

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

Ключевые слова: моделирование, разлив нефти, нефтепродукты.

В данной статье рассмотрены различные зарубежные так и отечественные модели разлива нефти для различных случаев, описаны их особенности и на чем основаны эти модели.

Keywords: modeling, oil spill, oil.

This article describes the various foreign and domestic oil spill models for various cases are described and their features based on what these models.

В последние десятилетия в Российской Федерации происходит рост добычи нефти, однако и растет количество аварий связанных с разливом нефти. Разлив нефти может произойти как при добыче нефти, так и при транспортировке ее судами или по нефтепроводу. Основное количество разливов нефти на территории России происходит из-за аварий на нефтепроводах. Это обусловлено тем, что большая часть нефтепроводов построена 30-35 лет при нормативном сроке эксплуатации этих систем 20-25 лет [1].

Невозможно заранее предугадать точное место, время и объемы разливов нефти. Объем вытекшей нефти может оказаться значительным даже при относительно небольших повреждениях, если они остаются незамеченными в течение длительного времени [2]. Поэтому необходима разработка планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛРН). Для планирования действий по предотвращению и ликвидации возможных разливов нефти необходимо уметь прогнозировать последствия этих разливов: возможные маршруты стекания и места скопления нефти, воздействие нефти на природные объекты (реки, озера, леса и др.), население (колодцы с питьевой водой, пастбища, сельскохозяйственные угодья и др.). Информация о поведении и характере пятна в том или ином случае позволяют максимально быстро ввести механизм борьбы с разливом, тем самым, сокращая количество разлившегося нефтепродукта и уменьшить экологический ущерб [3].

Система прогнозирования последствий разливов нефти опирается на современные методы математического моделирования, учитывающие гидродинамические и климатические особенности зоны пролива.

Моделирование разливов нефти весьма проблематично из-за большого числа факторов, влияющих на передвижение и эволюцию пятна нефти в водной среде. К ним относятся изначальный объем и физико-химические характеристики пятна нефти, характеристики региона разлива, состав и циркуляция воды под пятном нефти и вокруг него, ветровое поле над поверхностью разлива. Некоторые физико-химические и биологические процессы: перенос пятна, турбулентная диффузия, гидродинамическое рассеивание, растворение, фотоокисление, погружение и всплытие и др. Все эти процессы и характеристики взаимосвязаны и должны рассмат-

риваться вместе для получения более точных оценок поведения нефти.

Также во многом влияет на поведение пятна характеристика источника разлива. Соответственно разработаны модели, описывающие и отдельные, и разные источники разливов. Например, Reed M. [4] описывает образование пятна нефти при прорыве нефтепровода и не рассматривающие поведение пятна после его образования.

Модель SLROSM позволяет моделировать разные источники выброса. Начальная область разлива, толщина пятна и свойства нефти определяют для различных сценариев разлива, а затем основная модель поведения нефти используется для расчета поведения нефти на поверхности воды. SLROSM также позволяет одновременно моделировать поведение нескольких пятен, расчет которых, осуществляется раздельно, т.к. у разных пятен, в виду различного времени образования, различная ветровая динамика.

Многие современные модели опираются на ранние работы Fay [5] и Mackay [6] с некоторой их модификацией, К примеру, Belore R использует модификацию, учитывающую изменение плотности нефти и определение растяжения нефти в точке разлива. Что касается вертикальной динамики, то чаще всего используется модель всплытия Delvigne [7].

Для более адекватного описания поведения пятна нефти рассматриваются трехмерные модели, описывающие передвижение пятна нефти по поверхности воды и вертикальное взаимодействие с водным столбом. Ранние модели (Fay [5], Mackay [6]) определяли временную динамику пятна нефти, а не его форму (предполагалось, что форма окружность или эллипс). Johansen [8] и Elliott [9] предложили гипотезу, что наблюдаемое растекание пятна возникает как результат погружения и всплытия капель нефти. На основании чего была разработана кинетическая модель вертикального смешения капель нефти под действием волн [10].

