

УДК 662.756:662.612

КОРАБЕЛЬНЫЕ ПАЛУБНЫЕ УСТАНОВКИ ИМПУЛЬСНОГО РАСПЫЛЕНИЯ БИОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА АКВАТОРИИ

*В. В. Бойко, д-р техн. наук;
Н. В. Щербак,
(Институт гидромеханики НАН Украины)*

Обговорюється впровадження нової технології швидко якісного ліквідування розливів нафти на акваторіях, описана оригінальна установка імпульсного розпилення біологічних адсорбентів, наводяться данні полігонних випробувань та обговорюються перспективи практичного застосування отриманих результатів.

Обсуждается внедрение новой технологии быстрой и качественной ликвидации разливов нефти на акватории, описана оригинальная установка импульсного распыления биологических адсорбентов приводятся данные полигонных испытаний и обсуждаются перспективы практического применения результатов исследований.

The possibility of new technology for fast and quality liquidation of oil spreads at water surface, original pulse-pulverizing multibarrels unit for long range and large scale pulverization of biology sorbents, resultes of field-range test and future development of the technology is discussed.

Вступление. Наиболее убыточны и опасны для экологии Украины разливы нефти на акватории Днепра, Черного и Азовского морей. Потенциально опасны надводные танкеры, перевозящие большие количества нефтепродуктов (1, 2). Ежегодно в акваторию Мирового океана поступают миллионы тонн нефти и нефтепродуктов: с промышленными и бытовыми стоками 37%, постоянные утечки от эксплуатации кораблей и судов — 33%, аварийные разливы — 12%, с атмосферными осадками — 9%, фильтрация из природных источников — 7%, геологоразведка и нефтедобыча — 2% (2). Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (именуемые

в дальнейшем одним словом «нефть») наиболее опасны в прибрежной части акватории, т.к. они непредсказуемы, локальны, высококонцентрированы и поэтому наносят значительные, не ликвидируемые или трудно ликвидируемые естественным способом экологические ущербы окружающей среде(1). Наиболее крупные разливами нефти являются:

1) Танкер «Брайер» у Шетландских островов, разлито более 80 000 тонн нефти (1993 г.),

2) Танкер «Престиж» у испанского побережья, разлито более 2 000 т нефти (2003 г.),

3) Танкер «Волгонефть-139» в Керченском проливе у косы Тузла разлито более 2 000 т нефти и мазута (11.11.2007 г.),

4) Танкер в Индонезийском проливе, разлито более 1 000 т нефти (декабрь 2007 г.),

5) Танкер у берегов Норвегии, разлито более 600 т нефти (январь 2008 г.),

6) Танкер в Балтийском море у Гданьска, Польша, разлито более 300 т нефти (январь 2008 г.),

7) Морская нефтедобывающая платформа в Мексиканском заливе, разлито более полумиллиона тонн нефти — впервые зафиксированный в истории, как глобальная катастрофа (май 2010).

Анализ предшествующих исследований. Мало развита техника ликвидации и нейтрализации разливов нефти, которая конструктивно одинакова во всех странах и отличается лишь качеством изготовления. Это небольшие корабли или катера, оснащенные бакенами для локализации разливов и установками сбора нефтяной плёнки с поверхности воды (2, 3). Есть различные пористые адсорбенты, впитывающие нефтяную плёнку и биологические сорбенты, именуемые в дальнейшем **биосорбентами** одновременно нейтрализующие нефть, но нет установок для быстрого и равномерного распыления лёгких гранул сорбентов по большим площадям, что препятствует их широкому применению (3, 4).

