

Е.Ю. Чебан

ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

И.А. Капустин, А.А. Мольков

ИПФ РАН, г. Н. Новгород

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ СУДОВ В СЧАЛЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разлив нефти, возникающий на внутренних водных путях (ВВП), в силу специфики, обусловленной наличием быстрого течения, трудно поддается локализации и ликвидации без принятия превентивных мер, препятствующих распространению нефти от места ее разлива на основное русло реки, что приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС (Н)). Поэтому оперативной целью любых работ по ликвидации разливов нефтепродуктов (ЛРН) на ВВП должно быть предупреждение выхода нефтяного пятна с палубы судна и акватории предприятия на основное русло реки, т.е. перерастания разлива нефти в ЧС (Н).

В то же время разливы нефти на ВВП имеют существенные особенности и отличия, которые позволяют классифицировать разливы по месту возникновения:

- разлив на палубе судна при выполнении операций с нефтью и нефтепродуктами;
- разлив на бункеровочном рейде или акватории порта, баз технического обслуживания флота (БТОФ), судоремонтных заводов (СРЗ) и т.д.;
- разлив на участке русла реки в результате аварии или транспортного происшествия в процессе движения судна.

Локализация и ликвидация разливов в этих случаях возможна только с применением специального оборудования по предупреждению и ЛРН, характерного для каждого места разлива. Использование оборудования ЛРН должно начинаться с палубы судна (палубный комплект) для предотвращения попадания нефти за борт. Следующим этапом должно стать предупреждение распространения нефти за пределы рейда или акватории порта с помощью комплекта по борьбе с разливами нефти (комплекта БРН), установленного заблаговременно до начала выполнения грузовых или бункеровочных операций. В случае выхода нефтяного пятна за пределы рейда или акватории порта, оно должно быть задержано на заранее определенном и оборудованном рубеже локализации, оснащенном необходимыми специальными техническими средствами ЛРН.

Однако в настоящее время отсутствуют требования к расчетным методикам определения состава, конструкции и характеристик изделий как в комплекте БРН (наличие которого на судах регламентируется «Техническим регламентом о безопасности объектов внутреннего водного транспорта»), так и к характеристикам, составу и конструкции оборудования ЛРН вообще и в первую очередь к технологиям, позволяющим предотвратить распространение разлива за пределы бункеровочного рейда или акватории, т.е. перерастания его в ЧС(Н).

Очевидно, что выбор той или иной технологии предупреждения ЧС должен основываться на гидродинамических особенностях потоков вблизи судов, выполняющих технологические операции с нефтью на бункеровочном рейде, акватории ССРЗ и т.д. При этом целесообразно заранее создать такие условия, которые бы приводили к однозначно прогнозируемому распространению нефти в области с заранее известными гидродинамическими условиями, для которых может быть предусмотрено специальное оборудование, характеристики которого исключают унос нефти. И если для разлива на основном русле ВВП осуществить такого рода операции крайне сложно из-за неустановившегося турбулентного движения речного потока, то для судов осуществляющих технологические операции с нефтью это вполне осуществимо ввиду ограниченности акватории.

Для создания благоприятных условий для локализации и ликвидации разливов нефти необходимо выполнить комплекс мер как технического, так и организационного характера, основанных на создании или учете гидродинамических особенностей потока в месте расположения судов, которые зависят, от размеров и формы корпусов судов участвующих в технологических операциях, а также скорости течения в месте их расположения. Параметры движения нефти, при таком обтекании будут определяться турбулентным характером движения жидкости в кормовой части счаленных судов.

Роль целого ряда факторов, в частности, влияние неоднородных течений и поверхностного волнения, влияющих на эволюцию нефтяной пленки, особенно вблизи различных объектов, в том числе корпусов судов, исследованы пока недостаточно. Важность учета волн и течений в динамике нефтяных пленок связана с необходимостью решения проблемы локализации загрязнений на водной поверхности ВВП, в силу наличия высоких скоростей течений и неоднородности поля скоростей, а также турбулентности, неоднородности глубины и т.д.