Основные характеристики нефти, разрушающих волн и водного столба собраны в единый «фактор смешивания», определяющем доли распределения нефти в пленке и водяном столбе. Он включает вязкость нефти, зависимость от высоты волн, коэффициент напряжения между поверхностями и плотность нефти. Этот подход обобщает модель всплытия Delvigne.

Одной из наиболее полных является следующая трехмерная модель [11]. В ней одновременно рассчитываются несколько переменных состояний нефти: толщина пятна на поверхности воды, концентрация растворенной, рассеянной (в виде капель) и эмульгированной нефти в водном столбе, концентрация растворенной и эмульгированной нефти в донных отложениях.

Модель представляет собой систему уравнений. Уравнения LNS управляют горизонтальным перемещением пятна, связанным с объединенным влиянием ветра и поверхностных течений, а также растеканием пятна под действием гравитационных сил и вязкости. Набор уравнений адвекции-диффузии описывают перемещение нефти в водном столбе, которые определяют обмен между рассеянной, растворенной и эмульгированной фазах нефти согласно определенной кинетики. Для адекватного описания вертикальной динамики капель нефти, вводится слой смешивания, находящийся сразу под пятном нефти. Находясь в этом слое большие капли нефти могут возвращаться назад в пятно, а могут погружаться в водный столб.

Являясь наиболее подробной, эта модель требует значительного объема данных, которые не всегда имеются в наличии. Выбор степени подробности модели исходит из ее назначения, требований и имеющихся данных. К примеру, в зависимости от типа нефти рассматриваемой в модели испарение либо учитывается, либо нет. В мобильных системах прогноза, из-за скорости жертвуют глубинным разрешением [12].

Разработанная в ААНИИ [13] модель переноса и трансформации нефтяных загрязнений в арктических ледовитых морях OilMARS (Oil Spill Model for the Arctic Seas) учитывает перенос и трансформацию нефтяных загрязнений на поверхности моря в результате длительных или моментальных разливов нефти от неподвижных или движущихся источников. А также распространение обнаруженных на поверхности моря пятен нефтяных загрязнений.

В настоящее время модель работает в трехмерном варианте, рассчитывая внутриводное распространение дисперсионного шлейфа и нефти, погружившейся в воду. Модель способна рассчитывать появление и распространение вторичного нефтяного загрязнения на поверхности воды и загрязнение морского дна. Кроме того, модель учитывает влияние сплоченности и дрейфа ледяного покрова на распространение загрязнения, а также попадание нефти на верхнюю поверхность ледяного покрова и под лед в результате сжатия дрейфующего льда.

Модель SpillMod [14,15,16] учитывает основные процессы, происходящие в разливе под воздействием окружающей среды (растекание, перенос и деформацию под действием ветра и течений, испарение компонентов разлива, естественное диспергирование и изменение свойств разлива с течением времени). Модель основана на использовании осредненных по вертикальной координате уравнений Навье – Стокса и позволяет проводить необходимые расчеты, в том числе для начальных стадий процес-

са, в областях сложной геометрии, при наличии свободных и контактных границ, наличии ледяного покрова. Уравнение модели, представляющие определенное развитие традиционной системы уравнений «мелкой воды», получены методом возмущений по малому параметру из исходной трехмерной задачи, в котором движение внутри слоя нефти описывается системой уравнений Навье – Стокса для несжимаемых ньютоновской жидкости. На поверхностях раздела нефть-вода и нефть-воздух, которые также являются искомыми функциями, заданы условия непрерывности напряжений и кинематические условия.

Российским научно-исследовательским институтом безопасности [17] разработана технология моделирования возможных разливов нефти и нефтепродуктов, которая включает в себя создание геоинформационной модели территории, построение корректной модели рельефа, определение маршрутов стекания нефти и нефтепродуктов, определение мест скопления.

