ПЯТНА ПРИ АВАРИИ ТАНКЕРА НА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Проведен обзор существующих математических моделей динамики метрических параметров нефтяного разлива на морской акватории. Показано, что данные модели не рассматривают влияние антропогенного фактора и не учитывают воздействие сил и средств, осуществляющих локализацию и ликвидацию разлива.

**Ключевые слова:** разливы нефтепродуктов, математические модели, ликвидация, боны.

**Постановка проблемы.** Нефть и нефтепродукты являются одним из наиболее массовых и токсичных видов загрязняющих веществ на морской акватории. Масштабы загрязнения Каспийского моря в последние десятилетия значительно увеличились в связи с интенсификацией нефтедобычи.

Локализация разлива является важнейшим элементом в операциях по его ликвидации. Локализация нефтяного пятна (НП) может быть осуществлена тем эффективней, чем более точным прогнозом динамики метрических характеристик пятна будут обладать силы ликвидации аварийного разлива нефти (ЛАРН).

В связи с этим прогнозирование динамики нефтяного пятна на море является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В виду важности и актуальности проблематики снижения вреда от нефтяных разливов в литературе широко представлены монографии и обзоры (см., например, [1-4] и ссылки к ним), описывающие динамику нефтяных пятен, как на феноменологическом уровне, так и рассматривающие математические модели свободной динамики разлива.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является анализ возможностей существующих моделей динамики метрических параметров нефтяного пятна.

Под метрическими характеристиками следует понимать площадь разлива, периметр пятна, периметр выпуклой оболочки НП [5]. Очевидно, что данные параметры могут быть продуктом более общего прогноза динамики местоположения и формы пятна – т.е. геометрической информации.

Процессы, происходящие с НП на поверхности моря, могут быть сведены к следующим [1]:

– распространение относительно источника, обусловленное силами тяжести и физическими свойствами самой нефти (плотность, вязкость, коэффициент диффузии и др.).

вязкость, силы поверхностного натяжения).

Данные процессы определяют необходимый объем привлекаемых сил и средств ЛАРН;

– перемещение пленок нефти на поверхности акватории под действием гидрометеорологических факторов - ветра, волнения, течений.

Эти процессы важны для направления сил и средств в необходимый район.

Для семидесятых и восьмидесятых годов характерно использование упрощенных (и менее точных) эмпирических моделей, описывающих эволюцию нефтяного разлива. Среди данных моделей следует отметить [6-8]. Предметом моделирования является в первую очередь динамика площади разлива в предположении его круговой формы. Очевидно, что такое модельное допущение является очень сильным, а его реализация маловероятным, поскольку предполагает развитие разлива в условиях полной однородности векторных полей скорости приповерхностных ветров, течений и волнового воздействия.

В работе [1] приведена модель [6] для динамики радиуса НП

$$R(t) = \left[ R_0^3 + \left( \frac{3R_0 K t V \rho_0}{\pi \rho_w} \right) (\rho_w - \rho_0) \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где  $K$  – константа Блоккера ( $K=216$ );  $\rho_0$  – плотность нефтепродукта ( $\text{г/см}^3$ );  $\rho_w$  – плотность воды ( $\text{г/см}^3$ );  $t$  – время (с);  $R_0$  – начальный радиус пятна (см);  $V$  – объем ( $\text{см}^3$ ).

В соответствии с моделью Фэя [7], радиус пятна нефти, распространяющейся по поверхности воды, изменяется в зависимости от фазы.

В первой фазе распространение идет под действием сил тяжести и инерции:

$$R = K_i (\Delta g V t^2)^{\frac{1}{4}}. \quad (2)$$

Во второй фазе – под действием сил тяжести, инерции и сил вязкости нефти:

$$R = K_v \left( \frac{\Delta g V^2 t^{\frac{2}{3}}}{v_w^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{1}{6}}. \quad (3)$$

В третьей фазе распространение идет под действием сил поверхностного натяжения

$$R = K_t \left( \frac{\sigma^2 t^3}{\rho_w^2 v_w} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (4)$$

