

М. Л. СОРОКА, Л. А. ЯРЫШКИНА (ДИИТ)

## СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ ЭМИССИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОРБЕНТАМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ ДЛЯ ИХ ЛИКВИДАЦИИ

У статті розглянуто процеси та фактори, які пов'язані з розвитком аварійної емісії вуглеводнів при їх транспортуванні залізничним транспортом. Запропоновано загальні вимоги до сорбентів, які використовують для ліквідації аварійних емісій вуглеводнів на залізничному транспорті.

*Ключові слова:* аварійна емісія вуглеводнів, вимоги до сорбентів, сорбенти вуглеводнів, залізничний транспорт

В статье рассмотрены процессы и факторы, связанные с развитием аварийной эмиссии углеводородов при их перевозке железнодорожным транспортом. Предложены основные требования к сорбентам, применяемым для ликвидации аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте.

*Ключевые слова:* аварийная эмиссия углеводородов, требования к сорбентам, сорбенты углеводородов, железнодорожный транспорт

The processes and factors associated with the development of emergency emissions of hydrocarbons during their transportation by rail are considered in the article. Basic requirements to sorbents used to eliminate emergency emissions of hydrocarbons on railway transport are offered.

*Keywords:* emergency emissions of hydrocarbons, requirements to sorbents, sorbents of hydrocarbons, railway transport

### 1. Введение

В последние годы проблема экологически безопасной транспортировки опасных грузов становится все более актуальной. В особенности это касается наземного транспорта. Более пяти тысяч наименований экологически опасных грузов ежегодно транспортируется железными дорогами во всех направлениях. Особое место среди них занимают грузы группы нефтепродуктов, к которым относятся различные углеводороды и их композиции. В последние годы наблюдается увеличение объема перевозок нефтепродуктов железными дорогами Украины [1]. В свою очередь увеличение объемов транспортировок и использования углеводородов в различных отраслях народного хозяйства приводит к увеличению числа внештатных ситуаций при транспортных операциях и общего объема эмиссий углеводородов в окружающую среду.

Аварийные эмиссии углеводородов на железнодорожном транспорте происходят вследствие нарушения правил транспортировки грузов [2] – разливы в процессах налива и слива грузов, негерметичность котлов цистерн, неисправность запорной арматуры. Наиболее значительные эмиссии характерны для аварий при непосредственной транспортировке углеводородов – на магистралях и железнодорожных

узлах. Подобные аварии сопровождаются выбросами загрязнителей в окружающую среду на уровне десятков тон и представляют значительную угрозу экологической безопасности. Именно подобные эмиссии выбраны объектом исследования в данной работе.

Решение проблем, связанных с ликвидацией подобного рода эмиссий, является важной научно-технической задачей по обеспечению экологической безопасности наземного транспорта.

### 2. Постановка цели и задачи исследования

В результате аварийной эмиссии углеводородов в окружающую среду образуется сложная, многокомпонентная система «углеводород – окружающая среда», обладающая рядом общих и индивидуальных физико-химических свойств. Данные свойства и особенности подобной системы непосредственно влияют на применение того или иного поглотителя углеводородов, технологию ликвидации и эффективность иммобилизации эмитента в целом. Поиск и описание специфических свойств системы «углеводород – окружающая среда», нахождение устойчивых связей между данными свойствами и эффективностью иммобилизации (сорбции в частности) эмитента является ключевым в вопросе выбора наиболее рациональ-

ного поглотителя углеводородов и технологии его применения.

Большое количество научных работ посвящено поиску новых сорбентов углеводородов и технологий их применения [3 – 9]. Общей их чертой является отсутствие направленного анализа свойств полученных сорбентов на условия их применения. В некоторых работах [4, 6, 8, 10, 11] мы можем найти выборочные обобщения факторов, влияющих на эффективность работы сорбентов углеводородов. Зачастую эти факторы связаны с природой самих сорбентов и не раскрывают условия окружающей среды, влияющие на эффективность ликвидационных мероприятий. Наиболее детальный анализ в этом направлении проведен для аварийных эмиссий нефтепродуктов на водных объектах [12].

Исходя из сказанного выше, целью данной работы является обоснование базового набора требований к материалам ликвидации эмиссий углеводородов с учетом специфики протекания аварийной ситуации на железнодорожном транспорте.

Для реализации поставленной цели в работе необходимо выполнить анализ факторов, влияющих на процесс ликвидации аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте, выявить взаимосвязи этих факторов с эффективностью иммобилизации эмитента в окружающей среде и сформулировать обоснованные требования к поглотителям (сорбентам) углеводородов.

