

DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-7-13

УДК 628.196:502.5(26):349.6

© Коллектив авторов, 2021

Расчет технических характеристик судов технического флота, задействованных в обеспечении безопасности морских объектов нефтегазового комплекса



С.В. Маценко,
канд. техн. наук, ген. директор,
msv@ujniimf.ru



В.М. Минько,
д-р техн. наук, проф., зав.
кафедрой



А.А. Кошелев,
начальник отдела



В.Ю. Пивень,
инженер-эколог

АО «ЮЖНИИМФ»,
Новороссийск, Россия

ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия

АО «ЮЖНИИМФ», Новороссийск, Россия

Нарушение правил промышленной безопасности в ходе эксплуатации морских объектов добычи, хранения и транспортировки углеводородного сырья приводит в подавляющем большинстве случаев к загрязнению морской среды нефтью и ее компонентами. Работы по локализации и ликвидации таких загрязнений проводятся с помощью судов технического флота и боновых заграждений. При разработке планов ликвидации аварийных ситуаций на таких объектах требуется расчетное определение технических характеристик судов и боновых заграждений, достаточных для выполнения планируемых мероприятий. Изложены основные расчетные принципы определения буксировочной мощности судов технического флота, задействованных при локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов методами траления.

Ключевые слова: разливы нефти и нефтепродуктов, локализация, суда технического флота, метод траления, боновые заграждения, буксировка, мобильный ордер, тяговое усилие, коэффициент формы ордера, якорные системы.

Для цитирования: Маценко С.В., Минько В.М., Кошелев А.А., Пивень В.Ю. Расчет технических характеристик судов технического флота, задействованных в обеспечении безопасности морских объектов нефтегазового комплекса // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 1. — С. 7–13. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-7-13

Режимы перемещения боновых заграждений

В соответствии с общепринятой мировой и отечественной практикой [1, 2] различают два режима перемещения боновых заграждений (БЗ) в составе мобильного ордера. В первом случае цель перемещения — доставка БЗ к месту проведения локализации. Такой режим условно называют буксировкой. В режиме буксировки конфигурация БЗ должна быть такой, чтобы оно оказывало наименьшее гидравлическое сопротивление движению. Обычно БЗ к месту установки буксируют «волоком», когда оно вытянуто вдоль линии движения.

При этом первое (ведущее) судно осуществляет непосредственно буксировку, а задачей второго (ведомого) судна является удержание БЗ в кильватере ведущего судна. Скорость буксировки обычно составляет 4–6 узлов и зависит от мощности судовой

энергетической установки (СЭУ) ведущего судна, его маневренности, практической подготовки экипажа, длины буксируемого БЗ и других факторов.

В режиме траления, который задействуется после доставки БЗ и начала работы рубежа локализации, свободные концы БЗ удерживаются с помощью судов (мобильный ордер) или с применением якорных устройств (стационарный ордер). Суда, к буксирным устройствам которых прикреплены свободные концы БЗ, должны выполнять траление с определенной скоростью относительно воды. Обычно скорость траления составляет 2–3 узла.

Конфигурация БЗ в режиме траления существенно зависит от практических задач, которые решаются на данном этапе проведения аварийно-спасательной операции, а также от действующих погодных условий. Наиболее распространенными являются мобильные ордера U-, J- и V-образных configura-

ций. Назначение и характеристики задействованных судов в различных конфигурациях ордеров отличаются, что должно учитываться в расчетах сил и средств и при моделировании растекания нефти и нефтепродуктов [3].

Как известно, конструкция БЗ всегда включает натяжную цепь или трос, прикрепленный через соединитель к внутренней цепи или тросу балласта (натяжения) (см. рисунок). При тралении натяжная цепь подсоединяется к буксирной браге, тяговое усилие, возникающее на последней, равномерно распределяется по всей длине внутренней цепи. Производители БЗ в характеристиках обычно указывают предельное тяговое усилие, которое может выдержать внутренняя цепь или трос (так называемое разрывное усилие). При определении предельной скорости траления необходимо учитывать установленное производителем разрывное усилие. Тем не менее предельная скорость траления обычно назначается не более трех узлов, даже если это усилие не превышено при тралении БЗ с такой скоростью.