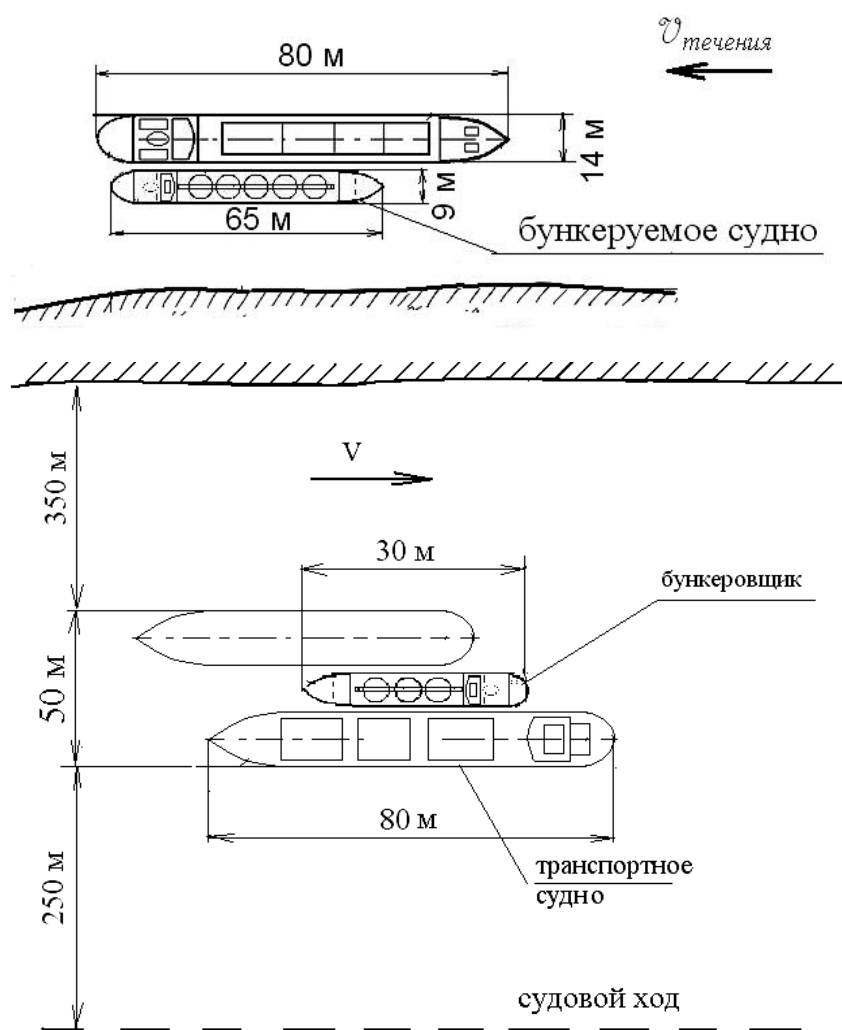


Рис. 1. Некоторые возможные варианты расположения судов при выполнении грузовых (технологических) операций с нефтепродуктами

Ранее при анализе проблемы загрязнения водной поверхности нефтепродуктами строились в основном модели растекания пленок по поверхности безграничной жидкости. Такие модели развивались в целом ряде работ. Так, в частности, в [4] предложены три основных режима растекания – инерционный, гравитационно-вязкий и режим поверхностного натяжения. В дальнейшем в [5] показано существование переходного инерционно-вязкого режима, в [6] в одномерном приближении в рамках уравнений мелкой воды, показано, что режимы в приведенной выше классификации являются асимптотиками более сложных решений. Теоретические модели растекания пленок, а также результаты экспериментов можно также найти в [6,8,9] и цитированной там литературе.

Весьма существенно изменчивость течений проявляется в области ближнего кильватерного следа от корпуса одиночного судна или нескольких судов (см. [7]). Наличие двух и более рядом расположенных судов может существенно изменить структуру корабельного следа по сравнению с одиночным судном (см., например, [10]).

При этом основное внимание уделялось исследованию сил, с которыми действуют находящиеся рядом суда, или характеру потока между корпусами при относительно большом расстоянии между ними, как, например, в случае катамарана. В то же время при проведении грузовых и прочих операций с нефтепродуктами, расстояние между судами составляет величину от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров, а сами суда могут быть различных размеров и иметь разные обводы. При обтекании расположенных рядом корпусов судов между ними могут возникать поверхностные волны, которые в поперечном к корпусам направлении должны иметь характер стоячих волн. Такие стоячие волны, согласно лабораторным экспериментам [11], индуцируют вертикальные циркуляционные течения и, очевидно, могут приводить к дополнительному вертикальному переносу нефтепродуктов вглубь воды и уносу пленки под корпуса судов или оборудования ЛРН. Кроме того, при обтекании расположенных рядом корпусов возникает несимметричный кильватерный след, вызванный смешением двух потоков от корпусов разных форм и размеров [12]. При этом образуется сложная структура поля турбулентных скоростей, которые также будут сильно влиять на режим перемешивания нефтяных пленок.

