

УДК 628.16:665.6

МИНИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

*канд. техн. наук, доц. В.Е. САВЕНОК
(Витебский государственный технологический университет)*

Разливы нефти и нефтепродуктов на водную поверхность и почву представляют серьезную экологическую опасность. Нефть и нефтепродукты, попадая на водную поверхность, быстро растекаются по акватории, покрывая ее тонкой пленкой, в результате чего нарушается газообмен водоема. В данной работе нами оцениваются последствия воздействия нефти на водные экосистемы. Приведены задачи системы защиты водных объектов от нефтяных загрязнений. В работе рассмотрена методика определения максимально ожидаемого объема нефти, вытекающего в водный объект при аварии на подводном переходе нефтепровода. Представлен алгоритм действий, включающий в себя организационные и технические мероприятия на предварительном и начальном этапе работ по ликвидации аварийных разливов нефти на водных объектах, направленный на минимизацию экологического ущерба.

Введение. Нефть и нефтепродукты – это энергоресурсы, которые играют ключевую роль в экономике всех развитых стран мира. Однако главным негативным аспектом их использования в различных сферах хозяйствования являются аварии, следствием которых становятся залповые выбросы нефти в окружающую среду. Разливы нефти и нефтепродуктов на водную поверхность и почву представляют серьезную экологическую опасность. За сравнительно короткий промежуток времени после попадания нефти на водную поверхность вода загрязняется не только собственно жидкой нефтью, плавающей на поверхности, но и ее водорастворимыми компонентами.

В данной работе рассмотрены последствия воздействия нефти на водные экосистемы и представлен алгоритм действий, направленный на минимизацию экологического ущерба при ликвидации аварийных разливов нефти.

Воздействие нефти на водные экосистемы

В результате загрязнения воды нефтью изменяются ее физические, химические и органолептические свойства, ухудшаются условия обитания в воде живых организмов и растительности, затрудняются все виды водопользования.

Влияние нефти и нефтепродуктов на водный объект проявляется в ухудшении физических свойств воды (замутнение, изменение цвета, вкуса, запаха), отравлении воды токсическими веществами, образовании поверхностной нефтяной пленки и осадка на дне водоема, понижающих содержание кислорода. Характерный запах и привкус воды наблюдаются при концентрации нефти и нефтепродуктов 0,5 мг/л и нафтеновых кислот 0,01 мг/л [1]. Значительные изменения ее химических показателей происходят при содержании нефти и нефтепродуктов более 100 – 150 мг/л. Пленка нефти на поверхности водоема ухудшает газообмен воды с атмосферой, замедляет скорость аэрации (обогащение воды кислородом) и удаление углекислого газа. Наиболее масштабными и опасными загрязнениями рек нефтью и нефтепродуктами являются аварийные сбросы.

Неблагоприятное воздействие нефтепродуктов сказывается различными способами на организме человека, животном мире, водной растительности, физическом, химическом и биологическом состоянии водоема [2, 3]. Входящие в состав нефтепродуктов низкомолекулярные алифатические, нафтеновые и особенно ароматические углеводороды оказывают токсическое и в некоторой степени наркотическое воздействие на организм, поражая сердечно-сосудистую и нервную системы. Наибольшую опасность представляют полициклические конденсированные углеводороды типа 3,4-бензапирена, обладающие канцерогенными свойствами.

Отрицательное влияние нефтепродуктов, особенно в концентрациях 0,001...10 мг/дм³, присутствие их в виде пленки сказывается и на развитии высшей водной растительности и микрофитов. Пленка нефти препятствует аэрации, то есть процессу поглощения водой кислорода из атмосферы. Окисление нефти может замедлиться в воде, обедненной кислородом. В таких условиях бактериальное разложение может повлечь отрицательные последствия, так как уменьшает количество растворенного кислорода. Содержание кислорода в поверхностных слоях воды постоянно пополняется за счет контакта с атмосферой. Однако на глубине более 10 м это пополнение происходит очень медленно.

При постоянном расходе кислорода в водоеме прекращение аэрации может оказаться губительным для живого мира водоема. Нефть и нефтепродукты относятся к числу трудноокисляемых микроорганизмами веществ, поэтому самоочищение водоемов, загрязненных нефтью, происходит достаточно долго.

