

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 рассматриваться 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, ReedM. [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 определяются 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 отдельно, т.к. у разных пятен, в виду различного времени образования, различная ветровая динамика. Многие современные модели опираются на ранние работы Fay [5] и Maskay [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], Maskay [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 смещения 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 наличие. 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 АНИИ [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, погрузившейся 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 уравнениях Навье - Стокса и позволяет проводить необходимые расчеты, в том числе для начальных стадий процесса, 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.