Результатом моделирования движения пятна нефти по водной поверхности является расчет наиболее важных характеристик загрязнения, таких как площадь нефтяного пятна и его длина по фарватеру реки, концентрация загрязнителя в центре пятна. Однако данную модель нельзя применять к малым рекам.

В результате проведенного анализа доступных материалов можно сделать вывод о том, что прогнозирование пятна нефти затруднено из-за сложности процессов возникающих при разливе нефти, таких как адвекция, растекание, испарение, эмульгирование, диспергирование, осаждение, фильтрация в грунт, а также изменение состава и свойств нефти. Все эти процессы должны быть рассмотрены и описаны в математической модели для адекватной оценки поведения нефти и создания плана по ликвидации разлива нефти.

Литература

1. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство). – М: Недра, 1982. с.11-22.
2. Шарапов М.Э., Алексеев В.А. Численное моделирование разлива при разгерметизации трубопровода./ Вестник Казанского технологического университета, 2012, №16, с. 221-223.
3. Вицин Д.Ю., Алексеев В.А. Моделирование аварийного истечения нефтепродуктов на проницаемой поверхности./ Вестник Казанского технологического университета, 2014, №4, с. 263-265.
4. Reed M., Emilsen M.H., Hetland B., Johansen O., Buffington S., Hoverstad B. Numerical model for estimation of pipeline oil spill volumes // Environmental Modelling & Software. 2006. 21. 178–189p.
5. Fay, J. A Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface // MIT. NTIS report AD726281. 1971.
6. Mackay, D., Buist, I., Mascarenhas, R., Paterson, S. Oil Spill Processes and Models // Report EE8. Environment Canada, Ottawa. 1980.
7. Delvigne, G. A. L., Sweeney, C. E. Natural dispersion of oil // Oil and Chemical Pollution. 1988. 4. 281–310 p.
8. Johansen, O. Dispersion of oil from drifting slicks // Spill Technology Newsletter. 1982. 134–149 p.

9. Elliott, A. J. Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the North Sea // Deutsche HydrographischeZeitschrift. 1986. 39. 113–137 p.
10. Tkalic, P., Chan, E. S. Vertical mixing of oil droplets by breaking waves // Marine Pollution Bulletin. 2002. 44 (11), 152–161 p.
11. Tkalic, P. A. CFD solution of oil spill problems // Environmental Modelling & Software 2006. 21. 271–288 p.
12. Copeland G., Wee Thiam-Yew Current data assimilation modelling for oil spill contingency planning // Environmental Modelling & Software. 2006. 21. 142–155 p.
13. Становой В.В., Лавренов И.В., Неелов И.А. Система моделирования разливов нефти в ледовитых морях. // Проблемы Арктики и Антарктики, № 77, 2007
14. Ovsienko, S., Zatsepa, S., Ivchenko, A., Study and Modeling of Behavior and Spreading of Oil in Cold Water and in Ice Conditions. 15th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Espoo, Finland. 1999
15. Овсиенко С.Н., Зацепа С.Н., Ивченко А.А. Моделирование разливов нефти и оценка риска воздействия на окружающую среду.. Труды ГОИИ. вып. 209. М.: Гидрометеиздат, 2005
16. Овсиенко С.Н., Зацепа С.Н., Ивченко А.А. Математическое моделирование как элемент информационной поддержки принятия решения при выборе стратегии защиты морской среды от нефтяного загрязнения, Труды ГОИИНа, вып.213, М.Гидрометеиздат, 2011
17. Моделирование аварийных разливов нефти и нефтепродуктов для планирования действий в условиях ЧС / С. В. Павлов [и др.] // ArcReview № 3 (26), DATA+, г. Москва, 2003. – С. 15–16.

© **Р. П. Романов** – магистрант каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ, ahura.mazda208@gmail.com;
В. А. Алексеев – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, alekseev_v_a@mail.ru.