### 3. Результаты исследования

Для того чтобы сформулировать основные требования, предъявляемые к материалам ликвидации (поглотителям) эмиссий углеводородов, необходимо определить условия протекания процессов иммобилизации (поглощения) эмитента и специфические характеристики системы «углеводород – окружающая среда». Для этого было рассмотрено несколько сценариев развития аварийных ситуаций при перевозке углеводородов железнодорожным транспортом. Организация и построение сценариев развития аварийной ситуации основаны на рассмотрении случаев аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте, опыте ликвидационных мероприятий и рекомендациях, представленных в ряде отечественной и зарубежной литературы [2, 3, 6, 13 – 15]. Подобный анализ позволит прогнозировать сценарии развития аварий при транспортировке углеводородов, моделировать пути распространения загрязне-

ния в окружающей среде и определить условия и факторы проведения ликвидационных мероприятий.

#### 3.1 Анализ условий, характерных для эмиссии углеводородов

За основу анализа принято крушение состава цистерн на железнодорожном перегоне на пересеченной местности вблизи поверхностного водоема и зоны смешанной растительности. Это позволит учесть различные условия развития аварийной ситуации и построить схемы сценария в нескольких уровнях анализа, таких как:

- источники эмиссии углеводородов;
- места локализации пролитых углеводородов;
- миграция углеводородов в окружающей среде;
- факторы риска.

**Источники эмиссий углеводородов.** Во время аварий при транспортировке углеводородов железнодорожным транспортом первичными источниками эмиссии являются непосредственно цистерны с различной степенью разгерметизации котла. В условиях высокой миграционной способности загрязнителя и элементов ландшафта место локализации разлива углеводородов также следует отнести к источникам эмиссии. К вторичным источникам эмиссии возможно отнести зоны накопления пролитого груза в условиях его перегрева, возгорания или взрыва.

**Места локализации углеводородов.** Железные дороги сосредоточены во всех природных и искусственных типах ландшафтов – пересеченная местность, горы, водоемы, леса, земли сельскохозяйственного назначения и прочее. Это в особенности увеличивает спектр возможных мест локализации загрязнителя и усложняет анализ. В условиях разгерметизации котла цистерны вблизи железнодорожного полотна эмиссия груза будет сосредоточена в природных понижениях рельефа, в местах стекания груза к зонам локализации, на поверхности искусственных сооружений и водных объектов. Таким образом, углеводороды, требующие иммобилизации в окружающей среде, будут сосредоточены на поверхности грунта, растительности, железобетонных и металлических конструкций верхнего строения пути и подвижного состава.

**Миграция углеводородов.** Специфика локализации пролитого груза тесно связана с его миграцией. Он мигрирует в окружающей среде,

стекая по поверхности грунта и элементам дренажной системы земляного полотна, проникая в различные природные среды. В случае загрязнения водоемов, эмитент растекается по поверхности воды и мигрирует в ее толщу. Пролитые углеводороды могут инфильтроваться в грунт, заполняя его поровое пространство и загрязняя подземные водоносные горизонты. Аспектом миграции в атмосфере является испарение загрязнителя как непосредственно с его поверхности, так и со смоченных им поверхностей различного рода.

**Факторы риска.** Все углеводородные грузы, перевозимые железнодорожным транспортом, относятся к горючим и легковоспламеняющимся веществам. Поэтому фактором риска, в рамках данного анализа, рационально выбрать способность груза к воспламенению, горению и взрыву. С учетом фактора риска следует дополнить некоторые уровни анализа. Например, при воспламенении углеводорода основные загрязнители – продукты горения, при этом место локализации пролитого груза станет источником загрязнения окружающей среды. В дополнении к выше сказанному, в подобных условиях проведение ликвидационных мероприятий по локализации и иммобилизации разлива в окружающей среде будет затруднено. Многие этапы, характерные для мероприятий с использованием сорбционных технологий, будут невозможны.

### **3.2 Построение структурно-логической схемы развития аварийной эмиссии при перевозке углеводородов**

Для определения доминирующих факторов, влияющих на процессы поглощения пролитого груза необходимо представлять четкие взаимосвязи между условиями протекания аварийной ситуации и параметрами окружающей среды. Для этого нами были обобщены данные, характеризующие развитие залповых эмиссий углеводородов при крушении железнодорожного состава. В рамках данной схемы предусмотрено распространение углеводородов в окружающей среде в трех направлениях, которые зависят от масштаба и специфики протекания аварийной ситуации, а именно:

- растекания углеводородов по ландшафту, локализация загрязнения на поверхности грунта, миграция в атмосферу, грунтовые воды и поверхностные водоемы;
- распространение загрязнения по зеркалу природного или искусственного водоема;

- распространение загрязнения в окружающую среду с учетом факторов возгорания, перегрева или взрыва груза.

