

## Постановка задачи определения характеристик судового нефтесборного устройства

Е.Ю. Чебан, А.В. Якубов

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В настоящее время и в обозримом будущем нефтяные углеводороды являются одним из основных источников энергии, а также сырьем для различных отраслей промышленности. Использование нефтепродуктов и их перевозка невозможны без потерь в окружающую среду.

Данное утверждение справедливо и для отрасли речного транспорта, поскольку эксплуатация флота на внутренних водных путях представляет потенциальную опасность для акваторий, связанную с возможными авариями и утечками нефтепродуктов и нефтесодержащих смесей.

Статистические данные по речному транспорту свидетельствуют о том, что подавляющее большинство разливов нефтепродуктов связано с эксплуатационными происшествиями, возникающими при выполнении технологических операций. Анализ этих данных показывает, что разливы в этом случае не превышают 1,5 тонн.

С целью инженерной защиты от загрязнения нефтью окружающей среды, Правила экологической безопасности судов Российского Речного Регистра требуют оснащения нефтеналивных судов комплектами по борьбе с разливами нефти. В Бюллетене № 3 «Изменений и дополнений Правил Российского Речного Регистра» (п. 2.7.20), находящемся на утверждении в Министерстве транспорта, предусмотрено наличие в комплекте нефтесборного устройства, которое должно иметь производительность, соответствующую скорости течения воды в водотоке, массе разлива и конструкции бонового ограждения. Имеющиеся в настоящее время на рынке и используемые на некоторых судах нефтесборные устройства в полной мере не отвечают требованиям Правил Регистра и требуют совершенствования. Это позволяет утверждать, что исследования в данном направлении являются актуальными.

Характеристики нефтесборного устройства должны обеспечивать его эффективную работу с учетом особенностей условий эксплуатации судов (скорости течения, волнения), свойств нефти, характеристик бонового ограждения, объема разлива. Особенно это важно на водотоках со скоростями течения более 0,5 м/с.

Как показывают исследования, проведенные Этиным В.Л., Лукиной Е.А., Чебан Е.Ю., Косовским В.И. и многими другими, в данном случае наиболее целесообразно одновременно с локализацией нефтяного пятна удалять нефть с поверхности воды с определенной скоростью, соответствующей условиям в районе разлива. Это представляется возможным сделать с помощью комбинированных устройств, включающих в себя плавающее боновое ограждение и высокопроизводительное нефтесборное устройство. В настоящее время такую производительность могут обеспечить только всасывающие устройства. Их примером могут служить скиммеры, осуществляющие сбор насадкой, которая поддерживается тремя-четырьмя поплавками и заглублена под воду на несколько сантиметров.

Нефтепродукты, собранные этим способом, содержат большее количество воды по сравнению с другими методами. Уменьшение обводненности может быть обеспечено конструкцией всасывающей насадки, учитывающей влияние скорости течения, волнения, свойств нефтепродуктов, характеристик бонового ограждения, объема разлива и т.д. В работах названных выше исследователей сведений по оптимизации параметров таких устройств не содержится.

Взаимодействие нефтяного пятна с комплексом плавающее боновое ограждение - нефтесборное устройство (далее именуемым комплексом «ПБО-НСУ»), представляет собой совокупность сложных гидродинамических процессов, для исследования которых только модельных или натуральных экспериментов уже недостаточно. Поэтому, как и во многих подобных случаях, наиболее рациональным методом является математическое мо-

делирование, которое позволяет реализовать идею исследователей с помощью «виртуального испытательного стенда».

В настоящее время такой «стенд» разрабатывается на основе программного комплекса «FlowVision». Для создания «стенда» была создана расчетная область, обеспечен ее импорт в «FlowVision», выбраны и расставлены граничные условия, генерирована начальная расчетная сетка.

В основе работы «стенда» лежит математическое описание движения вязкой жидкости со свободной поверхностью, включающее уравнение Навье-Стокса, уравнения  $k-\epsilon$  модели турбулентности, уравнение переноса функции заполнения  $F$  (VOF) и уравнения конвективного переноса. Двухфазность потока учитывается дополнительными условиями по переменной «Концентрация», которые изменялись в процессе эксперимента.