В настоящее время динамика нефтяных пленок в поле турбулентных и волновых движений, возникающих при обтекании расположенных рядом корпусов судов, остается слабо изученной. В то же время, очевидно, что информация о механизмах распределения пленок в кильватерных следах имеет важное значение для решения инженерной задачи определения места расположения и характеристик оборудования для локализации и сбора нефтепродуктов с поверхности воды вблизи судна. Это вызывает необходимость исследования гидродинамических характеристик потоков, возникающих при обтекании корпусов судов в сале многофазным потоком, для разработки методики определения состава и характеристик технических средств комплекта БРН.

Таким образом, целью работ в данном направлении должно быть исследование вертикального и горизонтального переноса нефтепродуктов (пленки + эмульсии) в поле сложных волновых и турбулентных движений, возникающих при обтекании корпусов двух судов в сале с целью развития методов локализации и ликвидации разливов нефти при выполнении технологических операций с нефтью.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить структуру течений в кильватерных следах и корабельных волн между счаленными судами в лабораторных условиях;
- проанализировать характеристики кильватерного и волнового следов за корпусами счаленных судов с помощью численного моделирования;
- исследовать характеристики вертикального перемешивания пленок в волновом и кильватерном следах вблизи корпусов судов;
- выполнить проверку результатов лабораторного и численного моделирования в натуральных условиях.

Для решения этих задач должны быть выполнены следующие работы:

1. разработана методика проведения лабораторных экспериментов в опытовом бассейне, выполнено оснащение установки необходимой измерительной аппаратурой.
2. проведены лабораторные эксперименты по изучению структуры течений в кильватерных следах моделей судов в сале.
3. исследованы структуры корабельных волн в случае счаленных моделей судов.
4. выполнено численное моделирование волнового и кильватерного следов;
5. проведение лабораторные эксперименты по исследованию растекания органических пленок и их вертикального перемешивания в волновом и кильватерном следе вблизи буксируемых моделей судов.
6. исследовано затухание поверхностных волн на слое жидкости в кильватерном следе судов в случае наличия органических пленок.
7. выполнена проверка результатов лабораторного и численного моделирования в натуральных условиях.
8. разработка рекомендации по локализации с судов нефтяных загрязнений.

Лабораторные эксперименты будут проводиться в большом опытовом бассейне Волжской государственной академии водного транспорта (ВГАВТ), с использованием динамометрической и гравитационной буксировочных систем, предназначенных для испытаний моделей судов различных типов. В ходе экспериментов в опытовом бассейне будут исследоваться поля скорости в следах за движущимися моделями судов в широком диапазоне скоростей с использованием акустического velocиметра ADV SONTEK 16 MHz. Структура корабельных волн будет измеряться с использованием системы струнных волнографов и видеосъемки. Эксперименты будут проводиться для различных скоростей буксировки моделей и различных расстояний между ними.

Численное моделирование будет выполняться на программных комплексах анализа движения жидкости и газа [13–16]. Моделирование движения жидкости с использованием CFD основывается на численных методах решения уравнений Навье-Стокса с учетом моделей турбулентности, и которые неоднократно использовались для решения задач в области корабельной гидродинамики, в том числе моделирования корабельных волн. Предполагается, что в результате численного моделирования ходе будут получены поля скоростей в кильватерных следах судов и структура поля корабельных волн между корпусами различной формы.

С целью исследования динамики органических пленок в системах волновых и турбулентных следов будут проведены специальные лабораторные и натурные эксперименты, предполагающие измерения поля скоростей, разливы поверхностно-активных веществ вблизи корпусов близко расположенных (счаленных) судов, взятие поверхностных проб из различных частей следа с использованием сеточной методики, с последующим анализом характеристик проб методом параметрических волн.

Основным результатом работы, станет основанное на данных лабораторных и численных экспериментов, описание режимов перемешивания и переноса нефтепродуктов вблизи корпусов близко расположенных судов. Будут разработаны рекомендации по локализации сбрасываемых с этих судов нефтяных загрязнений.

