

ТЕХНОЛОГИЯ РАСПЫЛЕНИЯ БИОСОРБЕНТОВ ДЛЯ МАСШТАБНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА МОРЕ И В ГАВАНЯХ (ЧАСТЬ 1)

**В.Д. Захматов, доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**М.В. Чернышов, доктор технических наук.
Балтийский государственный технический университет
«Военмех» им. Д.Ф. Устинова.**

**Н.В. Щербак, кандидат технических наук.
Академия экологической безопасности, Киев**

Ежедневно фиксируются сотни локальных разливов нефти в гаванях портов, в морях, реках, ежегодно происходит несколько крупных разливов нефти, наносящих экологический ущерб в миллиарды долларов. Существующие технологии локализации и ликвидации разливов на водоёмах дороги, сложны, инерционны, не обеспечивают достаточно быстрой и качественной их ликвидации. Описана технология ликвидации разливов, основанная на: 1) биосорбенты – гранулы с бактериями в порах, поглощающих и перерабатывающих нефть в инертный, плотный остаток – вес гранулы увеличиваются, и она тонет; 2) технология импульсно-холодного, равномерного, масштабного и быстрого распыления малоплотных гранул по разливу.

Ключевые слова: разливы нефти, локализация и ликвидация разливов, гавани, биосорбенты, пористые гранулы, бактерии, холодное, импульсное распыление, зависимости масштабов и скорости распыления, перспективы применения

TECHNOLOGY OF PULSE-PULVERIZATION THE BIOSORBENTS FOR LARGE-SCALE LIQUIDATION OF OIL-SPREADS AT SEA & HARBORS (PART 1)

V.D. Zakhmatov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.
M.V. Chernyshov. Baltic state technical university «Voennmeh» to them D.F. Ustinov.
N.V. Scherbak. Academy of ecological safety, Kiev

Hundreds of local oil-spread are recorded daily in harbors of ports, in seas, rivers, several large oil bottles are produced every year, causing environmental damage of billions of dollars. The existing technologies of localization and liquidation of rockets on the waterways of the road are complex, inertial, do not provide fast enough and high-quality liquidation of oil-spread. The article suggests a combined technology for the elimination of oil-spread, based on two innovative developments: 1) biosorbents – porous granules with bacteria in the pores – the pores absorb oil-film, the bacteria transform it into an inert, dense residue – the weight of the granule increases and it sinks; 2) technology & technique of pulsed, cooled spray technique of uniform, rapid spraying of low-density granule onto oil-spread.

Keywords: oil-spreads, localization and liquidation of oil-films, harbors, biosorbents, porous granules, bacteria, cold, pulsed spraying, dependence of scales and spraying speed, prospects of application

Быстрая локализация и ликвидация разливов нефти крайне актуальна, особенно в районах наиболее частых разливов: портовые гавани и зона ответственности порта в море

и на побережье, нефтяные терминалы порта, морские нефтяные промысловые платформы. Известен ряд технологий ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, самое высокое качество очистки воды и побережья обеспечивают сорбенты и биосорбенты. Главным препятствием их применения является трудность распыления малоплотных, пористых гранул с бактериями [1, 2]. Современная методика и техника распыления адсорбентов и биосорбентов – пневматические или механические установки не способны распылить малоплотные, гранулированные адсорбенты и биосорбенты далее 3–5 м – чуть больше броска лопатой. Даже мощные установки не способны создать устойчивый к аэродинамическому сопротивлению, далеко летящий грануло-воздушный поток, способный быстро и равномерно, с малым удельным расходом напылить гранулы на большую площадь нефтяной плёнки. Поэтому адсорбенты разбрасывают простыми совковыми лопатами или просто высыпают из мешков с борта корабля, надеясь на самораспределение биосорбента по нефтяной пленке. В результате более 90 % биосорбента уносится ветром, не контактируя с нефтяной пленкой [3, 4].

Другой крупный недостаток пневматического, механического, ближнего распыления в том, что корабль или катер должен многократно проходить в непосредственной близости от плёнок нефтяного разлива. В результате корпус корабля и водяные струи от винтов очень сильно турбулизируют поверхность воды с нефтяной плёнкой, дробят эту пленку, смешивают её с водой, сильно затрудняя поглощение нефтяной плёнки частицами биосорбента [5, 6].