Для ликвидации разливов нефти требуется множество кораблей сборщиков нефти и длительная, тяжелая, опасная работа сотен спасателей в том числе по разбрасыванию лопатами с бортов корабля адсорбентов, впитывающих нефть, сбору адсорбентов, насыщенных нефтью с поверхности воды, грязной смеси адсорбентов, нефти, водорослей, камней и песка с нефтью с загрязнён-

ного берега; транспортировки и утилизации этих отходов. Например, в Керчи в 2008 г. тысячи тонн отходов много месяцев лежали в порту, загрязняя землю и акваторию, а затем их возили на утилизацию в Кировоград за 500 км. Разбрасывание адсорбентов лопатами по поверхности нефтяной плёнки характеризуется низким КПД, не более 10% разбрасываемой массы адсорбентов работают эффективно из-за ряда причин: неравномерности разбрасывания, массового уноса гранул ветром, многократного прохождения корабля по разливу нефти. Попытки приспособить для этой цели механические и пневматические устройства успеха не имели (3). Широкое использование военных для ликвидации последствий катастроф характеризуется низкой эффективностью, но связано с многочисленными тяжёлыми и смертельными травмами. Военнослужащие работают только с лопатами, так как не могут быстро освоить и эффективно применять традиционную, сложную спасательную технику, им нужна техника близкая по устройству и методам применения к оружию (3, 4).

В Черном и Азовском морях уже нет ни одного корабля для сбора разливов нефти, американский сборщик-корабль стоит до 100 миллионов американских долларов(3). Необходимо создание нового технологического процесса и оборудования, значительно повышающего дальность и площадь равномерного распыления. Известная распылительная техника — пневматическая и механическая (1, 3, 4) не в состоянии обеспечить распыление малоплотных, относительно крупноразмерных, пористых гранул на дальности более 3 м и по большим территориям, Модернизация этой техники не представляется перспективным, ввиду того, что даже незначительное повышение радиуса и масштаба распыления связано с многократным увеличением размеров, веса, технической сложности и стоимости распылительных установок.(4). Требуемая дальность распыления не менее 20 м от границы нефтяной плёнки, исходя из необходимости снижения турбулизации нефтяной плёнки струёй воды от винтов корабля, что затрудняет эффективную работу биосорбента.

Наиболее перспективными с точки зрения универсального распыления различных составов, являются импульсные распылительные пороховые системы. Однако нет опыта их применения для распыления адсорбентов и легковоспламеняющихся биосорбентов

— это как порох распылять порохом. Распыление адсорбентов с вертолёта в потоке от вертолётного винта применялось в Мексиканском заливе — показаны низкая прицельность, унос ветром до 90% адсорбента и его неравномерное по нефтяному пятну.

Цель работы — разработка технологического процесса и оборудования для дальнего, равномерного и масштабного разбрасывания биосорбентов по пленке нефти.

Материал и результаты исследований. Для распыления выбираем заряды быстростгорающего пороха, как надежный, компактный источник мощной, метательной газовой волны, мало зависящий от внешних условий — прежде всего давления внутри канала ствола и в камере сгорания — патроннике. Такие заряды позволяют создавать распылительные стволы наиболее простых конструкций и наименьшего веса. Для моделирования работы данного ствола выбран анализ классической задачи внутренней баллистики — рассмотрение параметров состояния пороховых газов в пространстве между камерой сгорания и задней границей ускоряемой массы, а также параметрами создаваемой в канале ствола газодисперсной смеси. Математически корректное решение задачи внутренней баллистики сложно по причине многофакторности, нестационарности процессов теплообмена, массообмена, передачи кинетической энергии пороховых газов частицам распыляемой массы; диссипация — потери энергии пороховых газов на нагрев воздуха, ствола, частиц распыляемой массы; разрушение этих частиц.

