

**СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

значительно понижают импульс молекул нефти. То есть, данная переменная, должна учитывать множество параметров (v , η , d , ...), а скорость нефти и возникающая сила может быть выражена через Δv .

Литература

1. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. Трубопроводный транспорт нефти и газа. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
2. Коннова Г.В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа. Ростов-на-Дону, Феникс, 2006. – 128 с. – ISBN: 5-222-07871-X
3. Коршак А.А., Нечваль А.М., Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа. – Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2005. – 516с.
4. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Р.Н.Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. – Уфа: Гилем, 2003, 464 с.
5. Губин В.Е., Губин В.В. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. М. Недра, 2000, 205 с.
6. Shi, J. Water-lubricated transport of high-viscosity oil in horizontal pipes: The water holdup and pressure gradient, INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIPHASE FLOW, NOV 2017.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА
НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ АКВАТОРИИ**

Д. А. Нечаев

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Общее поступление нефти и нефтепродуктов в акватории различного типа на данный момент пропорционально объему мировой добычи жидких углеводородов, что определяет растущую опасность загрязнения водоемов, рек и морей. Это связано в большей степени с резко возрастающей добычей углеводородов и разработкой новых месторождений. Поэтому при возникновении таких ситуаций, связанных с незапланированным выходом нефти и нефтепродуктов, эксплуатирующим компаниям необходимо иметь план локализации и ликвидации аварийных разливов нефти, применение которых значительно сократит негативное воздействие и степень серьезности аварии.

Стоит отметить, что немаловажную часть в планировании ликвидационных мероприятий стоит отнести именно к этапу подготовительных работ, которые основываются на оценке распространения аварийного разлива и степени загрязнения водоема. На данный момент в существующих планах ликвидации аварийных ситуаций не предусмотрена оценка распространения нефтяного загрязнения, таким образом, исключается обоснованный выбор мероприятий, ресурсов и оборудования, что непременно сказывается на увеличении времени реагирования, продолжительности и организации мероприятий по ликвидации последствий разлива. Планирование и непосредственно проведение работ по очистке нефтяного пятна с водной поверхности той или иной акватории требует прогнозирования распространения аварийного разлива нефти для повышения их точности [1]. Поэтому исследования в моделировании процессов распространения аварийных разливов жидких углеводородов, их быстрое и обоснованное применение к любым случаям аварийных ситуаций является актуальным вопросом на сегодняшний день и перспективным в плане обеспечения безопасности объектов добычи, эксплуатации и транспорта нефти и нефтепродуктов.

Целью исследования является описание математической модели распространения и трансформации нефтяного загрязнения при попадании на поверхность различного рода водоемов.

На сегодняшний день существует немалое количество примеров моделирования распространения загрязняющих жидких углеводородов по поверхности той или иной акватории. В работах Джорджа Фея (Fay J. A.), являющимися в некотором смысле фундаментальными [5], процесс распространения нефтяной пленки по водной поверхности представлен в виде следующих друг за другом трех основных фаз: инерционная, гравитационно-вязкостная, поверхностного натяжения.

В работах Оразбаева Б.Б. (совместно с Кенжегалиевым А.К., Жумагалиевым С.Ж., Утеновым Б.Е., Кенжегалиевым Д.А.), которые исследуют влияние аварийного разлива нефтепродуктов при проведении технологических операций на экологическое состояние Казахского сектора Каспийского моря. Основой, предлагаемой авторами математической модели дрейфа нефтяного пятна являются системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных в двумерном и трехмерном пространствах. Так, для моделирования распространения нефти и нефтепродуктов при аварийных разливах в трехмерном пространстве решается комплекс уравнений для определения скорости течения, температуры, концентрации солей и других примесей [3].

Для решения задач в контексте распространения разлива нефти на водной поверхности Дембицким С.И. (совместно с Корневым А.А., А.В. Ларионовым, О.В. Паниной и М.Х. Урtenовым) проведено математическое моделирование динамического взаимодействия разливов нефти с экосистемой моря и морского побережья внутренних морей Азово-Черноморского бассейна. Исследуемый процесс загрязнения экосистем описывается авторами как краевые задачи для системы нелинейных уравнений в частных производных (в их числе уравнение Навье-Стокса и уравнения физико-химических реакций в водной среде и на суше) [2].

