

УДК 62-97

DOI: 10.25206/1813-8225-2020-172-5-8

Л. О. ШТРИПЛИНГ
Е. Г. ХОЛКИН
В. В. МЕРКУЛОВ

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

В статье рассмотрены некоторые особенности метода реагентного капсулирования в условиях отрицательных температур. Создан макет установки, позволяющий проводить измерение температуры капсулируемого материала в процессе реагентного капсулирования. В ходе эксперимента определена продолжительность поддержания необходимой для подготовки следующей порции температуры. Проведено сравнение способов подачи углекислого газа в установку в процессе реагентного капсулирования. В результате эксперимента определен более выгодный способ подачи углекислого газа в установку.

Ключевые слова: установка для обезвреживания, реагентное капсулирование, нефтезагрязненная почва.

Введение. Повсеместное использование нефтепродуктов в мире, и в России в частности, сопровождается их попаданием на почву. Это может быть пробитый картер автомобиля, аварии на автомобильном или железнодорожном транспорте, перевозящем нефтепродукты, разливы при добыче, перегрузке и транспортировании нефти и т.д.

В настоящее время разработано множество методов удаления или снижения последствий при разливах [1–3]. Большинство разработанных методов основано на применении экстрагентов (специальных растворителей) или на промывке почвы водными растворами с добавлением поверхностно-активных веществ [4–7]. Недостаток этих методов в том, что они эффективны в летнее время и в большинстве своем растянуты во времени.

Учитывая природно-климатические условия Российской Федерации, особенно районы Сибири, где значительный период года среднесуточная температура ниже нуля, остро стоит вопрос оперативного удаления загрязнения территории нефтепродуктами, поскольку при повышении температуры

в дальнейшем загрязнения могут распространяться на значительные расстояния, попадать в подземные воды и с поверхностным стоком — в открытые водоемы и пр. Устранение последствий загрязнения при отрицательных температурах требует специальных технологий и оборудования. При этом основной проблемой при обезвреживании является то, что нефтезагрязненная почва находится в замороженном состоянии, что, в свою очередь, требует дополнительных энергетических затрат в виде тепловой энергии.

Постановка задачи. Задачей исследования является определение оптимального режима подачи углекислого газа при отрицательных температурах, в процессе обезвреживания почвы, загрязненной нефтепродуктами, методом реагентного капсулирования.

Теория. В условиях отрицательных температур для обезвреживания нефтезагрязненной почвы одной из перспективных является технология реагентного капсулирования. Данная технология основана на инкапсуляции загрязняющего вещества

с применением реагента. В работах [8, 9] описана технология реагентного капсулирования, которая представляет сложный процесс, но в упрощенном виде она может быть описана при помощи двух химических уравнений (1), (2) [10]:



Технология основана на применении недорогого щелочного реагента на основе кальция. Наиболее подходящим, для данной технологии, реагентом является негашеная известь (известь строительная, ГОСТ 9179-77). В этом случае конечным продуктом обезвреживания нефтезагрязненной почвы является капсулированный материал, который по внешнему виду представляет мелкодисперсную смесь, похожую на обыкновенный песок (рис. 1) [8]. Главным преимуществом, с точки зрения ликвидации загрязнения, данной технологии является оперативность обезвреживания.

В условиях низких температур преимущество данного метода заключается еще и в том, что побочным продуктом данной реакции является выделяемое тепло. При реализации уравнения (1) оно достаточно быстро рассеивается в окружающей среде. Окончательное формирование и упрочнение оболочки у микрокапсул из карбоната кальция

(2) происходит в обычных условиях на полигонах (рис. 2) несколько лет, поскольку концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе не превышает 0,05 %, то на практике этот процесс остается незамеченным.

Оценка энергетического потенциала экзотермического процесса химических реакций показала, что при интенсификации подачи CO_2 количество выделяемого тепла достаточно для обеспечения подогрева замерзшей почвы. Это позволяет довести до необходимой температуры следующую порцию загрязненного грунта в зимнее время.