Данная расчётная методика позволила установить, что максимальная дальность полета частиц биосорбента с удельным весом $0,1-0,15 \text{ г/см}^3$ с характерным размером от 1 до 3 мм не может превышать 3,5 м, практически при любых начальных скоростях вплоть до 120 м/с. Показано, что расчётным путём практически невозможно получить достоверные данные — нет замкнутой модели, описывающей процессы образования и распространения импульсного двухфазного потока и его разрушение, торможение под воздействием аэродинамического сопротивления, а также процесс функционального взаимодействия фронта импульсного потока с активной поверхностью: нефтяной плёнкой или конденсированной высокотемпературной поверхностью. Однако данная модель позволила понять механизм распространения газодисперсного шквала и предложить перспективные пути для экспериментального исследования.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

В період 08.01 по 11.07.2008 г. проводились полігонні випробування установки імпульсного розпилення біосорбента. Об'єкти випробувань: десятиствольна установка «Імпульс-10Л» (лафетний варіант), біосорбент марки «Еколан». Місце проведення випробувань — г. Севастополь, с. Хмельницьке, площа уніщення боеприпасів.

Показано, що «стара» схема снаряження порохового ствола, розроблена для розпилення огнетушачого, негорючого порошка, непригодна для імпульсного розпилення малої щільного, легкозаспалюючогося, гранулірованого біосорбента (**ЛвБС**). Порошок значно відрізняється від біосорбента: в 5—7 раз більше по удельному вазу, в 50—100 раз менше по розміру частиц. Із одного ствола 200мм калібру розпилювалось 1,5 кг ЛвБС. Величина розпилювального заряду складала 50 г, 75 г, 100 г., ініціювалось піровоспалителем — піропатроном марки ПП-3, или ПП-7, ПП-9. Прямое воздействие волны пороховых газов, релаксированной с помощью лишь сухих поролоновых пыжей и высокоэластичных пленочных оболочек, но не охлажденной, показало, что сгорало полностью или заметно обгорало от 50 до 80% массы гранул биосорбента, в зависимости от величины распылительного порохового заряда. По материалам видеосъемки было ясно видно, что из среза канала ствола вырывался столб пламени длиной от 1,5 м до 4,5 м, а впереди него летела только незначительная часть массы гранул ЛвБС. Данная зависимость также подробно не изучалась по вышеназванным причинам. Чувствительные к воздействию высокой температуры бактерии — не более 60°С — уничтожались даже если частица, обгорела лишь незначительно.

Предложено и испытано новое снаряжение ствола, позволяющее получить — «холодную» метательную газовую волну, но с достаточно мощным метательным воздействием. Это достигалось не только традиционным способом-введением в заряд пламегасящей добавки — парафин, но и новым пыжом из водонаполненного поролонa. Далее проводился подбор оптимальной величины распылительного заряда путем серии одиночных выстрелов из одного ствола. При этом постоянной величиной являлась распыляемая масса биосорбента — 1,5 кг, заполняющая канал ствола на протяжении 600 мм. Величины дальности и площади распыления,

а также качество — полнота локализации и нейтрализации плёнки разлива нефти на площади распыления, определялись визуально и по материалам видеосъемки. На рис. 1 показаны полученные графические зависимости величин основных параметров распыления и функционального воздействия — дальности и площади — от величин распылительного заряда и от начальной (дульной) скорости распыления на срезе ствола.

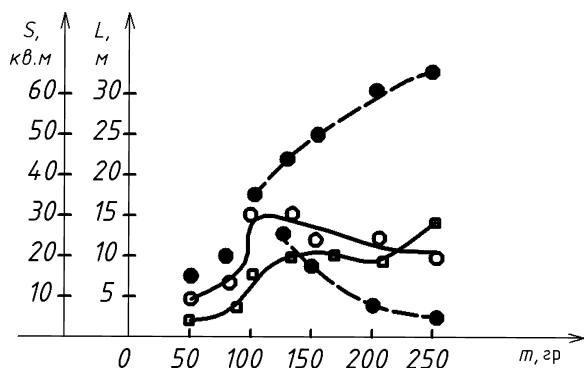


Рис. 1. Залежність дальності руху газодисперсного конгломерата L та площі його ефективного впливу S від величини розпилювального заряду — m .