Биологическое воздействие нефти на живые организмы, обитающие в водной среде, можно разделить на 5 категорий: непосредственное отравление с летальным исходом; серьезные нарушения физиологической активности; эффект прямого обволакивания живого организма нефтепродуктами; болезненные изменения, вызванные внедрением углеводородов в организм; изменения в биологических особенностях среды обитания. Летальное отравление возможно в результате прямого воздействия углеводородов на некоторые важные процессы в клетках и особенно на процессы обмена между ними.

Растворимые в воде ароматические углеводороды представляют наибольшую опасность для живых организмов. Воздействие парафиновых углеводородов низкой молекулярной массы (C_{10} и менее) может вызвать наркотическое действие, но необходимая для этого концентрация крайне высока и отсутствует в нефтяных пятнах.

Поступление нефтяных углеводородов в живые организмы может происходить как непосредственно из воды посредством адсорбции, так и по пищевой цепи. В первом случае аккумуляция определяется скоростью поступления и выведения вещества из организма непосредственно из воды. Мерой способности к концентрированию данного химического соединения является фактор биоконцентрирования, который представляет собой отношение констант поступления и выведения вещества из организма. Значения этого фактора зависят от типа организма. Для водорослей величина этого фактора определяется площадью поверхности. Биоаккумуляция может также происходить через пищевую цепь и в этом случае описывается фактором экологического усиления, который представляет собой отношение концентрации токсиканта в организме к концентрации токсиканта в пище, которую употребляет данный организм.

Рыбы подвергаются воздействию разливов нефти и нефтепродуктов при употреблении загрязненной пищи и воды, а также при соприкосновении с нефтью и нефтепродуктами во время движения икры. Гибель рыбы, исключая молодь, происходит обычно лишь при крупных (серьезных) разливах нефти. Однако сырая нефть и нефтепродукты отличаются разнообразием токсического действия на различные виды рыб. Сублетальный эффект нефть оказывает на сердце, изменяет дыхание, увеличивает печень, замедляет рост, разрушает плавники, приводит к различным биологическим и клеточным изменениям, влияет на поведение. Личинки и молодь рыб наиболее чувствительны к воздействию нефти, разливы которой могут привести к гибели рыб и личинок, находящихся на поверхности воды, а молодь – в мелких водах. Эффекты покрытия и удушья являются основными вредными последствиями при загрязнении нефтепродуктами. Имеющиеся данные указывают, что смерть взрослых организмов может наступить после контакта в течение нескольких часов с растворимыми ароматическими углеводородами, содержание которых в воде составляет $1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-2} \%$. Смертельные концентрации таких компонентов для икринок и мальков ниже $1 \cdot 10^{-5} \%$. Таким образом, икринки и мальки в $10 \dots 100$ раз чувствительнее к действию углеводородов, чем взрослые организмы.

Смертельные концентрации ароматических углеводородов возможны в нефтяных пятнах, не подвергшихся атмосферному воздействию, однако после длительного пребывания в воде нефть теряет многие летучие и растворимые компоненты, а ее токсическое воздействие уменьшается [4]. Нарушение физиологической активности живых организмов обусловлено влиянием компонентов нефти, в основном ароматических углеводородов, на рецепторы организмов и подавлением их естественных стимулов.

Еще одним негативным биологическим воздействием нефти на живые организмы, обитающие в водной среде, является обволакивание нефтью тела организма. Углеводороды обволакивают перья птиц, нарушая их гидрофобность, что приводит к потере защитной функции оперения. Когда оперение птиц покрывается нефтью, нарушаются его изолирующие свойства. При попытке очистить перья, птицы заглатывают загрязнения и гибнут. Загрязнения нефтепродуктами влияют также на их среду обитания. Таким образом, птицы, покрытые нефтью, переохлаждаются и гибнут от гипотермии [3]. Кроме того, у птиц, интоксцированных нефтью, поглощаемой ими во время ныряния или при попытках очистить перья, произошло серьезное нарушение эндокринной системы, в частности функции надпочечной железы.