Более распространённые, основные, современные технологии локализации и ликвидации разливов нефти низкоэффективны, трудоёмки, грязны, опасны, и их реализация требует длительной и тяжелой работы множества людей в опасных зонах с большим риском травм и отравлений [7]. Для локализации нефтяного разлива с помощью небольших кораблей – аварийных, буксиров, катеров – необходимо их оснастить нетрадиционными, импульсно-распылительными установками, обеспечивающими быстрое, дальнее и равномерное распыление адсорбента или биосорбента по всей поверхности нефтяной плёнки с заданным, малым удельным расходом и эффектом его проникающего, равномерного напыления в эту нефтяную пленку за минимальное время [8, 9]. Очень сложной задачей является создание таких установок, способных стабильно работать в сложных морских условиях, далеко и масштабно распылять малоплотные гранулы адсорбента, которые практически не способны к самостоятельному, даже очень короткому полёту – очень быстро тормозятся под воздействием аэродинамического сопротивления [10, 11]. Ускорение гранул в канале ствола до скоростей порядка 50–100 м/с вызывает нагрузку – давление, разрушающее частицы биосорбента и недопустимое для бактерий, так как такие перегрузки уничтожают их полностью. Взаимодействие высокотемпературных пороховых газов с ускоряемыми гранулами может быстро воспалить и сжечь их [11, 12].

Рассмотрим более подробно методы использования новой техники для локализации и нейтрализации разливов нефти. Как уже упоминалось, современные адсорбенты впитывают на 1 кг своего веса от 5 кг до 20 кг нефтепродукта, но эти адсорбенты требуют сложной технологии применения, состоящей из трех основных этапов:

1) разбрасывание – распыление адсорбента равномерно по всей площади поверхности нефтяной пленки;

2) сбор массы «грязного» адсорбента, состоящей из смеси пропитанных нефтью, слипшихся гранул адсорбента, водорослей, мусора – чрезвычайно сложная, трудоемкая операция, загрязняющая корабли и опасная, токсически вредная для персонала, осуществляющего сбор этих конгломератов грязи, сложных по составу и трудноразделяемых современными механизмами;

3) утилизация адсорбента на берегу также является довольно сложной проблемой и производится путем разделения конгломератов грязи и сжигания этих разделенных частей, загрязняющих экологию окружающей среды, прежде всего, атмосферу. Процесс сжигания

сложен, так как необходимо сжечь неоднородную массу, сильно насыщенную водой, сложную по составу – адсорбирующий материал, нефтепродукт, водоросли, грязь поверхности моря, камни, песок и пр.

Другой путь утилизации – скорее чисто теоретический, чем практический, состоит в извлечении нефти из этого грязного адсорбента, что также проблематично и сложно, так как требует создания сложного и дорогого оборудования, включающего фильтры, центрифуги, компрессоры, прессы и пр. Поэтому крайне высока себестоимость нефтепродукта, извлеченного из адсорбента, который прежде надо отделить от водорослей, песка, камней и другого морского мусора. Эта себестоимость гораздо выше реальной стоимости выделенной нефти, поэтому эта операция нецелесообразна [11, 12].

Учитывая вышеизложенное, идеальным было бы создание адсорбента, не требующего трудоемкого сбора с поверхности моря, сложной и дорогой транспортировки и дальнейшей, сложной, длительной и дорогостоящей утилизации на берегу. Это должен быть адсорбент, не только эффективно и в достаточном количестве впитывающий пленки разливов нефти и нефтепродуктов, но и достаточно быстро и полно перерабатывающий их в инертные соединения. Два института Научной академии наук Украины разработали такой адсорбент, именуемый биологическим сорбентом или биосорбентом. Основа его – активированный уголь, содержащий на поверхности своих пор микроорганизмы-бактерии. Этот уголь адсорбирует до 10 кг нефтепродукта на 1 кг собственного веса, а затем бактерии обеспечивают анаэробную переработку адсорбированных частиц нефти и нефтепродуктов до твердых инертных материалов, экологически чистых и физико-химических устойчивых в самых различных реально возможных условиях, неспособных к обратному разложению в активные компоненты при сколь угодно длительном нахождении в различных средах (воздух, морская вода, донные отложения) [13, 14].