где  $t$  – время (с);  $\Delta = \frac{\rho_w - \rho_0}{\rho_w}$  – относительная плотность воды;  $\rho_0$  – плотность нефти, нефтепродуктов ( $\text{т/м}^3$ );  $\sigma = \sigma_w - \sigma_0 - \sigma_{0w}$  – суммарное

поверхностное натяжение (н/м);  $\sigma_w$  – поверхностное натяжение на границе вода-воздух;  $\sigma_0$  – воздух-нефть;  $\sigma_{0w}$  – вода-нефть;  $g$  – ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>);  $\nu_w$  – кинематический коэффициент вязкости воды (10<sup>-4</sup> м/с);  $V$  – объем разлитой нефти (м<sup>3</sup>); значения констант, определенных экспериментальным путем  $K_t = 1,14$ ;  $K_v = 1,45$ ;  $K_t = 2,30$ .

Каждая фаза длится определенное время, которое зависит от объема разлитой нефти.

Также ФЭем была предложена [7] формула максимальной площади, которую может занять распространяющееся нефтяное пятно:

$$S_{\max} = 4 \times 10^6 V_0^{\frac{4}{3}} \text{ (м}^2\text{)}, \quad (5)$$

где  $V_0$  – начальный объем вылитой нефти (м<sup>3</sup>).

Автор [1] отмечает, что эта формула может служить лишь для приблизительной оценки площади пятна, поскольку в ней не учитываются характеристики нефтепродуктов. Несмотря на это, в настоящее время модель ФЭя имеет весьма широкое применение благодаря простоте и тому, что она, учитывая физику явления, дает удовлетворительное совпадение с результатами экспериментов.

Следующим этапом является создание эмпирических моделей, описывающих влияние метеорологических факторов на дрейф пятна.

Данные модели также могут допускать различную степень упрощения. При предположении об однородности векторных полей скорости приповерхностных ветров и течений результатом моделирования является дрейфующее круговое пятно (с изменяющимся размером) [8].

В работе [9] на основании использования результатов трех экспериментов предлагается модифицированная эмпирическая формула ФЭя для определения площади разлива с учетом действия ветра:

$$S = 2,27 \left[ \frac{(\rho_w - \rho_0)}{\rho_0} \right]^{\frac{2}{3}} V^{\frac{2}{3}} t^{\frac{1}{2}} + 0,04 \left[ \left( \frac{\rho_w - \rho_0}{\rho_0} \right) \right]^{\frac{1}{3}} V^{\frac{1}{3}} W_{10}^{\frac{3}{4}} \cdot t, \quad (6)$$

где  $W_{10}$  – скорость ветра.

Основным преимуществом приведенных моделей является их простота, а недостатком – предположение о круговой форме пятна.

Также очевидно, что данное положение может быть реализовано лишь для малых разливов (порядка единиц литров).

Малое влияние сил поверхностного натяжения приводит к существенной зависимости динамики формы пятна от его начальной формы (т.е. в первое время после выброса). Последняя же формируется под влиянием случайных факторов – флуктуаций интенсивности выброса, волнового воздействия, турбулентности приповерхностных водных и воздушных течений.

С развитием моделирования в области описания синоптической обстановки, с созданием электронных карт дна, берега, воздушных и вод-

ных течений, ростом вычислительных мощностей и дальнейшим развитием инструментария географических информационных систем, а также развитием систем дистанционного зондирования [9], позволяющих осуществлять детектирование и мониторинг загрязнений акватории моря, появилась возможность получения более точных прогнозов метрических характеристик НП, включая получение прогноза динамики формы пятна.

Созданные на основе данных моделей программные ГИС-комплексы [10,11] позволяют прогнозировать динамику свободного развития пятна, т.е. под действием природных географических (широта, рельеф дна, конфигурация береговой линии), метеорологических (приводной ветер, степень волнения) и гидрологических (приповерхностные, нагонные и приливные течения) факторов.

Следующим этапом динамики метрических характеристик НП должны являться модели взаимодействия пятна и средств ликвидации разлива.

Проведенный обзор продемонстрировал отсутствие математических моделей метрических характеристик НП при взаимодействии разлива со средствами локализации, в частности, – с боновыми заграждениями.