Также нефть ослепляет живущих в воде животных-тлюней, нерпу. Поражение в результате накопления углеводородов в тканях характерно для многих, если не для всех, организмов, обитающих в водной среде. Можно ожидать, что любой организм, живущий в водной среде, должен находиться с ней в химическом равновесии. Нефть уменьшает проникновение света в замкнутые водоемы и может повышать температуру воды. Это особенно губительно для организмов, способных существовать только в ограниченном интервале температур. Нефть содержит токсичные компоненты, например ароматические углеводороды, которые губительно действуют на некоторые формы водной жизни даже в таких концентрациях, как несколько миллионных долей. Если содержание углеводородов в воде даже меньше $10^{-7} \%$, они могут поглощаться организмом и накапливаться в различных тканях. Такое внедрение химических веществ, содержащих полициклические ароматические углеводороды, изменяет вкус съедобных организмов, кроме того, это опасно, так как подобные вещества являются канцерогенными.

Если воздействие загрязнений невелико и концентрация их мала, то они могут полностью выводиться из организма. Однако при продолжительном пребывании в этих условиях возможно постоянное загрязнение организма. Показано, например, что у ракообразных и рыб выведение большинства углеводородов происходит в течение двух недель.

Рассмотренные выше примеры позволяют сделать вывод, что даже в минимальных количествах нефть очень опасна для водных обитателей. Нефтяные пятна как бы закупоривают воду, задерживая доступ кислорода, и тем самым разрушают естественную систему жизнеобеспечения. Поэтому борьба с загрязнениями нефтью и нефтепродуктами водных объектов – комплексная и многоплановая задача.

Организация системы защиты водных объектов

Современная практика борьбы с загрязнением водных объектов нефтью накопила определенный опыт в этой области, имеются разнообразные технические средства для локализации и ликвидации последствий залповых сбросов нефти.

Организация системы защиты водных объектов (ВО) от нефтяных загрязнений проводится с целью обеспечения их надежной защиты от загрязнений залповыми сбросами нефти в результате аварий на технических объектах транспорта, хранения, распределения и использования нефтепродуктов и минимизацию экологического ущерба [2].

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- осуществить анализ физических условий процессов загрязнения ВО нефтью при залповых сбросах и осуществить классификацию факторов, влияющих на загрязнение ВО при нефтеразливах;
- по каждому фактору установить механизм его влияния и дать оценку степени влияния;
- классифицировать аварии по степени тяжести экологических последствий;
- разработать методологические (научные) основы организации защиты ВО от нефтяных загрязнений при аварии;
- разработать технологические процессы локализации и ликвидации нефтяных загрязнений и эффективные конструкции нефтесборного оборудования;
- разработать нормативно-методические документы, регламентирующие деятельность по защите ВО от нефтяных загрязнений при промышленных авариях.

К сожалению, организационными и техническими мероприятиями нельзя пока полностью исключить риск нефтяного загрязнения водных объектов. Поэтому наиболее актуальным является обеспечение минимизации экологического ущерба, возможного в результате этого загрязнения. Минимизация экологического ущерба достигается разработкой эффективных технологических процессов локализации и ликвидации нефтяных загрязнений и создания конструкций нефтесборного оборудования.

Своевременное и оперативное проведение работ по локализации и ликвидации аварийных нефтеразливов позволит также значительно снизить ущерб окружающей среде. Поэтому актуальным является быстрый и качественный расчет сил и средств, необходимых для локализации и ликвидации аварии с разливом нефтепродукта на водной поверхности. Определяющим критерием при расчете сил и средств является предполагаемый объем вылившейся нефти при аварии.

Определение максимально ожидаемого объема утечки нефти при аварии

Первоочередным при локализации и ликвидации аварийного разлива нефти является расчет объема нефти, вытекшей из нефтепровода во время аварии.

Количество нефти, которое в случае аварии в подводном переходе может вытечь из трубопровода и попасть в водный объект, складывается из следующих составляющих [2]:

- количества нефти, поступающего с момента аварии до момента отключения насосов и закрытия задвижек (V_1);
- количества нефти, поступающего с момента закрытия задвижек до полного прекращения утечки под действием избыточного давления в нефтепроводе (V_2).