Биосорбент может длительное время, до 10 лет, находиться в режиме ожидания – храниться в нормальных условиях в отапливаемых и неотапливаемых помещениях, а затем эффективно и безотказно применяться для локализации и дезактивации нефтяных пленок на поверхности воды. Допустимым для применения биосорбента является температурный диапазон от +5 °С до +50 °С, обеспечивающий эффективную работу бактерий и переработку ими частиц нефти и нефтепродуктов, находящихся в порах бактерий. Полный процесс переработки нефти, впитанной в поры биосорбента, происходит в течение от 3 до 10 ч, при этом в процессе биологической переработки жидкая или вязкая нефть превращается в твердый инертный остаток с весом больше веса поглощенной нефти. Поэтому частица набирает вес и в результате после полной переработки впитанной ей нефти частица становится полностью инертной, одновременно теряет плавучесть и тонет [15].

Однако иметь хороший адсорбент или биосорбент – только половина задачи локализации и нейтрализации нефтеразливов. Необходимо найти способ и несложную технику, универсальную для эффективного метания, распыления и для быстрого распределения различных сорбентов по поверхности нефтяной плёнки, которая охватывает море на площадях, измеряемых гектарами. Например, у берегов Индонезии площадь плёнки составляла 3,5 га [16]. Часто очень хорошие адсорбенты, огнетушащие и защитные составы демонстрируют высокую эффективность в лабораториях, но при практическом использовании эти преимущества реализуются лишь в малой степени из-за отсутствия техники быстрого, равномерного и эффективного распределения данных адсорбентов или составов по пораженной розливом нефти и нефтепродуктов площади акватории. В частности, необходимо не только равномерно распылить биосорбент, но и обеспечить эффективный контакт его частиц с пленкой нефтяного разлива для обеспечения ее эффективного поглощения. Поэтому целесообразно в этом случае реализовать технологию равномерного, проникающего напыления частиц биосорбента на максимально возможные площади при удельных расходах биосорбента, лишь немного превышающих минимальные 15–20 г/см².

Суммируя вышеизложенное можно отметить, что растекание, дрейф, диспергирование, испарение и эмульгирование, а также процессы взаимодействия с дном и берегом являются наиболее значимыми процессами для определения в конечном итоге экологического вреда водной среде и побережью. Существенным для мелководных участков и прибрежных зон является процесс взаимодействия диспергированных капель нефти с взвешенными наносами, дном и берегом. Основной целью совершенствования технологий и техники очистки акватории от нефтяного разлива является снижение периода времени, необходимого для равномерного напыления адсорбента или биосорбента на всю поверхность нефтяного разлива [11, 13]. Для этого необходима распылительная техника, осуществляющая крупномасштабное, равномерное напыление малоплотного, гранулированного биосорбента сразу по большим площадям. Применяющаяся в настоящее время технология сбора выброшенных на берег нефтепродуктов не может обеспечить эффективную защиту побережья и совершенно не защищает морскую экологическую систему. Необходимо внедрение технологии быстрой локализации и нейтрализации разливов нефтепродуктов на поверхности моря в кратчайший срок с момента их появления. Эта технология не реализуется традиционной, распылительной техникой, пневматической, механической – практически непригодной для дальнего и крупномасштабного распыления малоплотных, крупных, пористых гранул адсорбента или биосорбента.

Идеальным для распыления этих гранул было бы размещение распылительных устройств равномерно над площадью разлива нефтяной плёнки. Однако это практически нереально, так как нисходящий, мощный воздушный поток от вертолётного винта турбулизует поверхность воды и перемешивает нефтяную плёнку с водой. Для распыления адсорбента и биосорбента наиболее близким к идеальному устройству может быть многоствольная установка импульсного распыления, потенциально способная обеспечивать быстрое, направленное распыление больших масс огнетушащих составов с последующим равномерным, эффективным покрытием больших площадей в сотни квадратных метров при реальной возможности гибкого регулирования мощности распыления, величины и конфигурации площади распыления. Такая установка может реализовать высокоэффективно функциональные качества различных адсорбентов и биосорбентов.

Импульсная распылительная техника проста, надежна, долговечна и требует малого периода обучения для военнослужащих, что имеет очень большое практическое значение при ликвидации последствий больших разливов нефти, так как в различных странах к таким операциям привлекаются целые войсковые соединения, тысячи военнослужащих ежедневно и их число многократно превышает число профессионалов – спасателей. Современная практика проведения различных аварийно-спасательных работ показывает, что основной объем этих работ осуществляется профессионалами-спасателями, а военные, несмотря на большое численное превосходство, способны выполнять лишь вспомогательные работы и при этом несут очень большие потери. Основной причиной низкой эффективности работы военнослужащих при ликвидации последствий катастроф является то, что нет реальной возможности в процессе военной службы обучить солдат и матросов работе на аварийно-спасательной технике. Реально есть только один путь обеспечить эффективную работу военных – создать аварийно-спасательную технику, подобную современному оружию по конструкции и приемам работы. Такая «стреляющая» техника повысит боевое мастерство матросов, солдат и безопасность операций по надежной и своевременной экологической защите государства.