Отсутствуют математические модели имеющей место [12,13] динамики линии боновых заграждений с заякоренными концами при суточном изменении скорости и направлении течений. Соответственно, отсутствует возможность учета задерживающей способности данных бонов.

Отсутствуют математические модели конфигурации линии U- или J-образной боновой ловушки в зависимости от скорости ее транспортировки и типа используемых бонов. Соответственно, из моделирования процесса ликвидации аварийного разлива нефти исключен такой важный компонент, как емкость данной ловушки.

Отсутствие данных моделей в совокупности не позволяет оптимизировать процесс ликвидации разливов нефти.

**Выводы.** Проведен обзор существующих моделей метрических характеристик нефтяного пятна. Упрощенные полуэмпирические модели используют допущение о круговой форме разлива. Современные модели, адекватно описывающие форму нефтяного пятна, требуют большого вычислительного ресурса. Среди данных моделей отсутствуют описания взаимодействия нефтяного разлива с боновыми заграждениями. Создание и внедрение таких моделей является ресурсом повышения эффективности ЛАРН на море.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альхименко А.И. Аварийные разливы нефти в море и борьба с ними / А.И. Альхименко // СПб: ОМ-Пресс, 2004. – 113 с.
2. Карабулин У.С. Методы ликвидации и предупреждения аварийных ситуаций при освоении месторождений углеводородного сырья / У.С. Карабулин // Алматы: Эверо, 2008. – 185 с.
3. Lehr W.J. Review of modeling procedures for oil spill weathering

behavior / W.J. Lehr // HAZMAT Division, 2010. – 40 p.

4. Reed M. Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art / M. Reed // Spill Science & Technology Bulletin, 1999. Vol. 5, No. 1, p. 3-16.

5. Алышанов Г.Н. Модель локализация боновыми загрязнениями разлива нефти на акватории моря / Г.Н. Алышанов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 18. С. 9-16.

6. Blokker P.C. Spreading and evaporation of petroleum products on water. Proc. 4th Int. Harbour Conf, Belgium 1964, pp.911-920.

7. Fay J.A. Physical processes in the spread of oil on a water surface. Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills. Wash. D.C. – 1971. – v.1, p. 130-138.

8. Гамзаев Х.М. Моделирование растекания нефтяной пленки по поверхности моря / Х.М. Гамзаев // Прикладная механика и техническая физика. – 2009. – Т. 50, №3, с. 127-130.

9. Mackey D, Leinonen P. Rate of evaporation of low solubility contaminants from water body to atmosphere. Env. Sci. Tech. 1988. – pp. 1178-1183.

10. Moghaddam A.A. A 2-D hybrid particle tracking /Eulerian-lagrangian model for oil spill problems / A.A. Moghaddam, A.B Dabir // Indian journal of geo-marine sciences. – 2013. – Vol. 42(1), p. 42-49.

11. Ocean modelling for coastal management – Case studies with MOHID / M. Mateus and R. Neves (eds.) IST Press, 2013. – 276 p.

12. Mazurek J. Oil Spill Models: A State of the Art of the Grid Map as a Function of Wind, Current and Oil Parameters / J. Mazurek, L. Smolarek // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2013. – Vol. 7, N 1. – p. 19-23.

13. Oil Spill Response in Fast Currents A Field Guide. Report No. CG-D-01-02/ U.S. Coast Guard Research and Development Center. – 2001. – 122 p.

Г.Н. Алишанов

**Аналіз математичних моделей динаміки метричних параметрів нафтової плями при аварії танкера на морській акваторії**

Проведено огляд існуючих математичних моделей динаміки метричних параметрів нафтового розливу на морській акваторії. Показано, що дані моделі не розглядають вплив антропогенного фактору і не враховують дію сил і засобів, що проводять локалізацію і ліквідацію розливу.

**Ключові слова:** розливи нафтопродуктів, математичні моделі, ліквідація, бони.

G.N. Alishanov

**Analysis of mathematical models of the oil spot dynamic metric parameters after tanker accidents in the sea**

A review of existing mathematical models of the oil spot dynamic metric parameters in the sea is given. It is shown that these models do not consider the influence of anthropogenic factors and do not consider the effects of forces and equipment which confine and liquidate the spill.

**Keywords:** oil spills, mathematical models, liquidation, coupons.