Общий объем нефти V , вытекшей из нефтепровода с момента возникновения аварии до момента закрытия задвижки, находим по формуле:

$$V = V_1 + V_2. \quad (1)$$

Количество нефти, поступившее с момента аварии до момента отключения насосов и закрытия задвижек, определится следующим образом:

$$V_1 = Q_{nep} \cdot \tau_1 \cdot 60, \quad (2)$$

где Q_{nep} – максимальный перекачиваемый расход нефти по нефтепроводу, м³/с; τ_1 – время с момента обнаружения системой обнаружения утечек разгерметизации на подводном переходе до момента отключения насосов и закрытия задвижек, мин.

Количество нефти, поступающее с момента закрытия задвижек до полного прекращения утечки под действием избыточного давления в нефтепроводе

$$V_2 = Q_2 \cdot \tau_2, \quad (3)$$

где Q_2 – расход нефти через место повреждения за время τ_2 ; τ_2 – время истечения нефти после отключения насосов и закрытия задвижек.

После закрытия задвижек нефть, находящаяся в нефтепроводе, будет вытекать через образовавшийся разрыв. Скорость движения нефти и ее расход зависят от разницы между геодезическими отметками задвижек в левой и правой ветвях нефтепровода и геодезической отметкой уровня воды в реке в месте подводного перехода, а также от размера и формы разрыва. Причем из-за разницы плотностей между водой и нефтью уровень нефти в ветвях нефтепровода будет выше уровня воды в реке на величину

$$\Delta h = \frac{H \cdot (\rho_e - \rho_n)}{\rho_n}, \quad (4)$$

где Δh – разница между уровнем воды в реке и уровнем нефти в нефтепроводе, м; H – расстояние от свободной поверхности воды до места разрыва, м; ρ_e , ρ_n – плотность воды и нефти соответственно, кг/м³.

При закрытых задвижках и вантузах уровень нефти в ветвях нефтепровода будет отличаться на величину вакуумметрической высоты $h_{\text{вак}}$:

$$h_{\text{вак}} = \frac{(p_{\text{ат}} - p_{\text{н.н.}}) \cdot 10^6}{\rho_n \cdot g}, \quad (5)$$

где $h_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота, м; $p_{\text{ат}}$ – атмосферное давление, МПа; $p_{\text{н.н.}}$ – давление насыщенных паров (принимается 0,03 МПа); ρ_n – плотность нефти, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Принимаем наиболее худший сценарий развития аварии – произошел полный разрыв нефтепровода, и нефтепровод разделился на левую и правую ветвь относительно места разрыва. Тогда расход нефти из ветви нефтепровода определяется как

$$Q_2^n = \omega \sqrt{2g \cdot \Delta H \frac{d}{\lambda \cdot l}}, \quad (6)$$

где Q_2^n – расход нефти через место повреждения из левой ветви, м³/с; ω – площадь живого сечения, м², принимается равной площади нефтепровода; g – ускорение свободного падения, м/с²; ΔH – разница между уровнем нефти и уровнем свободной поверхности воды в месте подводного перехода, м; d – внутренний диаметр нефтепровода, м; λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина участка ветви нефтепровода от сечения, заполненного нефтью, до места разрыва, м.

Аналогично, по формуле (6), рассчитывается расход нефти из правой ветви нефтепровода (Q_2^n). При расчетах общего расхода нефти из поврежденного участка (Q_2) возможны различные варианты, определяемые геодезической отметкой расположения задвижек левой и правой ветвей нефтепровода и уровнем свободной поверхности воды в водотоке:

$$Q_2 = Q_2^l + Q_2^n, \text{ или } Q_2 = Q_2^r, \text{ или } Q_2 = Q_2^n.$$

Расчет сил и средств, необходимых для ликвидации аварии

В зависимости от предполагаемого объема нефти, вылившегося при аварии, определяется количество технических средств, необходимых для ликвидации аварии, и их суммарная производительность сбора нефти. Длина боновых заграждений, необходимых для локализации на водотоке участка, загрязненного нефтью, определяется шириной водотока и скоростью его течения. Скорость течения влияет на угол установки боновых заграждений. Боновые заграждения могут устанавливаться по различным вариантам [2] в несколько рядов. В случае установки боновых заграждений в несколько рядов длина бонов пропорционально увеличивается. Место установки боновых заграждений зависит от времени проведения подготовительных операций аварийной бригады, привлекаемой для ликвидации аварии, и скорости течения водотока, на котором произошла авария. Расчет расстояния установки боновых заграждений от места аварии приведен нами в [5].