В рассматриваемом случае локализации нефтяных разливов техника импульсного, крупномасштабного, равномерного, проникающего напыления наиболее важна, так как чем быстрее будет ликвидирован разлив, тем меньше убытков. Приведённый выше краткий анализ операций по ликвидации последствий разливов позволил установить, что время ликвидации разлива прямо пропорционально квадрату или кубу первоначальных убытков на момент начала аварии – когда нефть растеклась по поверхности моря, то есть по мере

удлинения времени осуществления операции локализации и нейтрализации нефтяного пятна убытки возрастают в геометрической прогрессии.

Для осуществления импульсного распыления биосорбентов есть, на первый взгляд, неразрешимые проблемы, заключающиеся в том, что биосорбенты из легковоспламеняющихся гранул пористого угля, в порах которого содержатся микроорганизмы, очень чувствительные к повышению температуры, эффективно работающие в очень узком температурном диапазоне от +5 °С до +50 °С и отмирающие при температуре более 80 °С. Поэтому для импульсного, эффективного распыления биосорбентов необходимо снизить температуру волны пороховых газов до 80 °С и ударно-разрушающее воздействие до мягкоускоряющего, метательного.

Литература

1. Ipieca A. Guide to Contingency Planning for Oil Spills on Water // Report Ser. Vol. 2: London IPIECA, 2000. 30 p.
2. Korotenko K.A., Mamedov R.M., Moores C.N. Prediction of the Transport and Dispersal of Oil in the South Caspian Sea Resulting from Blowouts // Environmental Fluid Mechanism. 2002. № 1. P. 383–414.
3. Maderich V., Brovchenko. I. Oil Dispersion by breaking waves and currents // Sea Technology. 2005. № 4. P. 17–22.
4. Thorpe S. Langmuir. Circulation and the Dispersion of the Oil Spills in Shallow Seas / Spill Science and Technology Bulletin. 2000. № 6. P. 213–223.
5. Слободян В.А. Экспериментальные исследования алгоритма классификации загрязнения морских акваторий // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Київ–Харків–Крим, 2007. С. 229–231.
6. Положешний В.В. Заходи щодо забезпечення екологічної безпеки об'єктів нафтової промисловості // Організація управління в надзвичайних ситуаціях: матеріали XI Всеукр. наук.-практ. конф. Київ: ІДУЦЗ УЦЗУ, 2009. 385 с.
7. Коротенко К., Мамедов Р. Моделирование процесса распространения пятен нефти в прибрежной зоне Каспийского моря // Океанология. 2001. № 41. С. 42–52.
8. Козий Л., Мадерич В. Лагранжева модель растекания нефтяных пятен // Прикладная гидромеханика. 2000. № 2 (74). С. 108–109.
9. Исаев Г.В., Овсиенко С.Н. Распространение вязкой плёнки на поверхности моря // Метеорология и гидрология. 1983. № 2. С. 74–81.
10. Журбас В.М. Основные механизмы распространения нефти в море // Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа. 1978. Т. 12. С. 144–160.
11. Бровченко И.А. Модель образования спектра нефтяных капель в приповерхностном слое океана // Прикладная гидромеханика. 2004. № 2. С. 20–26.
12. Захматов В.Д., Бычков В.В. Технология импульсной ликвидации разливов нефти в Арктике // Неделя науки 2015: форум с междунар. участием. СПб.: СПбПУ Петра Великого, 2015.
13. Захватов В.Д. Технология импульсной ликвидации разливов нефти на море, океане // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 92–99.
14. Захватов В.Д. Ударно-волновые механизмы распределения нетермостойких гранул биосорбента по акватории: материалы XXIV Всерос. семинара с междунар. участием по струйным, отрывным и нестационарным течениям. Новосибирск: Балтийский гос. техн. ун-т «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова; СПб гос. ун-т; Ин-т теоретич. и прикл. механики СО РАН, 2015.
15. Захватов В.Д. Корабельные палубные установки импульсного распыления биосорбентов для ликвидации разливов нефти на акватории – Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. Простору. К., 2011. Вип. 6. С. 43–51.

