

## ДИНАМИКА МЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИВА НЕФТИ ПРИ АВАРИИ ТАНКЕРА НА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

Под метрическими характеристиками следует понимать площадь разлива, и периметр нефтяного пятна (НП). Очевидно, что данные параметры могут быть продуктом более общего прогноза динамики местоположения и формы пятна – т.е. геометрической информации.

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

– распространение относительно источника, обусловленное силами тяжести и физическими свойствами самой нефти (плотность, 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 [2-4]. 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 [2] для динамики радиуса НП

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

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 [3], радиус пятна нефти, распространяющейся по поверхности воды, изменяется в зависимости от фазы.

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

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

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

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

В третьей фазе распространение идет под действием сил поверхностного натяжения

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

где  $t$  - время (с);  $\Delta = (\rho_w - \rho_0) / \rho_w$  - относительная плотность воды;  $\rho_0$  - плотность нефти, нефтепродуктов ( $\text{т/м}^3$ );  $\sigma = \sigma_w - \sigma_0 - \sigma_{0w}$  - суммарное поверхностное натяжение ( $\text{н/м}$ );  $\sigma_w$  - поверхностное натяжение на границе вода-воздух;  $\sigma_0$  - воздух-нефть;  $\sigma_{0w}$  - вода-нефть;  $g$  - ускорение свободного падения ( $\text{м/с}^2$ );  $v_w$  - кинематический коэффициент вязкости воды ( $10^{-4}$  м/с);  $V$  - объем разлитой нефти ( $\text{м}^3$ ); значения констант, определенных экспериментальным путем  $K_i = 1,14$ ;  $K_v = 1,45$ ;  $K_t = 2,30$ .

Также Фэем была предложена [3] формула максимальной площади, которую может занять распространяющееся нефтяное пятно:

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

где  $V_0$  - начальный объем вылитой нефти ( $\text{м}^3$ ).

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. При предположении об однородности векторных полей скорости приповерхностных ветров и течений результатом моделирования является дрейфующее круговое пятно (с изменяющимся размером) [4].

В работе [5] 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 водных течений, ростом вычислительных мощностей и дальнейшим развитием инструментария географических информационных систем, а также развитием систем дистанционного зондирования [5], 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 [6,7] 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 является 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 [8,9] 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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альхименко А.И. Аварийные разливы нефти в море и борьба с ними / А.И. Альхименко // СПб: ОМ-Пресс, 2004. - 113 с.
2. Blokker P.C. Spreading and evaporation of petroleum products on water. Proc. 4th Int. Harbour Conf, Belgium 1964, pp.911-920.
3. 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.
4. 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.
5. Mackey D, Leinonen P. Rate of evaporation of low solubility contaminants from water body to atmosphere. Env. Sci. Tech. 1988, # 9, pp. 1178-1183.
6. 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.
7. Ocean modelling for coastal management – Case studies with MOHID / M. Mateus and R. Neves (eds.) IST Press, 2013. - 276 p.
8. 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.
9. 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.