Количество сорбционного материала, необходимого для нанесения на локализуемый участок, также определяется объемом нефти, площадью ее разлива на водотоке и сорбционной емкостью применяемого материала.

От оперативного и быстрого расчета сил и средств, необходимых для ликвидации аварии, зависит эффективность применяемых средств и проводимых мероприятий. Для повышения оперативности расчета нами разработана компьютерная программа автоматизированного расчета технических средств для ликвидации аварийных разливов нефти [6].

Важным техническим элементом при ликвидации аварийного разлива нефти на водотоке является отстойник, предназначенный для сбора нефти и нефтепродуктов. Отстойник может также использоваться для отстаивания водонефтяной эмульсии. Водонефтяная эмульсия – наиболее опасный вид нефтяного загрязнения, поскольку традиционные приемы ее локализации и сбора нефти с помощью боновых заграждений практически безрезультатны. Для этого необходимо эмульгированные нефтепродукты перевести в пленочные. Расчет параметров отстойника рассмотрен в [7].

Заключение. Борьба с нефтяными загрязнениями окружающей среды сегодня является актуальной экологической задачей для всех промышленно развитых стран мира. Совершенствование технических средств и способов, обеспечивающих локализацию, ликвидацию и сбор нефтяных загрязнений, – одно из важных направлений решения этой проблемы, наряду с которым оперативное проведение организационных и подготовительных операций позволит повысить эффективность принимаемых мер, т.е. снизить экологический ущерб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Blokker, P.C. Spreading and evaporation of petroleum products on water / P.C. Blokker // Proc. IV Int. Harbout Conf., Antwer. – Belgium, 1964. – P. 112 – 114.
2. Защита водных объектов: моногр. / Д.П. Комаровский [и др.]; под общ. ред. В.К. Липского. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2008. – 220 с.
3. Нельсон-Смит, А. Нефть и экология моря / А. Нельсон-Смит. – М.: «Прогресс», 1977. – 302 с.
4. Химия окружающей среды / пер с англ. яз. под ред. А. Цыганкова. – М.: Химия, 1982. – 145 с.
5. Савенок, В.Е. Технические аспекты локализации аварийных разливов нефти на водных объектах / В.Е. Савенок, В.Р. Измайлович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикл. науки. Строительство. – 2009. – № 6. – С. 145 – 150.
6. Савенок, В.Е. Автоматизированный расчет технических средств для ликвидации аварийного нефте разлива / В.Е. Савенок, А.Г. Дудин, В.Р. Измайлович // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы VI междунар. науч-техн. конф. – Новополоцк, 2007. – С. 244 – 245.
7. Измайлович, В.Р. Расчет параметров отстойника при ликвидации нефтяных загрязнений / В.Р. Измайлович // Труды молодых специалистов Полоц. гос. ун-та. Вып. 36. Строительство. – 2009. – С. 140 – 143.

Поступила 21.05.2010

ECOLOGICAL DAMAGE MINIMIZATION AT LIQUIDATION OF OIL OUTFLOW

V. SAVENOK

Oil and petroleum product outflow on water surface and soil offer serious environmental hazard. Petroleum and petroleum products, getting on water surface, rapidly spread on water area, coating it with thin layer causing braking of water body gas exchange. In the given paper consequences of petroleum impact on water ecosystems are estimated. Problems of protection system of water body from oil pollution are resulted. The procedure of definition of highest possible expected volume of the petroleum which is flowing out in water body on subsea transition of oil pipeline in case of breakdown is observed. The algorithm of actions including organizational and technical arrangements on preliminary and initial stages of operations on liquidation of oil outflow on water bodies aimed at ecological damage minimization is presented.