Рис. 1. Вид капсулированного материала

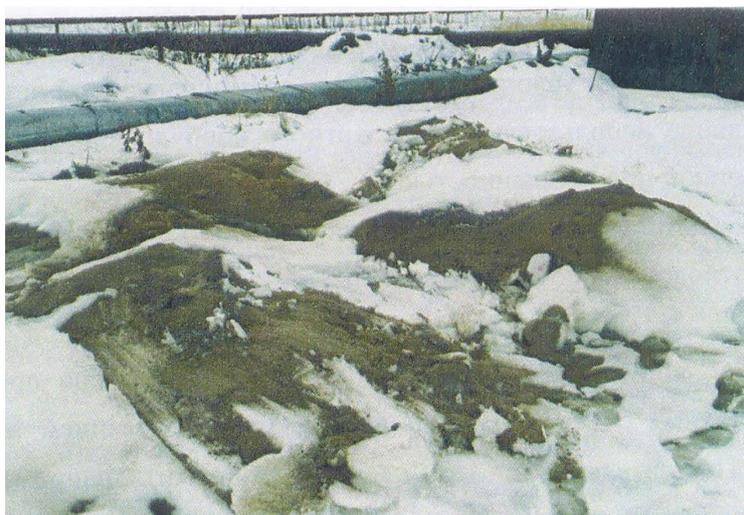


Рис. 2. Вид полигона при хранении капсулированного материала. Возраст 7 лет

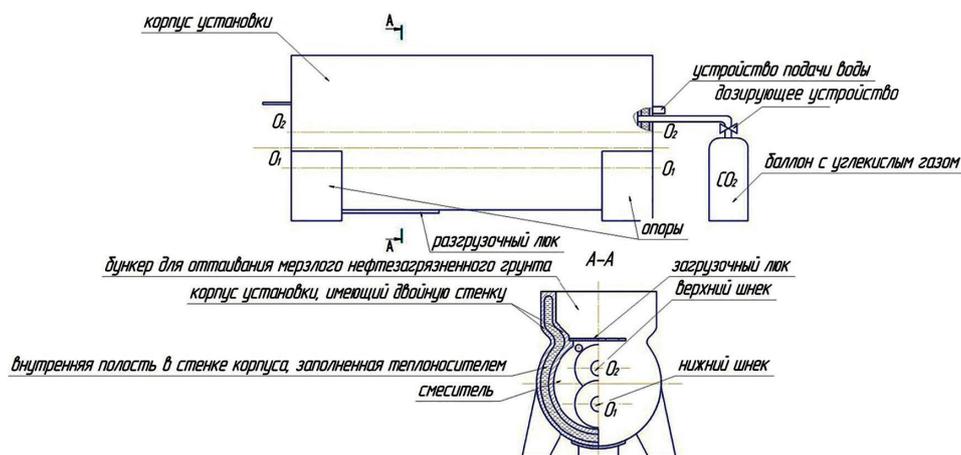


Рис. 3. Схема установки для работы при условии низких температур

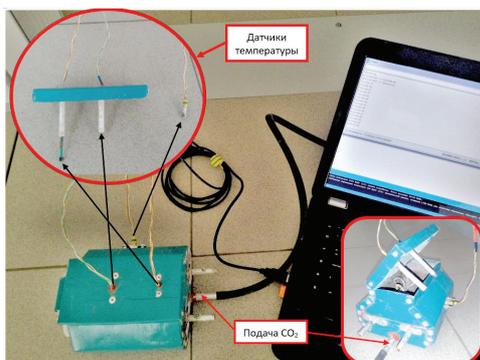


Рис. 4. Макет установки

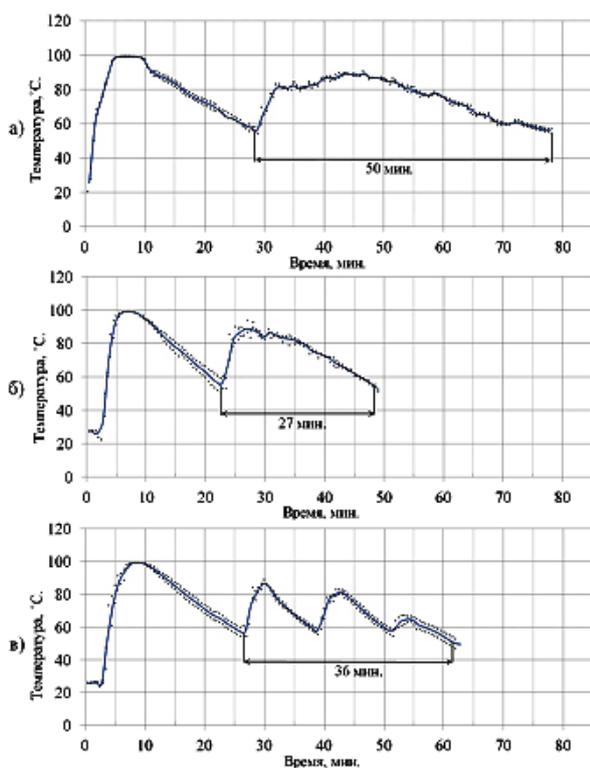


Рис. 5. Температурные графики состояния смеси в реакторе при подаче CO_2 до завершения процесса карбонизации:
 а) при $+20^\circ\text{C}$ (постоянная подача CO_2);
 б) при -5°C (постоянная подача CO_2);
 в) при -5°C (порциальная подача CO_2)

На этом принципе разработан ряд типоразмеров установок с утилизацией выделяемого тепла в рубашке, содержащей незамерзающую жидкость (рис. 3) [11]. Тепло, передаваемое рубашке, в дальнейшем применяется для подготовки следующей порции загрязненной почвы. Установки позволяют проводить процесс обезвреживания почвы по месту образования в зимнее время без дополнительных источников энергии.