▲ **Отработка построения J-образных мобильных ордеров для локализации нефти методом траления в ходе тренировочных учений на Морском терминале АО «КТК-Р»**
 ▲ **Development of J-shaped mobile orders for oil localization by trawling during training exercises at the Marine terminal of CPC-R JSC**

Теоретические основы расчета натяжения бонув

Рассмотрим факторы и внешние силы, действующие на бон при тралении. В общем случае для данной операции применимы физические законы движения плавающего тела. Предположим, что траление выполняется мобильным порядком в составе двух буксирующих судов и участка бонового заграждения длиной L_b .

В связи с невысокой скоростью траления на малых ходах буксирующих судов мобильный тралящий ордер в течение короткого промежутка времени (обычно не более 5 мин) выходит на режим установившегося движения, при котором сумма буксировочных мощностей СЭУ двух судов затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления, а также сопротивления ветровому и волновому воздействиям при поступательном движении объектов.

В соответствии с [4] гидравлическое сопротивление трения зависит от характера обтекания объекта морской водой, площади парусности подводной части объекта и скорости траления. С учетом раскрытия выражений для числа Рейнольдса и динамической вязкости можно записать:

$$R_{\tau i} = \frac{1}{2} \rho_w \zeta_i (\text{Re}_i) S_{\text{п.в } i} v_{\text{кор}}^2 = \frac{\rho_w^2}{2\mu_w} \zeta_i S_{\text{п.в } i} l_i v_{\text{кор}}^3, \quad (1)$$

где ρ_w — плотность воды, кг/м³; ζ — коэффициент сопротивления трения i -го объекта; $S_{\text{п.в } i}$ — подводная поверхность i -го объекта, граничащая с жидкостью, м²; Re_i — число Рейнольдса применительно к характеру обтекания при движении i -го объекта, $\text{Re}_i = v_{\text{кор}} l_i / \nu_w$; $v_{\text{кор}}$ — откорректированная с учетом поверхностного течения скорость мобильного ордера, м/с; l_i — характерный линейный размер i -го объекта, м; ν_w — кинематическая вязкость воды, м²/с; μ_w — динамическая вязкость воды, Па·с, $\mu_w = \nu_w \rho_w$.

Для определения гидравлического сопротивления давления i -го объекта мобильного тралящего ордера может быть применена формула:

$$R_{pi} = \frac{1}{2} \rho_w (\zeta_{\text{ф } i} + \zeta_{\text{в } i}) S_{\text{п.в } i} v_{\text{кор}}^2, \quad (2)$$

где $\zeta_{\text{ф } i}$ — коэффициент сопротивления формы; $\zeta_{\text{в } i}$ — коэффициент волнового сопротивления.

Аэродинамическое сопротивление движению определяется воздействием попутной мобильному ордеру составляющей ветра на надводные части движущихся объектов мобильного ордера и для рассматриваемых объектов может быть найдено как

$$R_{wi} = \frac{1}{2} \rho_w \zeta_{wi} S_{\text{н.в } i} [v_w \cos(\theta_{\text{и.к}} - \theta_w)]^2, \quad (3)$$

где ρ_w — плотность воздуха, кг/м³; ζ_{wi} — коэффициент сопротивления воздуха i -го объекта, зависящий от формы его надводной части; $S_{\text{н.в } i}$ — надводная поверхность i -го объекта, граничащая с воздухом, м²; v_w — скорость ветра, м/с; $\theta_{\text{и.к}}$ — истинный курс мобильного ордера, градус; θ_w — направление вектора действия ветра, градус.

Несмотря на то что характер зависимости $R_i = f(v)$ может быть выражен как кубическая функция, с учетом выражений для определения сопротивления формы, ветрового и волнового сопротивлений, для малых скоростей тралящего бонового ордера характер зависимости суммарного сопротивления от скорости движения ордера $R = f(v)$ может рассматриваться как квадратичный. Исходя из физики процесса представляется, что суммарное сопротивление движению каждого объекта мобильного ордера прямо пропорционально его площади и квадрату его скорости, зависит от формы объекта и внешних условий.

Остановка тралящего ордера.

