



УДК 502.1/2:656

Пластинин Андрей Евгеньевич, доцент, д.т.н., профессор кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Каленков Александр Николаевич, к.т.н., доцент кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Солдатов Дмитрий Андреевич, магистрант кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Ращупкина Виолетта Сергеевна, магистрант кафедры охраны окружающей среды и производственной безопасности ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВСПЛЫТИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ПОДВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Ключевые слова: разлив нефти, подводные источники, нефтяное загрязнение, моделирование, процесс всплытия, область всплытия нефти

Аннотация. Рассмотрены вопросы моделирования процесса всплытия нефтяного загрязнения от подводных источников. Приведены результаты оценки возможности применения программного комплекса FlowVision для моделирования процесса всплытия нефтяного загрязнения от подводных источников.

Параметры границ зон распространения нефтяного загрязнения определяются процессами, происходящими в нефтяном пятне и его взаимодействием с окружающей средой [1-3]. К ним относятся: действие гравитационной составляющей (в т. ч. процесс всплытия для подводных источников), растекание, диффузия, испарение, горение, диспергирование, эмульсификация и изменение вязкости нефти.

Целесообразно выделить три вида границ зон распространения нефтяного загрязнения и определяющие их процессы: 1) подводные – гравитационная составляющая (действие архимедовой силы) и процесс растекания 2) атмосферные – испарение и горение (в т.ч. взрывное – дефлаграция и детонация) 3) на поверхности воды – все процессы [4-6].

Обзор и анализ существующего отечественного и международного математического обеспечения воспроизводящего внутренние и внешние процессы нефтяного загрязнения показал, что ни одна из рассмотренных нефтяных моделей не обеспечивает прогнозирование процесса всплытия нефти из подводных источников [7-9].

Поэтому необходимо выполнить комплексные исследования процессов распространения нефтяного загрязнения в водной среде при всплытии на свободную поверхность, включающие: выбор метода исследования процесса всплытия; оценку влияния различных факторов (тип нефтепродукта, объем разлива, скорость течения,

глубина, температура воды) на время, координаты и площадь области всплытия нефти (ОВН); определение структуры входных и выходных данных математической модели прогнозирования; разработку математической (регрессионной) модели оценки параметров ОВН; разработку вариантов визуального отображения текущего состояния распространения нефтяного загрязнения в толще воды с дискретностью не более 10 метров по глубине; разработку методики прогноза подводного движения разлива (общего описания алгоритма решения задач прогнозирования) [10-12].

В работах [13-14] описан метод, в котором нефть моделировалась отдельными частицами, в частности, каплями керосина и парафиновыми шариками [15-17].

Твердотельная модель проточной части канала с установленным в нем заграждением (рис. 1) была подготовлена в CAD-системе SolidWorks. Размеры канала в фронтальной плоскости были взяты из эксперимента. Поскольку в экспериментальной модели протяженность заграждения значительно превосходила диаметр нефтяных капель, оказалось возможным проведение численного моделирования в программном комплексе FlowVision в двумерной постановке. В связи с этим в направлении, перпендикулярном плоскости течения, размер геометрической модели канала был выбран 0.01 м [15-17].

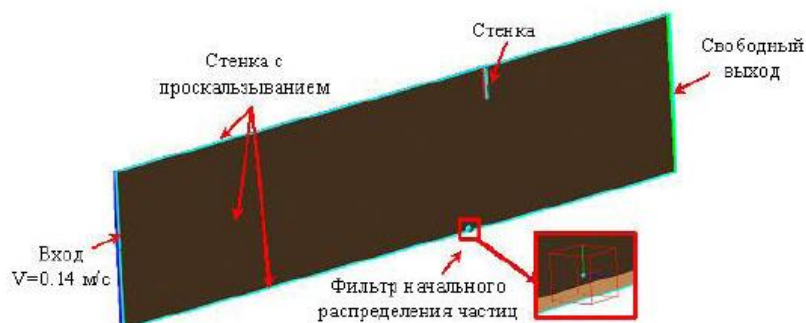


Рис. 1. Расстановка граничных условий и положение фильтра начального распределения частиц в расчетной области.

Схема расстановки граничных условий приведена на рис. 1 [15-17].

Моделирование движения нефтяных капель при установившемся течении несущей фазы проведено с использованием модуля Лагранжевых частиц [15-17]. Программный комплекс FlowVision позволяет моделировать движение частиц одновременно четырех различных размерных групп. В проведенных расчетах размеры частиц были выбраны в полном соответствии с экспериментом [13-14].

Точка выпуска капель моделировалась с помощью фильтра, задающего начальное распределение модельных частиц внутри расчетной области в пределах некоторого трехмерного объекта. В качестве объекта был выбран куб с линейным размером 5 мм, расположенный вблизи дна канала на расстоянии 0.75 м от входной границы (рис. 1) [15-17].

Модельные частицы выпускались на каждом временном шаге. Начальная скорость частиц задавалась равной местным значениям скорости несущей фазы. Действие силы сопротивления со стороны частиц на несущую фазу не учитывалось в силу малости их количества.