Для исследования обтекания комплекса «ПБО-НСУ» была использована комбинация граничных условий, показанная на рисунках 1,2. Верхняя грань расчетной области с условием симметрии не показана.

Для уменьшения влияния конечной глубины водоема на нижней границе было поставлено граничное условие «Свободный выход». На самой насадке на всех поверхностях кроме внутренней стороны заглушки использовалось граничное условие стенки с логарифмическим законом для скорости. На внутренней стороне заглушки насадки задавалось условие «Выход» и указывалось отрицательное давление.

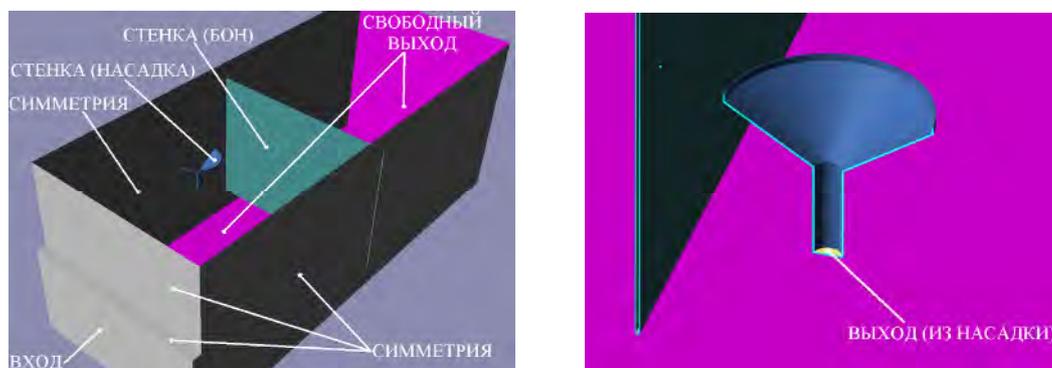


Рис. 1,2. Расстановка граничных условий в расчетной области.

Для создания геометрии использовалась программа SolidWorks. Расчетная область экспортировалась во FlowVision в формате .vrl, приемная часть нефтесборного устройства – в формате .stl для увеличения точности передачи из-за сложности геометрии. На рис. 3 приведена геометрия насадки НСУ.



Рис. 3. Геометрия насадки НСУ.

Нефтесборное устройство вводилось в FlowVision подвижным телом. Для сокращения затрат машинного времени использовалась только половина расчетной области по плоскости симметрии.

В качестве начальных значений скорости на входе в расчетную область был задан нормальный вектор 0,5 м/с.

Нефтепродукты задавались в виде фильтра со значением переменной «Концентрация» равным 1. Поскольку углеводороды и вода являются несмешивающимися жидкостями, то применялась «Объемная концентрация».

Начальная сетка представлена на рис. 4.

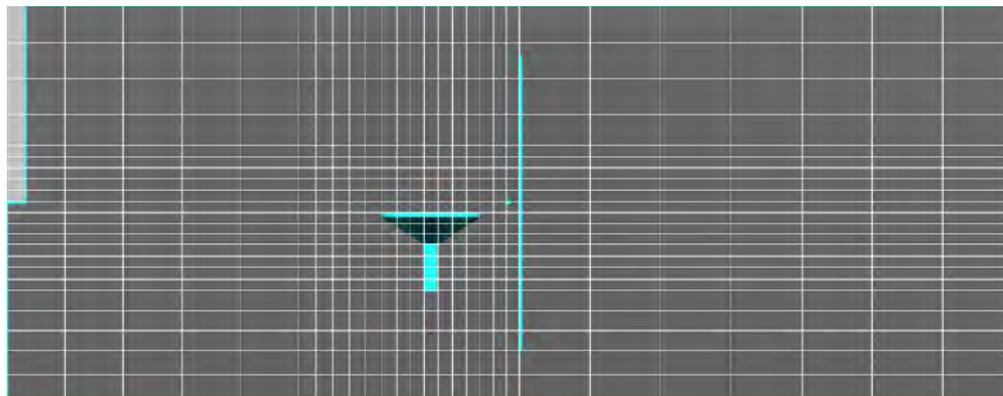


Рис. 4. Начальная сетка.