Рассмотрим процесс растекания нефтяной пленки, образующейся при аварийном разливе нефти на водной поверхности акватории. Доктор технических наук, профессор Азербайджанской государственной нефтяной академии, Х. М. Гамзаев в своей статье «Моделирование растекания нефтяной пленки по поверхности моря» предлагает рассмотреть распространение нефти на водной поверхности как следствие сил гравитации и вязкостного трения, так как влияние именно этих воздействий и определяет динамику траектории изменения площади разлива [1]. Использование данной модели позволит определить радиус и толщину нефтяного разлива в определенный момент времени.

В осесимметричном случае модель распространения нефти будет представлено в виде уравнения сохранения массы, принятого для элементарного объема:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(r u h)}{\partial r} = 0 \quad (1)$$

и уравнение движения

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} = -g \delta \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{\tau}{\rho_0 h} \quad (2)$$

где u – осредненная по толщине разлива скорость его перемещения, τ – касательное напряжение на нижней границе разлива; g – ускорение свободного падения; h – толщина нефтяного слоя; $\delta = (\rho_w - \rho_0) \rho_0^{-1}$, ρ_w, ρ_0 – плотность воды и плотности нефти соответственно; r – радиальная координата; t – время.

Решение данных уравнений в контексте предложенной математической модели позволило получить формулы расчета параметров распространения нефтяного пятна при аварийном разливе нефти:

$$h(t) = \begin{cases} \left(\frac{\sqrt[3]{3}}{4} \right) \left(\frac{V_0}{2\pi\alpha t} \right)^{1/4} \left(\xi_0^2 - \frac{r^2}{\left(\frac{V_0^3 \alpha t}{8\pi^3} \right)^{1/4}} \right)^{1/3}, & r \leq r_k(t), \\ 0, & r \geq r_k(t). \end{cases} \quad (3)$$

где $h(t)$ – толщина нефтяной пленки, V_0 – начальный объем вылившегося нефтепродукта, $r_k(t)$ – конечный радиус, r – текущий радиус разлива.

Таким образом, определение примерного ареала распространения нефтепродукта (а именно его толщины и радиуса распространения), позволит производить быстрый и оперативный расчет, и, тем самым, ускоряя процесс принятия необходимых мер по локализации и ликвидации разливов аварийного разлива нефти.

Стоит отметить, что для получения более точных и полных характеристик распространения нефти, вышедшей на водную поверхность, предлагается использование комбинации нескольких методов моделирования. Так, принимая за основной расчет, предложенные в данной статье расчеты определения толщины пленки и радиуса распространения, и совмещая их с расчетами, предложенными Дж. Феєм [5], можно более точно определить характер распространения нефтяного пятна. А применяя методы математического моделирования, предложенные Корневым А.А. и Оразбаевым Б.Б., и применяя для интерпретации математических моделей компьютерную программу CARDINAL [4], возможно также рассмотреть распространение нефтяного разлива с учетом дополнительных параметров (соленость воды, влияние ветра, диспергирование нефти в водной толще и др.).

Литература

1. Гамзаев Х. М. Моделирование растекания нефтяной пленки по поверхности моря // Прикладная механика и техническая физика. Т. 50, N-3. 2009. С. 127-130.
2. Дембицкий С.И., Дунаев И.М., Лаврентьев А.В., Ларионов А.В., Уртенев М.Х. Математические модели динамики и деструкции нефтяного slicka на акватории моря. - Краснодар, 2003 – КубГУ – 71 с.
3. Кенжегалиев А.К., Оразбаев Б.Б., Жумагалиев С.Ж., Утенова Б.Е., Кенжегалиева Д.А. «Исследование влияния нефтепоисковых операции на экологическое состояние Казахстанского сектора Каспийского моря и разработка математической модели дрейфа нефтяного пятна» // Отчет о НИР по гранту. Атырауский институт нефти и газа. Атырау: 2012. 127 с. 1.
4. Клеванный К.А. Компьютерная программа CARDINAL для расчета динамики поверхностных вод и транспорта загрязняющих веществ. Руководства пользователя. С-Петербург: 2013.
5. Fay J. A. Physical processes in the spread of oil on a water surface // Proc. of the Joint conf. prevention and control oil spills. Washington: Amer. Petrol. Inst., 1971. P. 463-467.