Однако такая конструкция усложняет установку, кроме того, герметичная рубашка утяжеляет и делает ее уязвимой при перевозке и эксплуатации. Более того, снижение температуры окружающей среды приводит к увеличению тепловых потерь в окружающую среду и сокращению периода подогрева смеси в реакторе установки. В результате чего для подготовки следующей порции потребуются дополнительная тепловая обработка.

Эксперимент. Для проведения экспериментов был создан макет установки (рис. 4). Установка представляет собой емкость с перемешивающими элементами, температурными датчиками и трубкой подачи углекислого газа. В качестве перемешивающих элементов выступают два шнека, вращающиеся в противоположных направлениях. Весь процесс капсулирования, от перемешивания компонентов до готового капсулированного материала, происходит непосредственно в установке. Регистрация показаний температурных датчиков осуществляется автоматически при помощи ПК.

В установке имеется три датчика температуры, два из которых погружаются в капсулируемую смесь, а один расположен непосредственно у стенки установки. Данное расположение датчиков позволяет определять температуру внутри капсулируемой смеси и температуру на границе стенка — смесь, что позволяет не только получать данные о температуре реакции, но и температуру, передаваемую на рубашку. Трубка подачи CO_2 имеет ряд отверстий и расположена на дне установки, что позволяет равномерно подавать CO_2 в перемешиваемую смесь. Подача CO_2 происходит постоянно или порциями, период и время подачи регулируется вручную, поддерживая среднюю температуру в установке в пределах 70°C . В качестве средней температуры используем среднюю температуру смеси, фиксируемую датчиками внутри смеси. При этом показания датчика у стенки не учитываем.

Эксперимент начинается с загрузки компонентов в установку. Вначале загружается нефтезагрязненная почва и негашеная известь. Данные компоненты перемешиваются, после чего необходимо добавить воду. В результате добавления воды начинается химическая реакция и происходит образование микрокапсул. При этом происходит рост температуры. Длительность данного процесса, первой стадии, зависит от температуры окружающей среды. Чем ниже температура окружающей среды, тем быстрее происходит остывание капсулируемого материала. Окончанием первой стадии считаем момент, при котором температура смеси, после достижения максимальной температуры, составляет $50\text{--}55^\circ\text{C}$.

Остывание капсулируемой смеси до более низкой температуры нецелесообразно. Это связано с тем, что температура у стенки установки отличается от температуры внутри смеси, разность температур в среднем составляет 10°C , т.е. незамерзающая жидкость будет иметь температуру менее 40°C и процесс подготовки следующей порции значительно замедлится. Также при более низкой температуре капсулируемой смеси сложнее запустить вторую стадию, при этом повторный рост температуры произойдет, но с меньшей скоростью и меньшей тепловой отдачей.

Вторая стадия заключается в добавлении углекислого газа в капсулируемую смесь. При добавлении углекислого газа происходит упрочнение микрокапсул и завершение процесса капсулирования. При этом наблюдается повторный рост температуры.

Результаты экспериментов. На первом этапе эксперимента проводилась оценка времени снижения температуры в реакторе при постоянной подаче CO_2 . Исследование проводилось при положительных и отрицательных температурах окружающей среды (рис. 5). Из графиков видно, что при снижении температуры окружающей среды с $+20^\circ\text{C}$

(рис. 5а) до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5б), время, в течение которого мы можем поддерживать необходимую температуру, для подогрева порции почвогрунта, на втором этапе, сократилось на 23 мин (продолжительность второго этапа при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составила 50 мин, при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ составила 27 мин).

Предлагается другой вариант конструкции, при котором углекислый газ подается порциально, при контролируемом регулировании нижней и верхней температуры в установке. Данный вариант конструкции позволит более эффективно поддерживать среднюю температуру, продлевая процесс повышенной температуры в реакторе установки.

На втором этапе эксперимента проводилась оценка времени снижения температуры в реакторе при порциальной подаче CO_2 . Исследование проводилось при отрицательной температуре окружающей среды (рис. 5в).

Из графиков видно, что при подаче CO_2 на втором этапе порциями происходит увеличение времени протекания процесса, при условии поддержания средней температуры в $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, на 9 мин (с 27 мин до 36 мин). Добавление CO_2 происходит до момента прекращения роста температуры, в среднем требуется 3–5 минут добавления CO_2 . Таким образом, за весь период процесса капсулирования возможно добавить три порции CO_2 , после чего CO_2 больше не вступает в реакцию с капсулируемым материалом и рост температуры не происходит.