Разрешение сетки увеличивалось в зоне свободной поверхности и месте расположения насадки. Для измельчения ячеек начальной сетки вводилось 3 объекта адаптации: прямоугольный параллелепипед в области свободной поверхности, а также конус и цилиндр, которые охватывали насадку. Сетка с измельченными ячейками представлена на рис. 5.

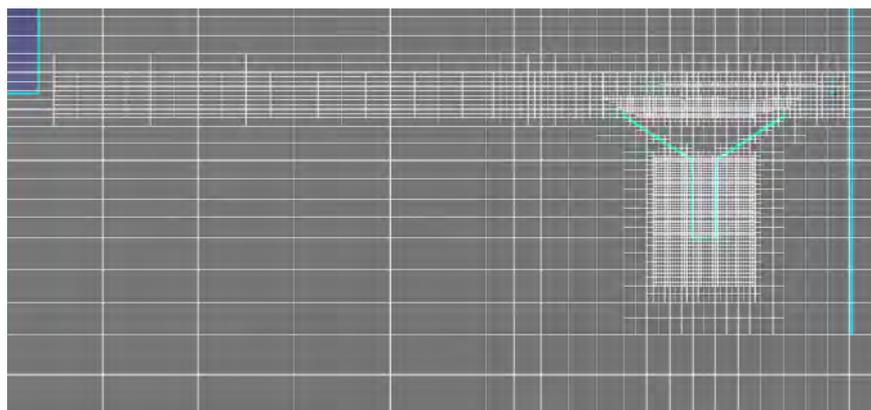


Рис. 5. Расчетная сетка, адаптированная в области свободной поверхности и насадки.

Расчет производился в несколько этапов: сначала рассчитывалось движение воды без нефтепродуктов до установления решения с адаптацией в конусе и цилиндре второго уровня, далее уровень адаптации увеличивался до третьего, и в расчетную область перед боновым ограждением с помощью фильтра вводился необходимый объем нефтепродуктов в виде прямоугольного параллелепипеда.

Для анализа результатов численного моделирования использовалось значение концентрации на выходе из приемной части нефтесборного устройства (рис. 6), которое позволяет оценить эффективность работы комплекса «ПБО-НСУ». Вывод данных осуществлялся с помощью слоя характеристик по переменной «Концентрация», созданного на объекте «супергруппа» по граничному условию «Выход», расположенному на внутренней стороне заглушки НСУ (рис.7).

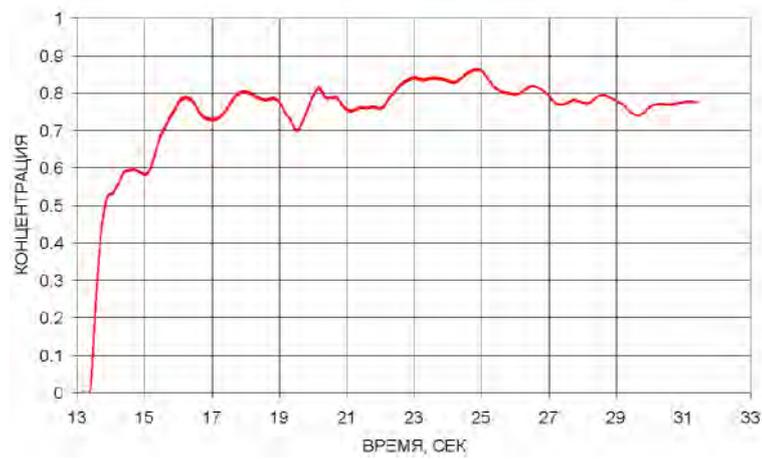


Рис. 6. Изменение концентрации нефтепродуктов в собранной смеси с течением времени.



Рис. 7. Создание супергруппы по граничному условию.

Полученные значения концентрации позволяют решить задачу оптимизации основных параметров нефтесборного устройства и обеспечить наименьшее содержание воды в собранной смеси.