Сила остаточного натяжения формы

При остановке мобильного тралящего ордера (остановке двигателей буксирующих судов), при наличии поверхностного течения весь ордер в составе судов и бонов начнет дрейф в направлении действия поверхностного течения. Представим идеальный случай, когда ветер отсутствует, а скорость течения на глубине 3–5 м (более максимальной осадки судов мобильного ордера) совпадает по вектору и модулю с поверхностным течением. В этом случае к судам и бонам применимы уравнения поступательного неустановившегося движения плавающего тела в жидкости. В общем виде, согласно [5], данное уравнение может быть записано следующим образом:

$$F_{\tau 0i} = m_i \frac{dv_0}{dt} + R_{0i} + R_{ki}, \quad (4)$$

где $F_{\tau 0i}$ — движущая сила течения для i -го объекта, Н; $m_i \frac{dv_0}{dt}$ — приращение кинетической энергии объекта вследствие действия течения, Н; v_0 — начальная скорость движения связанных объектов после остановки двигателей; R_{0i} — гидродинамическое сопротивление движению i -го объекта при скорости v_0 , Н; R_{ki} — дополнительное сопротивление, обусловленное движением присоединенной массы воды i -го объекта, Н.

Рассмотрим поочередно каждую составляющую уравнения (4). Первое слагаемое существенно зависит от массы объекта, вследствие чего в начальный период времени для бонов, имеющих существенно меньшую массу по сравнению с буксирующими судами, меньшая часть энергии будет затрачиваться на преодоление инерции и придание ускорения. Для бонов первое слагаемое будет меньше.

Гидродинамическое сопротивление существенно зависит от площади подводной поверхности, перпендикулярной направлению течения, а также формы этой поверхности. Очевидно, что для буксирующих судов, имеющих меньшую площадь подводной поверхности с обводами корпуса, снижающими гидравлическое сопротивление, данная величина будет меньше. Для бонов второе слагаемое будет больше.

Третье слагаемое выражает условную величину, отражающую некоторое увеличение массы объекта при его движении в жидкой среде и зависящую от площади и формы подводной части объекта. Вследствие наличия большей площади поверхности у бонов и отсутствия у них обтекаемых обводов корпуса, данная величина для бонов будет больше.

Наконец, $F_{\tau 0i}$ для каждого из объектов существенно зависит от площади подводной поверхности и, в соответствии с п. 6.5 [6], может быть определена следующим образом:

$$F_{\tau 0i} = C_i \frac{\rho_{\text{в}}}{2} S_{\text{п.в.}i} v_c^2, \quad (5)$$

где C_i — обобщающий коэффициент силы воздействия течения, определяемый с учетом соотношения осадки плавучего объекта и глубины воды; v_c — скорость течения, м/с.

С учетом меньшей площади парусности у буксирующих судов движущая сила течения для бонов будет больше.

Таким образом, в начальное время после остановки главных двигателей буксирующих судов, вследствие большой разницы между значением силы воздействия течения на объекты мобильного ордера, а также разницы между отдельными составляющими указанной силы, величина приращения перемещения буксирующих судов и боновых заграждений в единицу времени будет различна. В связи с тем, что объекты мобильного ордера связаны между собой механически, данная разница приращений перемещения даже при остановленных главных двигателях судов будет формировать некоторое натяжение буксирующего троса.

Величина данного натяжения, как следует из анализа составляющих уравнения (4), зависит в большей степени именно от формы и площади подводной поверхности боновых заграждений. Поэтому назовем эту величину «силой остаточного натяжения формы» и обозначим как $z_{\text{ф}}$. В принятых ранее условиях идеального случая с течением времени величина $z_{\text{ф}}$ будет снижаться по мере ускорения объектов и перехода их в режим установившегося движения и через какое-то время обратится в 0. После перехода в установившийся режим все объекты мобильного ордера будут дрейфовать в направлении действия течения с его скоростью, а значения вкор и суммарного гидравлического сопротивления также обратятся в 0.

В реальных условиях на $z_{\text{ф}}$ влияет множество факторов, помимо формы подводной поверхности объектов: дифференциация течений по глубине моря, ветровое и волновое воздействия и пр. Вследствие разнонаправленности указанных факторов, значение $z_{\text{ф}}$ в реальной обстановке не может обратиться в 0. Поэтому значение натяжения буксирующего троса бонового заграждения в составе мобильного ордера может быть выражено уравнением:

$$F_{\tau} = R_3 + z_{\text{ф}}, \quad (6)$$

где R_3 — сила сопротивления движению бонового заграждения (объект № 3) в составе мобильного тралящего ордера, Н; $z_{\text{ф}}$ — сила остаточного натяжения формы, Н.