Результаты данного обобщения представлены на структурно-логической схеме (рис. 1). Данные анализа условий, характерных для аварийных эмиссий углеводородов были сгруппированы в блоки и представлены в виде древа событий.

### **4. Обсуждение результатов исследования**

В сорбционных технологиях ликвидации аварийных эмиссий углеводородов иммобилизация эмитента в окружающей среде достигается использованием специальных поглощительных материалов различной природы – сорбентов [2]. Эффективность их применения характеризуется несколькими показателями, которые зависят от природы и способа действия сорбента, свойств поглощаемого вещества и показателей окружающей среды. Наиболее значительные из них – максимальная поглощительная способность, скорость насыщения (достижения максимальной поглощительной способности) и влияние влажности на показатели сорбции.

Данные показатели эффективности использования сорбентов были проанализированы в рамках структурно-логической схемы развития аварийной эмиссии углеводородов. Подобный анализ выявил основные требования, которые необходимо предъявить к поглощителям углеводородов для максимальной эффективности их применения (табл. 1).

Общие требования, предъявляемые к сорбентам углеводородов, продиктованы общей спецификой проведения ликвидационных мероприятий.

Фактором риска в представленных сценариях развития аварийной ситуации выступает возможность возгорания или взрыва углеводородов или их газозооных смесей. Поэтому для снижения риска ликвидационные команды будут использовать водяные завесы и создание водно-пенной пленки на поверхности груза в зоне локализации. Это в свою очередь вызовет ухудшение оптимальных условий сорбции за счет сильного повышения влажности окружающей среды. Возможность образования системы «углеводород – вода» и тонких пленок углеводородов на поверхности воды объясняет требование к высокой гидрофобности сорбента, возможности селективной сорбции и плавучести в ненасыщенном и насыщенном состоянии.