В расчете использовалась неравномерная начальная расчетная сетка, сгущенная вблизи заграждения и за ним. Дополнительно, для разрешения возвратной зоны, образующейся за заграждением, проводилась адаптация сетки в объеме параллелепипеда. Уровень измельчения сетки менялся в ходе исследования [15-17].

Для визуализации результатов моделирования в постпроцессоре отрисовывались траектории движения частиц, а также векторное поле скоростей. Для сравнения результатов траектории частиц, полученные с помощью FlowVision, накладывались на результаты [13-14] в графическом редакторе. Для дальнейшей обработки траектории с помощью координатной сетки вносились в программу Excel, где описывались полиномами различных степеней [15-17].

При моделировании с помощью FlowVision использовались две модели турбулентности. Аналогично работам [13-14] проводилась проверка k-ε модели турбулентности, а также рекомендованной в «Руководстве пользователя» модели SST. Все параметры, в том числе сетка, оставались постоянными. Результаты моделирования в сравнении с траекториями [13-14] приведены на рис. 2. Сравнительный анализ с использованием статистических критериев показывает, что точки траекторий при использовании стандартной k-ε модели принадлежат одной совокупности с точностью, превышающей 0,98 [15-17].

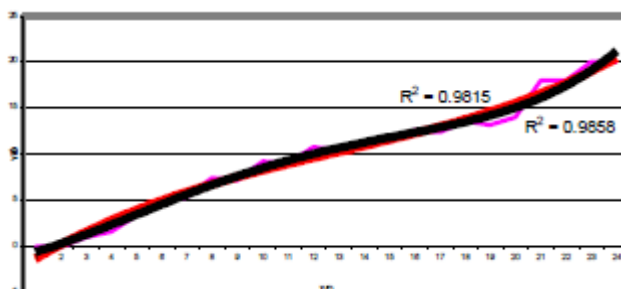


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных траекторий частиц парафина с использованием k-ε модели турбулентности.

Для модели SST результаты совпадают с точностью около 0,8. Наблюдается отклонение траекторий частиц в верхней части расчетной области, что в первую очередь связано с изменением структуры потока за пластиной. Также наблюдается отклонение частиц меньшего диаметра, в то время как траектории более крупных частиц достаточно точно совпадают (рис. 3). Такое отклонение, по-видимому, связано с соотношением между силами плавучести частиц, весом и внешними силами со стороны потока. Это полностью согласуется с данными [13-14], полученными при описании уноса нефти под боновое ограждение [15-17].

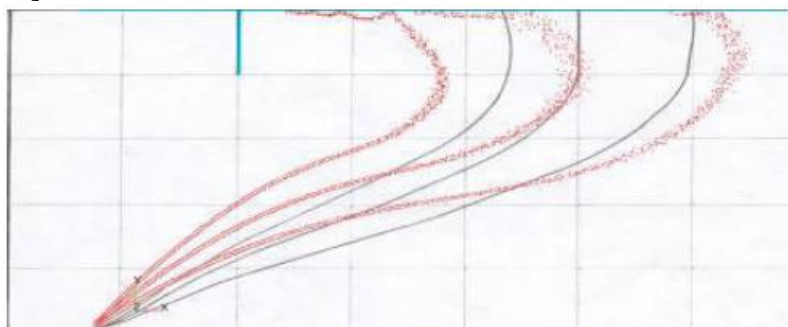


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных траекторий частиц парафина с использованием SST модели турбулентности.

Сравнение полей скоростей показало, что размеры вихревой зоны за пластиной у k-ε модели меньше и центр вихря смещен вперед. Скорости в нижней части расчетной области в этом случае меньше. Смещение траекторий частиц у модели SST связано с перемещением центра вихревой зоны и увеличением скорости в нижней части расчетной области. В то же время турбулентная дисперсия частиц у модели SST оказалась значительно меньше [15-17].

Было выполнено исследование влияния размеров ячеек расчетной сетки на траектории движения частиц. Были рассмотрены сетки с использованием адаптации 3-го уровня (минимальный размер ячеек не менее 1 мм по вертикали и 2 мм по горизонтали), адаптации 2-го уровня (минимальный размер ячеек составил 2 мм по вертикали и 4 мм по горизонтали), а также расчетной сетки, описанной в [13-14]. Анализ траекторий, показанных на рис. 4, позволяет утверждать, что результаты моделирования по трем сеткам принадлежат одной совокупности. В то же время расчетное время для сетки с адаптацией 3-го уровня превышает время расчета для сетки с адаптацией 2-го уровня более чем в 3 раза.