Наличие ненулевого значения $z_{\text{ф}}$ в реальной обстановке учтено при экспериментальных исследованиях натяжения внутренней цепи (троса) бонов (рассмотрено ниже).

Основные результаты

экспериментального исследования.

Обработка результатов эксперимента

Для уточнения порядка расчета физических величин, возникающих при буксировке и тралении

БЗ, в рамках выполнения работы [7] для дополнения и корректировки [8, 9] при участии авторов статьи проведено экспериментальное исследование функциональных зависимостей тягового усилия, возникающего в месте крепления буксировочного троса БЗ при его работе в составе мобильного ордера, от скорости буксировки.

Рабочая гипотеза натурального эксперимента. Функциональная зависимость тягового усилия от скорости буксировки описывается функцией вида:

$$F_T = L_B z_{\text{трал}} [H_w (q v_{\text{кор}})^2 + H_a (b v_w)^2] + z_{\text{ф}}, \quad (7)$$

где F_T — тяговое усилие, возникающее на буксирной браге БЗ при тралении, Н; $z_{\text{трал}}$ — коэффициент, учитывающий ширину захвата БЗ при работе в составе рубежа локализации, $z_{\text{трал}} = L_{\text{трал}} / L_B$; $L_{\text{трал}}$ — ширина тралящего ордера (кратчайшее расстояние между направлениями движения буксируемых судов), м; H_w , H_a — высота части бонового заграждения соответственно погруженной и надводной, м; q , b — экспериментальные коэффициенты, зависящие от конструктивных особенностей буксируемых боновых заграждений; v_w — скорость ветра по направлениям, м/с.

Цели натурального эксперимента: проверка рабочей гипотезы и отыскание вышеуказанных экспериментальных коэффициентов.

По условиям эксперимента проводилась контролируемая буксировка опытных образцов (участков) БЗ. В качестве буксировщиков использовались самоходные плавсредства, способные выполнять функции бонопостановщика (всего две единицы).

В ходе эксперимента для ленточных бонов постоянной плавучести (образцы 1-1 и 2-1) получены следующие уравнения регрессии:

$$Y = a + bx + cx^2 = 4,25 - 4,12x + 5,16x^2;$$

$$Y = a + bx + cx^2 = 2,96 - 4,49x + 7,99x^2.$$

В ходе обработки экспериментальных данных, согласно рекомендациям [10, 11], найдена следующая зависимость для ленточных бонов постоянной плавучести:

$$F_T = L_B z_{\text{трал}} [H_w (0,7 v_{\text{кор}})^2 + H_a (0,03 v_w)^2] + 1,7.$$

Для цилиндрических газонаполняемых бонов (образцы 3-1 и 3-2) получены следующие уравнения регрессии:

$$Y = a + bx + cx^2 = 3,41 + 5,85x + 5,6x^2;$$

$$Y = a + bx + cx^2 = 2,71 + 9,01x + 8,44x^2.$$

В ходе обработки экспериментальных данных определена следующая зависимость для цилиндрических газонаполняемых бонов:

$$F_T = L_B z_{\text{трал}} [H_w (0,7 v_{\text{кор}})^2 + H_a (0,03 v_w)^2] + 6.$$

Полученные экспериментальные зависимости подтверждают ключевые теоретические принципы, рассмотренные в разделе «Теоретические основы расчета натяжения бонов». Анализ зависимостей показывает, что в них присутствуют основные составляющие уравнения сопротивления поступательному движению плавающих объектов:

гидравлическое сопротивление, выражаемое формулами (1), (2);

аэродинамическое сопротивление, выражаемое формулой (3);

сила остаточного натяжения формы $z_{\text{ф}}$, выражаемая формулой (6).

При проведении экспериментальных исследований во всех случаях движение мобильного ордера осуществлялось в направлении, противоположном направлению скорости ветра.