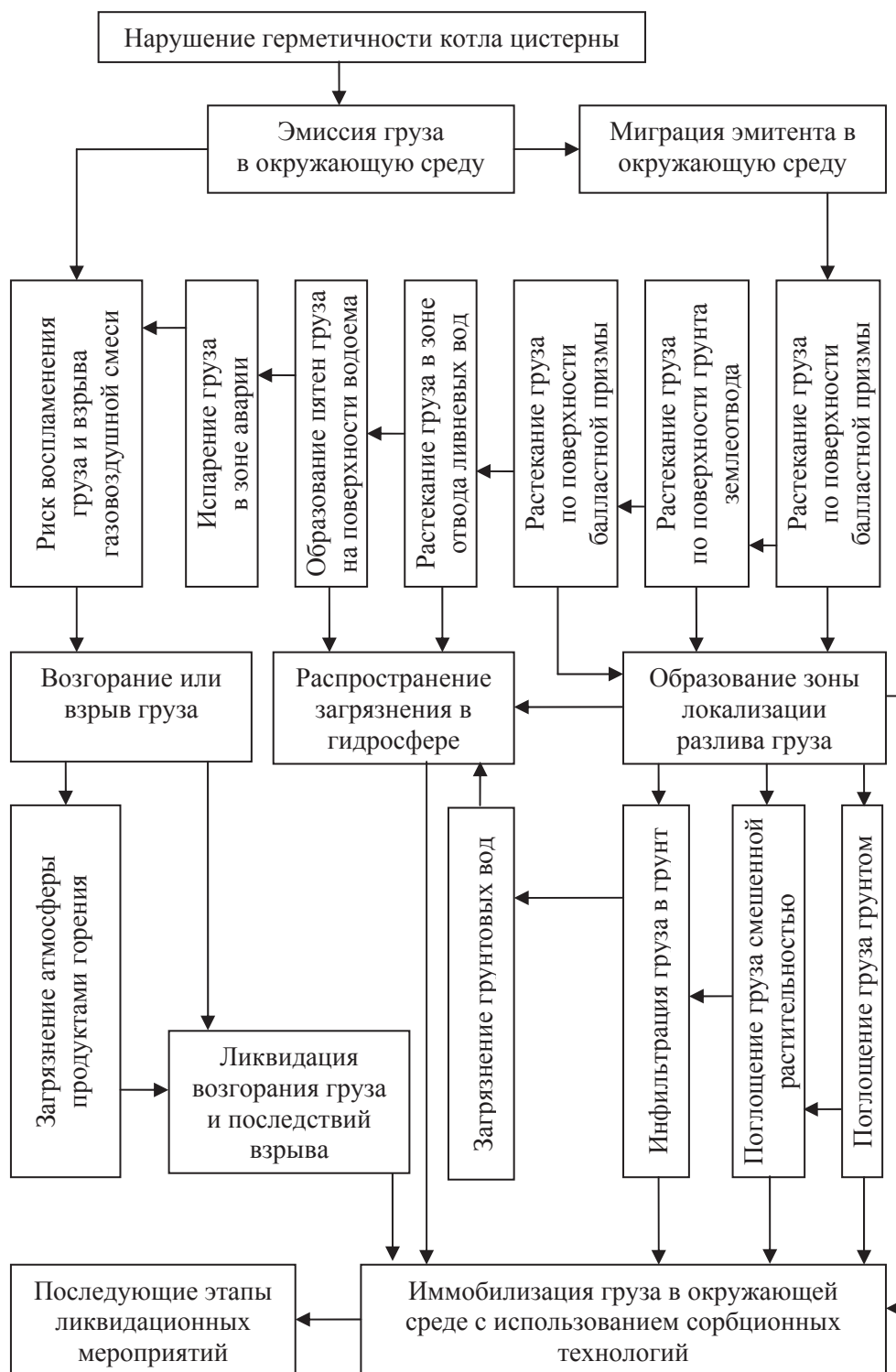


Рис. 1. Структурно-логическая схема развития аварийной эмиссии углеводородов при их перевозке на железнодорожном транспорте

Высокая скорость распространения углеводородных пленок на поверхности воды требует от сорбента значительной скорости сорбции.

В условиях поглощения горючей жидкости необходимо максимально минимизировать не только возникшее возгорание, но и потенциальную возможность распространения пламени

на поверхности углеводорода и системы «углеводород – сорбент». Для этих целей в состав сорбента рационально включить инертные компоненты и вещества, которые поглощают тепловую энергию или выделяют газы, не поддерживающие горение. В данном контексте у

неорганических сорбентов явное преимущество перед органическими.

Локализация пролитых углеводородов на поверхностях различного рода с учетом интен-

сивного испарения и возможности воспламенения требует минимизации времени насыщения сорбента, то есть расположения углеводородов в зоне риска.

Таблица 1

**Требования к сорбентам, применяемым для ликвидации аварийных эмиссий углеводородов на железнодорожном транспорте**

Условия развития аварийной ситуации и факторы рисков	Требования к сорбентам углеводородов
Общие требования	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокие показатели поглотительной способности;</li> <li>– отсутствие токсичных компонентов;</li> <li>– отсутствие специальных условий хранения и технологии применения;</li> <li>– способность к многократному применению;</li> <li>– простота утилизации</li> </ul>
Возможность перегрева, возгорания и взрыва груза	<ul style="list-style-type: none"> <li>– минимальное содержание горючих веществ;</li> <li>– отсутствие взрывоопасных компонентов и сильных окислителей;</li> <li>– сорбент не образует токсичные продукты горения;</li> <li>– содержание веществ, которые уменьшают скорость распространения пламени;</li> <li>– высокая скорость насыщения и диффузии во внутренние слои сорбента</li> </ul>
Возможность локализации груза на поверхностях различного рода (грунт, поверхность воды, растительность и т.д.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– универсальность использования;</li> <li>– высокая скорость насыщения;</li> <li>– значительная гидрофобность;</li> <li>– тенденция к уменьшению фракции;</li> <li>– стабильность структуры в насыщенном состоянии</li> </ul>
Возможность образования систем «углеводород-вода». Значительная влажность окружающей среды	<ul style="list-style-type: none"> <li>– значительная гидрофобность;</li> <li>– большая скорость сорбции, низкая скорость десорбции;</li> <li>– способность к селективной сорбции;</li> <li>– высокая плавучесть сорбента;</li> <li>– доминирование адсорбции над абсорбцией</li> </ul>

Для выполнения данного требования сорбент должен обладать высокой поглотительной способностью, скоростью насыщения и универсальностью применения. Также сорбент должен обладать возможностью поглощения тонких пленок углеводородов с металлических поверхностей цистерн.

Интенсивность испарения груза и высокий риск взрыва газовой смеси требует от сорбента ряда специфических свойств. Среди них возможно выделить доминирование сорбции внешними слоями над внутренними и большую скорость диффузии адсорбата в гранулу сорбента.