16. Захматов В.Д., Щербак В.Г. Новые технологии локализации разливов нефти на море // Пожаровзрывобезопасность, 2010. Т. 19. № 6. С. 56–63.

References

1. Ipieca A. Guide to Contingency Planning for Oil Spills on Water // Report Ser. Vol. 2: London IPIECA, 2000. 30 p.
2. Korotenko K.A., Mamedov R.M., Moores C.N. Prediction of the Transport and Dispersal of Oil in the South Caspian Sea Resulting from Blowouts // Environmental Fluid Mechanism. 2002. № 1. P. 383–414.
3. Maderich V., Brovchenko I. Oil Dispersion by breaking waves and currents // Sea Technology. 2005. № 4. P. 17–22.
4. Thorpe S. Langmuir. Circulation and the Dispersion of the Oil Spills in Shallow Seas / Spill Science and Technology Bulletin. 2000. № 6. P. 213–223.
5. Slobodyan V.A. Eksperimental'nye issledovaniya algoritma klassifikacii zagryazneniya morskikh akvatorij // Suchasni informacijni tekhnologii upravlinnya ekologichnoyu bezpekoyu, prirodokoristuvannjam, zahodami v nadzvichajnih situacijah: materiali Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Kiiv–Harkiv–Krim, 2007. S. 229–231.
6. Polozheshnij V.V. Zahodi shchodo zabezpechennya ekologichnoï bezpeki ob'ektiv naftovoï promislovosti // Organizaciya upravlinnya v nadzvichajnih situacijah: materiali XI Vseukr. nauk.-prakt. konf. Kiiv: IDUCZ UCZU, 2009. 385 s.
7. Korotenko K., Mamedov R. Modelirovanie processa rasprostraneniya pyaten nefti v pribrezhnoj zone Kaspijskogo morya // Okeanologiya. 2001. № 41. S. 42–52.
8. Kozij L., Maderich V. Lagranzheva model' rastekaniya neftyanyh pyaten // Prikladnaya gidromekhanika. 2000. № 2 (74). S. 108–109.
9. Isaev G.V., Ovsienko S.N. Rasprostranenie vyazkoj plynki na poverhnosti morya // Meteorologiya i gidrologiya. 1983. № 2. S. 74–81.
10. ZHurbas V.M. Osnovnye mekhanizmy rasprostraneniya nefti v more // Itogi nauki i tekhniki. Mekhanika zhidkosti i gaza. 1978. T. 12. S. 144–160.
11. Brovchenko I.A. Model' obrazovaniya spektra neftyanyh kapel' v pripoverhnostnom sloe okeana // Prikladnaya gidromekhanika. 2004. № 2. S. 20–26.
12. Zahmatov V.D., Bychkov V.V. Tekhnologiya impul'snoj likvidacii rozlivov nefti v Arktike // Nedelya nauki 2015: forum s mezhdunar. uchastiem. SPb.: SPbPU Petra Velikogo, 2015.
13. Zahvatov V.D. Tekhnologiya impul'snoj likvidacii rozlivov nefti na more, okeane // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. № 10. S. 92–99.
14. Zahvatov V.D. Udarno-volnovye mekhanizmy raspredeleniya netermostojkikh granul biosorbenta po akvatorii: materialy XXIV Vseros. seminaru s mezhdunar. uchastiem po strujnym, otrivnym i nestacionarnym techeniyam. Novosibirsk: Baltijskij gos. tekhn. un-t «VOENMEKH» im. D.F. Ustinova; SPb gos. un-t; In-t teoretich. i prikl. mekhaniki SO RAN, 2015.
15. Zahvatov V.D. Korabel'nye palubnye ustanovki impul'snogo raspyleniya biosorbentov dlya likvidacii rozlivov nefti na akvatorii – Ekologichna bezpeka ta prirodokoristuvannya: Zb. nauk. prac' / M-vo osviti i nauki Ukraïni, Nac. un-t bud-va i arhit., NAN Ukraïni, In-t telekomunikacij i global. inform. Prostoru. K., 2011. Vip. 6. S. 43–51.
16. Zahmatov V.D., Shcherbak V.G. Novye tekhnologii lokalizacii razlivov nefti na more // Pozharovzryvobezopasnost'. 2010. T. 19. № 6. S. 56–63.