Полученные в результате исследований формулы для расчета тягового усилия и их применение

Обобщая вышеизложенное, на основании анализа результатов экспериментальных исследований авторами предложено определять тяговое усилие, возникающее при тралении бонов в составе мобильного тралящего ордера при известных или заданных внешних условиях, по нижеприведенной эмпирической зависимости:

$$F_T = L_B z_{\text{трал}} \{ H_w (q v_{\text{кор}})^2 - H_a [b v_w \cos(\theta_{\text{и.к}} - \theta_w)]^2 \} + z_{\text{ф}}, \quad (8)$$

где θ — экспериментальный коэффициент корректировки скорости движения мобильного ордера, $\theta = 0,7$; b — экспериментальный коэффициент сопротивления воздуха, учитывающий форму надводной части БЗ, $b = 0,03$; $z_{\text{ф}} = 1,7$ Н — для ленточных бонов; $z_{\text{ф}} = 6$ Н — для цилиндрических бонов.

При проведении расчета тягового усилия, необходимого для траления БЗ при неизвестных внешних условиях, принимается наиболее неблагоприятный случай, когда направление движения мобильного ордера противоположно направлению скорости ветра, а скорость буксировки является максимальной и составляет три узла относительно воды. В этом случае формула (8) преобразуется к виду:

$$F_T = L_B z_{\text{трал}} [1,167 H_w - H_a (0,03 v_{\text{max } w_{\text{ср}}})^2] + z_{\text{ф}}, \quad (9)$$

где $v_{\text{max } w_{\text{ср}}}$ — скорость ветра, повторяемость превышения которой составляет менее 5 % случаев (определяется из справки территориального органа Росгидромета или иных фондовых и справочных данных), м/с.

Перемещение бонов при тралении выполняется обычно двумя судами, поэтому необходимое тяговое

усилие должно создаваться совместной работой двух энергетических установок. Учитывая рекомендацию [1, 12], для расчета требуемой буксировочной мощности судов с двигателями классического типа может быть применена следующая эмпирическая зависимость:

$$N_c = k_{\phi,0}(11,5 + 55,1F_T), \quad (10)$$

где N_c — буксировочная мощность судна, необходимая для обеспечения тягового усилия F_T , кВт; $k_{\phi,0}$ — коэффициент формы ордера.

При тралении бонов с U-образной конфигурацией мобильным порядом в составе двух судов тяговое усилие распределяется равномерно между СЭУ участвующих судов, следует принимать $k_{\phi,0} = 0,5$. Для судна, выполняющего траление U-образного мобильного ордера с применением устройств типа «гидравлическое крыло», $k_{\phi,0} = 1$.

В свою очередь J-образный мобильный тралящий ордер применяется в том случае, когда необходимо обеспечить одновременное решение задач по локализации разлива и сбора нефти с помощью скиммера, устанавливаемого с одного из судов. В этом случае участвующие суда следует разделять на ведущее (находится впереди ордера по ходу движения и решает основную задачу по созданию тягового усилия для перемещения линии БЗ) и ведомое (решает задачу по формированию боновой «ловушки» и сбору нефти с помощью скиммера). При J-образной конфигурации БЗ нагрузка между ведущим и ведомым судном распределяется неравномерно: для ведущего судна следует принимать $k_{\phi,0} = 0,8$, для ведомого судна $k_{\phi,0} = 0,5$.

Для ведущих судов в V-образном мобильном ордере следует принимать $k_{\phi,0} = 1$. Для ведомого судна $k_{\phi,0} = 0$, отсутствуют требования по мощности в части создания тягового усилия при тралении.

В ходе работ по ликвидации разливов нефти на морской акватории, кроме мобильных ордеров, могут применяться стационарные с якорным креплением свободного конца (или обоих свободных концов) БЗ. Установка на морской акватории рубежей локализации, состоящих из линий БЗ существенной длины, может привести к превышению разрывных усилий, предусмотренных изготовителем, и разрыву БЗ в процессе установки или последующей работы. В этой связи для каждого i -го БЗ необходимо вычислять тяговое усилие, возникающее на линии БЗ вследствие действия ветра со скоростью, типичной для рассматриваемого морского района. Для этого применяется полученная ранее формула (8), уточненная в ходе экспериментальных исследований и приведенная к виду:

$$F_{Ti} = L_{vi} z_{\text{трал}i} = [H_{wi}(0,7v_{\max \text{ ccp}})^2 - H_{ai}(0,03v_{\max \text{ wcp}})^2] + z_{\phi,i}, \quad (11)$$

где $v_{\max \text{ ccp}}$ — скорость дрейфового течения, формируемого наибольшей из средних скоростей ветра по направлениям, м/с, $v_{\max \text{ ccp}} = 0,03v_{\max \text{ wcp}}$.