При выбросе ЛвБС из ствола образовывался равномерный, газодисперсный, вихревой, локальный фрагмент (континуум) с мощной несущей, газовой фазой. На всём протяжении траектории полёта происходит равномерное аэродинамическое разрушение континуума с сопутствующим эффектом проникающего, равномерного напыления гранул ЛвБС по значительной площади нефтяной пленки. Континуум «скользит» по поверхности нефтяной плёнки, оставляя за собой равномерное, сплошное покрытие гранулами биосорбента площади каплевидной формы, расширяющейся по траектории от среза ствола. Такое напыление обеспечивает хороший контакт гранул с нефтяной пленкой и, соответственно, эффективное впитывание нефти порами этих гранул.

Изменение величины распылительного заряда позволило получить зависимости изменения величин площади и дальности рас-

пыления. Их анализ показал наличие явно выраженных диапазонов оптимальных значений величин распылительного заряда и соответственных величин начальных скоростей распыления, при которых достигаются наибольшие и стабильные значения площади и дальности эффективного воздействия. От начальных величин скоростей распыления до указанного диапазона их оптимальных величин, происходит устойчивое возрастание величин дальности распыления, площади равномерного покрытия и соответственно локализации-нейтрализации нефтяной пленки. После достижения максимальных величин указанного диапазона оптимальных значений начинает проявляться эффект различия величин дальностей и площадей распыления и эффективного функционального воздействия. Это различие возрастает по мере дальнейшего увеличения начальной скорости распыления.

Оптимальные диапазоны обеспечивают дальнейшее и крупномасштабное распыление из одного ствола массы биосорбента в 1,5 кг и равномерное распределение биосорбента по значительной площади до 35 м², в диапазоне удельных расходов от 15 до 25 г/м² согласно паспорту биосорбента. Внимательный осмотр зоны нефтяного разлива, покрытой равномерным слоем распыленного биосорбента, показал, что большая часть гранул биосорбента — до 80—90% эффективно впитывают и перерабатывают нефтяную пленку в пределах временного отрезка до 2 часов, как и для случая ручного распыления биосорбента. При этом потери биосорбента в пределах 10—20% исходной распыляемой массы в 5—20 раз меньше, чем потери при распределении биосорбента по данной площади 35 м² традиционным методом — вручную с помощью лопаты или совка.

Обоснована перспективность залпового распыления для увеличения дальности и площади импульсного распыления биосорбента. Исследовались, имеющие наибольшее практическое значение, зависимости изменения величин дальности и площади распыления биосорбента по разливу нефти от расстояния между соседними стволами, участвующими в залпе и общего количества стволов в залпе (рис. 2).

Убедительно показал главное преимущество импульсного, залпового распыления, свойственное только газодисперсным вихрям взаимное усиление и слияние при оптимальном взаимодействии составляющих вихрей из отдельных стволов. Масштабы воздей-



Рис. 2. Фрагмент залпового распыления биосорбентов из 5-ти стволов.

ствия суммарного вихря повышались в 1,5—2,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей воздействий этих отдельных элементов, составивших единый вихрь. Повышена дальность функционального воздействия до 53 м (в 4,5 раз более по сравнению с выстрелом-распылением из одного ствола) и величину площади равномерного распыления биосорбента до 450 м² при залпе из 5 стволов, расположенных в шахматном порядке. Это в 2,3 раза больше чем сумма отдельных площадей эффективного воздействия при последовательном распылении из 5-ти стволов. Для сравнения залповое воздействие боевых ракет или снарядов не увеличивает дальность их полёта, а только повышает площадь поражения до 1,5 раза, по сравнению с арифметической суммой площадей поражения такого же количества отдельных взрывов ракет и снарядов. Есть основания предположить, что эффективность работы импульсно-распылительного модуля и боеприпасов для него вполне сравнима по надёжности, стабильности и масштабам воздействия с современным вооружением.