Работа выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № НК 14-08-31517/14).

Список литературы:

- [1] Oil spill science and technology. (ed. M. Fingas). Elsevier Inc. 2011. 1156 p.
- [2] Мони́н А.С., Красицкий В.П. Явления на поверхности океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 376 с.
- [3] Scott J.C., Thomas N.H. Sea surface slicks – surface chemistry and hydrodynamics in radar remote sensing, in 'Wind-over-wave couplings. Perspectives and prospects', Eds. Sajjadi, Thomas and Hunt, pp. 221–229, Clarendon Press, Oxford 1999.

- [4] Fay J.A., The spread of oil slicks on a calm sea. In: Hoult, D.P. (ed.), Oil on the Sea. Plenum New York (1969) pp. 53–63
- [5] Unni Hajime, Inone Ichiro. Initial behavior of oil slick. Journal Chem. Eng. Jap., 1978, vol. 11, N1, p. 13–18.
- [6] Коротаев Г.К., Кровотынцев В.А. Интегральная модель динамики нефтяного разлива.
- [7] Ермаков С.А., Капустин И.А. Экспериментальное исследование расширения турбулентного следа надводного судна. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 4. с. 565–570.
- [8] Журбас В.М. Основные особенности распространения нефти в море. // Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа, М.: ВИНТИ. 1978. т. 12. с. 144–159.
- [9] Phillips W.R.C. On the Spreading Radius of Surface Tension Driven Oil on Deep Water. // Applied Scientific Research 57: 67–80, 1997. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- [10] Wu Jiankang a, T.S. Lee b,*, C. Shu Numerical study of wave interaction generated by two ships moving parallelly in shallow water b Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 190 (2001) 2099±2110.
- [11] Ермакова О.С., Ермаков С.А., Мальков Ю.А., Сергеев Д.А., Троицкая Ю.И. Исследование нелинейных течений, возбуждаемых стоячими поверхностными волнами в жидкости: лабораторный эксперимент. Изв. РАН ФАО. 2009.Т 45. №6. С. 846–853.
- [12] Numerical study of the hydrodynamic interaction between ships in viscous and inviscid flow José Miguel Ahumada Fonfach (PhD thesis).
- [13] Использование программного комплекса «FlowVision» для разработки методики оценки эффективности нефтесборного бонового ограждения // «САПР и графика», – Москва: Изд. «КомпьютерПресс», 2007. – С. 92–96.
- [14] Численное моделирование обтекания нефтесборного бонового ограждения с применением программного комплекса «FlowVision». // Вестник ВГАВТ: Надежность и ресурс в машиностроении. – Н.Новгород: Изд. ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2005. – С. 130–139.
- [15] Chang-Fa An. Case study: CFD analysis helps develop up to 4X faster oil containment boom, Journal articles by Fluent software users, JA127, DaimlerChrysler Technology Center, Auburn Hills, MI, 2001.
- [16] Чебан Е.Ю., Смирнова М.Л. Особенности использования различных модулей программного комплекса FlowVision при моделировании обтекания технических средств локализации и ликвидации разливов нефти // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Инженерные системы 2009», серия «Прикладные исследования в механике» Т1, – М.: Изд. МФТИ, 2009. – С. 81.

В.Л. Этин, Е.А. Лукина, С.Г. Митрошин, Е.М. Сироткин
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОРАБЕЛЬНЫХ ВОЛН ОТ СУДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

При перевозке высокотарифицированных грузов на внутренних водных путях такие как контейнеры и автопоезда необходимо обеспечить более высокие скорости движения судна до 30 км/ч. В настоящее время практически все самоходные грузовые речные суда и суда смешанного плавания имеют скорость около 20 км/ч.

Движение судов с высокими скоростями сопровождается значительным волнообразованием, что, в свою очередь, приводит к увеличению сопротивления движению судна, а также к негативному энергетическому воздействию судна на внутренние водные пути. В связи с этим может быть поставлена задача обеспечения высокой скорости большегрузных накатных судов при допустимом волнообразовании. В качестве критерия допустимой скорости большегрузных накатных судов на настоящем этапе целесообразно выбрать ту практически достижимую и экономически обоснованную скорость, при которой их волнообразование не будет превышать волнообразование от эксплуатирующихся в настоящее время судов.