Полученное значение F_{Ti} для каждого рубежа БЗ сравнивается с указанным изготовителем разрывным усилием БЗ (по паспорту изделия) $F_{\max i}$. В случае превышения этого значения при $F_{Ti} > F_{\max i}$ на рассматриваемом рубеже локализации вместо одной линии БЗ длиной L_{vi} необходимо применять две линии БЗ длиной $L_{vi}/2$ каждая. При этом для удержания дополнительной второй линии необходимо использовать дополнительные суда или якорные системы.

Заключение

В результате выполненных теоретических исследований, дополненных экспериментальными данными, полученными в условиях реального применения мобильных тралящих ордеров, и их последующей обработки выведены уравнения зависимостей силы натяжения буксировочного троса от скорости мобильного ордера. Данные уравнения могут быть применены для расчета буксировочной мощности судов мобильного ордера, а также для определения параметров якорной системы при удержании бонового заграждения в стационарных ордерах. Полученные расчетным путем значения используются для обоснования технических характеристик судов технического флота, задействованных в ходе мероприятий по ликвидации аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса.

Список литературы

1. Применение боновых заграждений при ликвидации разливов нефти. Технический информационный документ. URL: https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP_3_2011_RU_Use_of_booms_in_oil_pollution_response.pdf (дата обращения: 20.10.2020).
2. Техника и технология локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: справ./ И.А. Мерициди, В.Н. Ивановский, А.Н. Прохоров, И.В. Ботвиенко. — СПб: Проффессионал, 2008. — 824 с.
3. Моделирование разливов нефти и нефтепродуктов/ отв. ред. С.В. Маценко, Л.Г. Дунец// Государственное регулирование в области предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях: материалы науч.-практ. семинара. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. — С. 34–36.
4. Алферьев М.Я. Гидромеханика. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Речной транспорт, 1961. — 328 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учеб. пособ. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. — 6-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с.
6. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНИП 2.06.04–82*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/553863434> (дата обращения: 20.10.2020).
7. Маценко С.В. Разработка и экспериментальное обоснование «Методических рекомендаций по определению достаточного состава сил и средств для ликвидации разли-

вов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях»: отчет о НИР рег. № НИОКТР АААА-А16-116051010006-1, рег. № ИКРБС АААА-Б16-216081760113-0. — Новороссийск: АО «ЮжНИИМФ», 2016. — 119 с.

8. *Маценко С.В., Волков Г.Г., Волкова Т.А.* Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях. Расчет достаточности сил и средств: метод. рекомендации. — Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. — 78 с.

9. *Маценко С.В., Волков Г.Г., Волкова Т.А.* Особенности расчета количества сил и средств, необходимых для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях// Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 2 (60). — С. 21–28.

10. *Степнов М.Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справ. — М.: Машиностроение, 1985. — 232 с.

11. *Монсик В.Б., Скрынников А.А.* Вероятность и статистика: учеб. пособие. — Moscow: БИНОМ. Лаборатория знания, 2013. — 381 с.

12. *Górski Z., Giernalczyk M.* Method for Determination of Energy Demand for Main Propulsion and Onboard Electric Power for Modern Harbour Tug Boats by Means of Statistics// Journal of KONES. Powertrain and Transport. — 2012. — Vol. 19. — № 1. — P. 147–154.

mvs@ujniimf.ru

*Материал поступил в редакцию 28 октября 2020 г.
Доработанная версия — 3 декабря 2020 г.*

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2021, № 1, pp. 7–13.
DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-7-13

Calculation of Technical Characteristics of the Technical Fleet Vessels Involved in Ensuring Safety of the Offshore Facilities of Oil and Gas Complex

Matsenko S.V., Cand. Sci. (Eng.), Gen. Dir., mvs@ujniimf.ru
SSRDIMF Co, Novorossiysk, Russia

V.M. Minko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department
Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