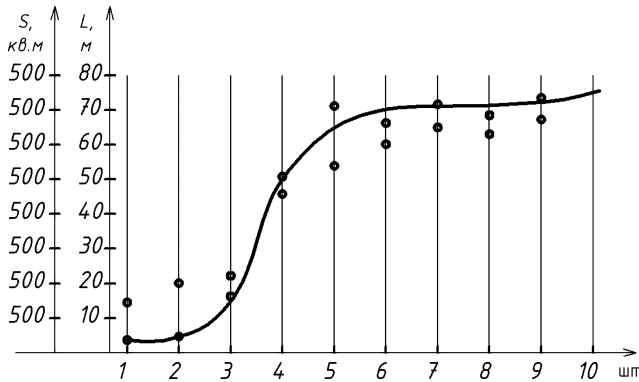


Рис. 3. Залежність дальності распылення L і його площі S від кількості стволів N учасуючих в залпе.

Полученные высокие значения функциональных показателей позволяют уверенно предлагать технологический процесс и оборудование многоствольный модуль импульсного распыления биосорбентов для практического использования в виде стационарных, палубных модулей на кораблях, например, на скоростных аварийно-спасательных больших катерах или маневренных портовых буксирах. Достигнутая дальность эффективного распыления, позволяет кораблям «расстреливать» разливы нефти и нефтепродуктов не входя в зону разлива, так как после прохождения любого корабля или судна, особенно скоростного, по нефтяной пленке трудно её ликвидировать. Масштаб эффективного распыления позволяет малому количеству кораблей (2—4 на акваторию порта и прилегающую территорию побережья) надёжно и быстро ликвидировать различные нефтяные разливы вплоть до крупномасштабных. Для защиты определённого участка морского побережья, находящегося между этими портами целесообразно оснастить этими установками, минимум по 2—3 вспомогательных судна в каждом порту — буксиры, пожарно-спасательные. Вся полоса побережья поделена между портами на зоны их ответственности. Судна с распылительными установками от каждого порта работают по своей зоне при разливах нефти, не превышающих по площади и по массе разлитой нефти среднюю величину.

Выводы

Создание такой системы импульсной защиты позволит в значительной степени, качественно повысить степень обеспечения экологической безопасности акваторий и прибрежных зон в бассейнах Днепра, Черного и Азовского морей. В апреле 2009 г. Коллегия МНС Украины приняли решение о выделении финансирования для проектирования и изготовления опытно-промышленной партии корабельных, стационарных, палубных многоствольных модулей и оснащения ими пяти аварийно-спасательных кораблей, а также закупки 5000 комплектов распылительных патронов и специальных, герметичных контейнеров, которые будут заполнены ранее закупленным биосорбентом. Однако данное решение осталось только на бумаге.

* * *

1. Бровченко И. А. Численное моделирование распространения нефтепродуктов в прибрежных зонах морей и внутренних водоёмах. Диссертация. — К., 2005.

2. Мазилин О. М. Оценка опасности загрязнения тяжелыми нефтепродуктами донной и береговой частей акватории Крымского полуострова в результате перевозки нефтепродуктов морскими судами / О. М. Мазилин // Материалы 11-й Всеукраинской науч.-практ. конф. «Организация управления в чрезвычайных ситуациях». — К.: ИДУЦЗ УЦЗУ, 2009. — 385 с.

3. Щербак М. В. Оснащення військових частин імпульсною технікою для ліквідації наслідків екологічних катастроф / М. В. Щербак // Екологія і ресурси. — Вип. 19. — К., 2008. — С. 73—79.

4. Новые технологии локализации разливов нефти в море / М. В. Щербак, В. Д. Захматов, С. О. Ковалёв, В. В. Гайдей // Нафтова і газова промисловість. — 2008. — № 6(242). — С. 55—57.

Отримано: 18.01.2011 р.