Вывод. Порциальная подача CO_2 в установку по преодолению последствий загрязнения почвы нефтепродуктами позволяет увеличить время поддержания средней температуры в реакторе (на 15–25 % в зависимости от температуры окружающей среды) и обеспечить необходимое время для подогрева следующей порции загрязненного нефтепродуктами материала в условиях низких температур.

Библиографический список

1. Manzetti S. Remediation Technologies for Oil-Drilling Activities in the Arctic: Oil-Spill Containment and Remediation in Open Water // *Environmental Technology Reviews*. 2014. Vol. 3, Issue 1. P. 49–60. DOI: 10.1080/21622515.2014.966156.
2. Гержберг Ю. М., Цхадая Н. Д., Токарев В. В. [и др.]. Оценка и совершенствование технологий обезвреживания регулярных загрязненных отходов производства и аварийных разливов нефтепродуктов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2014. № 5. С. 5–10.
3. Штриплинг Л. О., Токарев В. В., Гержберг Ю. М. [и др.]. Переработка и утилизация нефтешламов и нефтезагрязненных материалов, образующихся в местах добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья: моногр. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 176 с. ISBN 978-5-7692-1301-4.
4. Пат. 2330734 Российская Федерация, МПК В 09 С 1/00, С 02 F 11/00. Установка для переработки нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов / Амирова Л. М., Култашев А. Б., Новширванов Л. Г. [и др.]. № 2007102110/15; заявл. 19.01.07; опубл. 10.08.08, Бюл. № 22.
5. Пат. 2414312 Российская Федерация, МПК В 09 С 1/00. Устройство для очистки нефтезагрязненного грунта от нефти и нефтепродуктов / Протопопов И. М. № 2008123060/07; заявл. 09.06.08; опубл. 20.03.11, Бюл. № 8.
6. Пат. 2381995 Российская Федерация, МПК С 02 F 1/40, В 09 С 1/02. Способ очистки грунтов и почв от нефти и не-

фтепродуктов и установка для его осуществления / Ефимченко С. И., Агеев А. В., Пыльнов А. С. № 2008133690/15; заявл. 18.08.08; опубл. 20.02.10, Бюл. № 5.

7. Пат. 2440200 Российская Федерация, МПК В 09 С 1/02. Способ очистки загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта / Кузнецов О. Ю., Кручинина Н. Е., Тихонова И. О. [и др.]. № 2010123685/13; заявл. 10.06.10; опубл. 20.01.12, Бюл. № 2.

8. Ларионов К. С., Холкин Е. Г., Штриплинг Л. О. Ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в Арктической зоне России с использованием технологии реагентного капсулирования // *Арктика: экология и экономика*. 2017. № 1 (25). С. 120–129.

9. Shtripling L. O., Kholkin E. G. Development of Provisions for Oil Contaminated Soil Neutralizing in the Conditions of Siberia and the Arctic // *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1876, Issue 1. DOI: 10.1063/1.4998848.

10. Волков А. И., Жарский И. М. Большой химический справочник. Мн.: Современная школа, 2005. 608 с. ISBN 985-6751-04-7.

11. Пат. 157884 Российская Федерация, МПК В 09 С 1/08. Установка для обезвреживания нефтезагрязненных почв, грунтов и нефтешламов / Ларионов К. С., Холкин Е. Г., Штриплинг Л. О. № 2015130193/13; заявл. 21.07.15; опубл. 20.12.15, Бюл. № 35.

ШТРИПЛИНГ Лев Отгович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Промышленная экология и безопасность», проректор по учебно-методической работе.

SPIN-код: 9285-8565

AuthorID (РИНЦ): 157285

ORCID: 0000-0002-2622-9108

AuthorID (SCOPUS): 56504001800

ResearcherID: T-8953-2018

Адрес для переписки: losht59@mail.ru

ХОЛКИН Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность».

SPIN-код: 7578-1104

ORCID: 0000-0002-6681-3237

AuthorID (SCOPUS): 56503973800

ResearcherID: Y-1112-2019

Адрес для переписки: holkin555@mail.ru

МЕРКУЛОВ Василий Васильевич, старший преподаватель кафедры «Промышленная экология и безопасность».

SPIN-код: 5478-3524

AuthorID (РИНЦ): 834906

ORCID: 0000-0001-9062-1297

ResearcherID: O-7758-2016

Адрес для переписки: mvv055@mail.ru

Для цитирования

Штриплинг Л. О., Холкин Е. Г., Меркулов В. В. Повышение эффективности установки по обезвреживанию нефтезагрязненной почвы в условиях низких температур // *Омский научный вестник*. 2020. № 4 (172). С. 5–8. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-172-5-8.

Статья поступила в редакцию 18.06.2020 г.

© Л. О. Штриплинг, Е. Г. Холкин, В. В. Меркулов