Koshelev A.A., Head of the Department

Piven V.Yu., Environmental Engineer

SSRDIMF Co, Kaliningrad, Russia

Abstract

Violation of industrial safety rules during the operation of offshore facilities for the production, storage and transportation of the hydrocarbon raw materials leads in the most cases to pollution of the marine environment with oil and its components. The works on localization and elimination of such pollution are carried out with the help of vessels of the technical support fleet and booms. When developing oil spill response plans at such facilities, a calculated determination of the technical characteristics of vessels and booms is required that are sufficient to carry out the planned activities. The basic design principles for determining the towing capacity of the technical fleet vessels involved in the localization and elimination of oil and oil product spills by trawling methods

are given in the article. The calculation is based on theoretical studies performed by the authors of the physical processes occurring during the movement of objects of a mobile trawling order in the sea area. The results obtained during the course of theoretical studies were confirmed by the experimental studies carried out by the authors personally using the real pieces of equipment in the actual development of tasks for training spill containment by trawling. As a result, the empirical dependencies were obtained and experimentally confirmed, which can be used to calculate technical characteristics of the ships as part of the mobile orders and anchor systems as part of stationary orders intended for the localization and elimination of oil pollution. These results can be used, among other things, for the calculated substantiation of the technical characteristics of the technical fleet vessels designed to ensure safety of the offshore facilities for production, storage, and transportation of the hydrocarbon raw materials.

Key words: oil and oil products spills, localization, technical fleet vessels, trawling method, booms, towing, mobile order, tow force, order form coefficient, anchor systems.

References

1. Use of the booms in the elimination of oil spills. Technical information document. Available at: https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP_3_2011_RU_Use_of_booms_in_oil_pollution_response.pdf (accessed: October 10, 2020). (In Russ.).

2. Meritsidi I.A., Ivanovskiy V.N., Prokhorov A.N., Botvinko I.V. Equipment and technology for localization and elimination of emergency oil and oil products spills: Reference guide. Saint Petersburg: Professional, 2008. 824 p. (In Russ.).

3. Matsenko S.V., Dunets L.G. Modeling of oil and oil products spills. *Gosudarstvennoe regulirovanie v oblasti preduprezhdeniya i likvidatsii razlivov nefii i nefteproduktov na more i vnutrennikh akvatoriyakh: materialy nauch.-prakt. seminar.* (State regulation in the field of prevention and elimination of oil and oil products spills at sea and in inland waters: materials of the scientific and practical seminar.) Novorossiysk: MGA im. adm. F.F. Ushakova, 2009. pp. 34–36. (In Russ.).

4. Alferev M.Ya. Mechanics of liquids. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Rechnoy transport, 1961. 328 p. (In Russ.).

5. Landau L.D., Lifshits E.M. Theoretical physics; textbook. In 10 volumes. Vol. VI. Fluid Mechanics. 6-e izd., ispr. Moscow: Fizmatlit, 2015. 728 p. (In Russ.).

6. SP 38.13330.2018. Loads and impacts on hydraulic structures (from wave, ice and ships). SNiP 2.06.04–82*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/553863434> (accessed: October 20, 2020). (In Russ.).

7. Matsenko S.V. Development and experimental substantiation of Methodological recommendations for determining the sufficient composition of forces and means for the elimination of oil and oil products spills in the offshore zones: report on NIR reg. №. АААА-А-16-116051010006-1, reg. № ИКРБС АААА-Б16-216081760113-0. Novorossiysk: АО «YuzhNIIMF», 2016. 119 p. (In Russ.).

8. Matsenko S.V., Volkov G.G., Volkova T.A. Elimination of spills of oil and oil products at sea and inland waters. Calculation of the sufficiency of forces and means: methodical recommendations. Novorossiysk: MGA im. adm. F.F. Ushakova, 2009. 78 p. (In Russ.).

9. Matsenko S.V., Volkov G.G., Volkova T.A. Peculiarities of the Calculation Of Sufficient Quantity of Personnel and Equipment Required for Oil Spill Response Operation at Sea Or in Domestic Water Areas. *Ekspluatatsiya morskogo transporta = Sea transport operation*. 2010. № 2 (60). pp. 21–28. (In Russ.).

10. Stepnov M.N. Statistical methods for processing mechanical tests results: Reference guide. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 232 p. (In Russ.).

11. Monsik V.B., Skrynnikov A.A. Probability and statistics: textbook. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniya, 2013. 381 p. (In Russ.).

12. Górski Z., Giernalczyk M. Method for Determination of Energy Demand for Main Propulsion and Onboard Electric Power for Modern Harbour Tug Boats by Means of Statistics. *Journal of KONES. Powertrain and Transport*. 2012. Vol. 19. № 1. pp. 147–154.

*Received October 28, 2020
In final form — December 3, 2020*