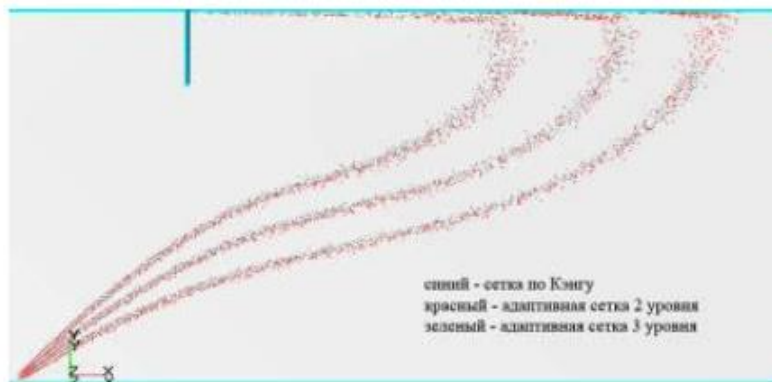


Рис. 4. Сравнение результатов при использовании адаптации расчетной сетки различного уровня.

Таким образом, выполненные ВГУВТ исследования [15-17] позволяют утверждать, что программный комплекс FlowVision может быть использован для моделирования процесса всплытия нефтяного загрязнения от подводных источников и обеспечивает необходимую точность при уменьшении расчетного времени.

Список литературы:

- [1] Костров В.Н., Ничипорук А.О. Современные проблемы и направления государственного регулирования на внутреннем водном транспорте // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 33. С. 123-127.
- [2] Ничипорук А.О., Гончарова Н.В. Анализ требований, предъявляемых к качеству перевозок участниками транспортного процесса // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 33. С. 154-162.
- [3] Курников А.С., Власов В.Н., Мизгирев Д.С. Совершенствование микроклимата машинных помещений судов // В сборнике: Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Труды международного научно-промышленного форума. 2016. С. 89.
- [4] Решняк В.И., Решняк К.В. Управление экологической безопасностью при эксплуатации судов на внутренних водных путях // Эксплуатация морского транспорта. 2017. № 1 (82). С. 106-109.
- [5] Решняк В.И., Курников А.С., Решняк К.В. Исследование особенностей процесса окисления в дисперсной системе "вода-эмульгированные нефтепродукты" // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. № 3. С. 171-177.
- [6] Решняк В.И., Зубрилов С.П. Проблемы природоохранной деятельности в отрасли // Журнал университета водных коммуникаций. 2009. № 1. С. 161-164.
- [7] Наумов В.С., Пластинин А. Е., Каленков А.Н. Оценка нефтяного загрязнения от подводных источников // Журнал университета водных коммуникаций. 2013. №1. С.90-94.
- [8] Mizgiryov D., Kurnikov A., Katraeva I., Moralova E., Mikheeva E. Using hydrodynamic cavitators for wastewater post-treatment and disinfection // В сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation. 2017. С. 1071-1076.
- [9] Пластинин А.Е., Каленков А.Н. Особенности оценки ущерба при разливах нефти на внутренних водных путях // Приволжский научный журнал. 2011. № 3. С. 168-174.
- [10] Наумов В.С., Пластинин А.Е., Каленков В.С., Отделкин Н.С. Моделирование всплытия нефти от подводных источников в ледовых условиях // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4(42). Т.2. С. 87-91.
- [11] Туркин А.В., Береза И.Г., Туркин В.А. Использование метода имитационного моделирования при анализе аварийной ситуации "перелив танкера" // Эксплуатация морского транспорта. 2011. № 4. С. 67-70.
- [12] Каленков А.Н., Смирнова Д.Н., Родина Н.С. Особенности загрязнения внутренних водных путей различными типами нефтепродуктов // В сборнике: ВЕЛИКИЕ РЕКИ' 2017 труды научного

конгресса 19-го Международного научно-промышленного форума: в 3 томах. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 325-330.

[13] Lee, C.M., Kang, K.H., "Investigations on containment-capability and dynamic response of an oil fence in waves," Annual Report of Advanced Fluids Engineering Research Center, AFR-93-F01, pp. 1-42, 1994.

[14] Lee C.M., Kang K.H., Cho N.S., Trapping of leaked oil with tandem oil fences with Lagrangian analysis of oil droplet motion. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Vol.120, February 1998, p 50-55.

[15] Чебан Е.Ю. Использование программного комплекса FlowVision для разработки методики оценки эффективности нефтесборного бонового ограждения // «САПР и Графика», М.: Изд. «КомпьютерПресс», №1, 2007. С. 92-96.

[16] Лукина Е.А., Чебан Е.Ю. Моделирование обтекания нефтесборного бонового ограждения//Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2005. № 12. С. 167-171.

[17] Чебан Е.Ю. Обоснование параметров численного моделирования обтекания бонового ограждения Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2012. № 4. С. 141а-148.

THE USE OF THE SOFTWARE COMPLEX FLOWVISION FOR MODELING THE PROCESS OF ASCENT OF OIL POLLUTION FROM UNDERWATER SOURCES

Andrey E. Plastinin, Alexander N. Kalenkov, Dmitry A. Soldatov, Violetta S. Raschupkina

Key words: oil spill, underwater sources, oil pollution, modeling, process of ascent, area of ascent of oil.

The problems of modeling the process of oil pollution ascent from underwater sources are considered. The results of the evaluation of the possibility of using the software complex FlowVision to simulate the process of surfacing oil pollution from underwater sources.