**5. Выводы**

В работе проведен анализ условий, характерных для развития залповых эмиссий углево-

родов при их перевозке железнодорожным транспортом и построена структурно-логическая схема развития подобных аварийных эмиссий. Основываясь на результатах анализа, были выявлены специфические особенности системы «углеводород - окружающая среда», определяющие процессы иммобилизации пролитых углеводородов в окружающей среде. Данные особенности проанализированы в контексте проведения ликвидационных мероприятий и сгруппированы в логические блоки, характеризующие требования к поглотителям (сорбентам) углеводородов. Универсальность использования, значительная гидрофобность, высокая скорость насыщения и пожарная безопасность - наиболее важные из этих требований. Дополнительно сформированы списки второстепенных требований к поглотителям



(сорбентам) углеводородов, характерных для определенных условий иммобилизации или типа локализации разлива.

Результаты работы могут быть использованы при выборе оптимальных материалов для ликвидации экологических последствий эмиссий углеводородов. Предложенные анализ факторов и структурно-логическую схема могут стать основой для разработки концепции оптимизации выбора технологий ликвидации на этапе планирования системы безопасности перевозки опасных грузов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Довідник основних показників роботи залізниць України (1997-2007) [Текст] : норм.-тех. видання / підг. під кер. Н. В. Котіль; Мінтрансзв'язку України. – К., 2008. – С. 6.
2. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения [Текст] : монография / В. Н. Плахотник [и др.]. – К.: Транспорт України, 2001. – С. 150-161.
3. Porous materials for oil spill cleanup [Text] / M. O. Adebajo [et al.] // J. of Porous Materials. – 2003. – 10. – P. 159-170.
4. Surface characterisation of selected sorbent materials for common hydrocarbon fuels [Text] / R. Frost [et al.] // Surface Science. – 601 (9). – P. 2066-2076.
5. Использование отходов металлургического производства для удаления нефтепродуктов с поверхности воды и почвы [Текст] / Ю. К. Рубанов [и др.] // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строво и архит. – 2010. – Вып. 17 (36). – С. 132-134.
6. Шеметов, А. В. Использование сорбентов волокнистой структуры для извлечения нефтехимических продуктов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 02.00.13 / Шеметов Алексей Викторович; Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – Уфа, 2002. – С. 7, 9-10.
7. Семенович, А. В. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород [Текст] / А. В. Семенович, С. Р. Лоскутов, Г. В. Пермякова // Химия растительного сырья. – 2008. – № 2. – С. 113-117.
8. Зеленко, Ю. В. Поглощительная способность материалов, используемых для ликвидации транспортных аварий с нефтепродуктами [Текст] / Ю. В. Зеленко, В. Н. Плахотник // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – С. 35-37.
9. Завьялов, В. С. Сорбционная емкость материалов по отношению к нефтепродуктам [Текст] / В. С. Завьялов // Экология и промышленность России. – Август 2006. – С. 7-9.
10. Сироткина, Е. Е. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов [Текст] / Е. Е. Сироткина, Л. Ю. Новоселова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – № 13. – С. 359-377.
11. Гурулева, Я. П. Применение сорбентов при ликвидации аварийных ситуаций, связанных с разливом нефти и нефтепродуктов [Текст] / Я. П. Гурулева, С. С. Утенков // МИКС-2009. Сб. тр. Межвуз. итоговой конф. студ. – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – С. 25-27.
12. Мерициди, И. А. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности водоемов [Текст] / И. А. Мерициди, А. В. Шлапаков // Вестник УКАНГ. – 2007. – № 4. – С. 52-57.
13. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории. Разработано МВД Российской Федерации [Текст]: согласовано письмом Главн. упр. Гос. противопожарной службы МВД России № 20/3.2/2125 от 12 сентября 1996 г.
14. Азаренко, Е. В. Модель развития чрезвычайной ситуации, вызванной разливом нефтепродуктов [Текст] / Е. В. Азаренко, Ю. Ю. Гончаренко, М. И. Ожиганова // Зб. наук. пр. СНУЯетаП. – 2009. – № 1. – С. 202-207.
15. Проблемні питання гасіння пожежі і ліквідації наслідків аварій на залізничному транспорті під час перевезення небезпечних вантажів [Текст] / В. Г. Дудченко [та ін.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2008. – № 2 (18). – С. 13-16.

Поступила в редколлегию 25.01.2011.

Принята к печати 27.01.2011.