В.П. Назаров[1], С.В. Чувилин[2]
([1]Академия ГПС МЧС России, [2]Нижегородский учебный центр ФПС;
e-mail: chuvilin-sv@mail.ru)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ ОГНЕТУШАЩИХ ПОРОШКОВ НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Приведён анализ вариантов снижения пожарной опасности разливов нефтепродуктов при обработке адсорбционными огнетушащими порошками. Предложена методика определения размера зон взрывоопасных концентраций с поверхности разлива ЛВЖ, обработанного адсорбционным огнетушащим порошком.
Ключевые слова: ликвидация, разлив, нефтепродукты, адсорбция, порошок.

V.P. Nazarov, S.V. Chuvilin

INFLUENCE ESTIMATION ADSORPTION FIRE EXTINGUISHING POWDER ON FIRE DANGER OF FLOODS OF OIL PRODUCTS

Analysis of options to reduce fire hazard of oil spills in the processing of the adsorption of fire extinguishing powder. Proposed a method for determining zones of explosive concentrations of flammable liquids from the surface of the spill, treated by adsorption of fire extinguishing powder.
Key words: liquidation, flood, oil products, adsorption, powder.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 3 февраля 2011 г.

Введение

Развитие нефтепромышленного комплекса России влечёт за собой увеличение количества аварий, связанных с разливом нефтепродуктов. Согласно данным Министерства по природным ресурсам и экологии, на территории России за 2003-2008 гг. в среднем ежегодно происходит порядка 60 крупных аварий и около 20 *тыс.* случаев, сопровождающихся значительными разливами нефти. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, имеющие место на объектах нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, при транспортировке и использовании этих продуктов наносят ощутимый вред экосистемам, приводят к негативным экономическим и социальным последствиям. Согласно [1], вследствие значительного износа оборудования количество аварий с разливом нефти и нефтепродуктов ежегодно увеличивается.

Согласно [2], планы ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в основном содержат мероприятия, направленные на локализацию разлива и быстрый сбор нефтепродуктов, при этом мало внимания уделяется вопросам обеспечения пожаровзрывобезопасности. При разливе продуктов нефтеочистки или легкой нефти-сырца на начальных этапах инцидента будет происходить испарение углеводородных паров с образованием зон взрывоопасных концентраций, при этом вследствие механического сбора нефтепродуктов возможные источники зажигания могут быть причиной взрывов и воспламенения взрывоопасных смесей паров.

Для снижения скорости испарения нефтепродуктов и размеров зон взрывоопасных концентраций предлагается обрабатывать аварийный разлив адсорбционными огнетушащими порошками [3, 4].

Существуют аналитические методы расчёта максимального размера взрывоопасных зон при испарении горючих жидкостей. Данные расчёты входят в систему расчёта величин пожарного риска на производственных объектах, нормативные значения которых установлены в соответствии с [5].

Согласно [5], радиус $R_{НКПР}$ (*м*) и высота $Z_{НКПР}$ (*м*) зоны, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), при неподвижной воздушной среде определяется по формулам:

для паров ЛВЖ

$$R_{НКПР} = 3{,}2 \cdot \left(\frac{T}{3600}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{НКПР}}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_П}{\rho_П \cdot P_H}\right)^{0,33}; \quad (1)$$

$$Z_{НКПР} = 0{,}12 \cdot \left(\frac{T}{3600}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{НКПР}}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_П}{\rho_П \cdot P_H}\right)^{0,33}, \quad (2)$$

где $m_П$ – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, *кг*;

$\rho_П$ – плотность паров ЛВЖ при расчётной температуре, *кПа*;

P_H – давление насыщенных паров при расчётной температуре, *кПа*;

T – продолжительность поступления паров в открытое пространство, *с*;

$C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени паров, *% об.*

Давление насыщенных паров будет определяться по справочным данным по уравнению Антуана:

$$LgP_{нас} = A - \frac{B}{C + t}, \quad (3)$$

где $P_{нас}$ – давление насыщенного пара жидкости, *мм рт. ст.*;

t – температура жидкости, °С;

A, B, C – эмпирические коэффициенты, определяемые по справочным данным.

Перевод давления насыщенных паров из *мм рт. ст.* в *кПа* определяется по формуле:

$$P_{нас} = P_{нас}(мм\ рт.\ ст.) \cdot 0{,}1333;\ кПа. \quad (4)$$

Плотность паров ЛВЖ при расчётной температуре определяется по формуле:

$$\rho_V = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot t_0)}, \quad (5)$$

где ρ_V – плотность паров ЛВЖ, *кг/м*^{3};

M – молярная масса паров ЛВЖ, *кг/кмоль*;

V_0 – мольный объем, равный 22,413 *м*^{3}*/кмоль*;

t_0 – расчётная температура, ОС.

Масса паров ЛВЖ при испарении со свободной поверхности в резервуаре определяется по формуле:

$$m_V = G \cdot \tau, \qquad (6)$$

где G – расход паров ЛВЖ, *кг/с*, определяется по формуле:

$$G = F \cdot W; \qquad (7)$$

τ – время поступления паров из резервуара, *с*;

F – максимальная площадь поверхности испарения ЛВЖ в резервуаре, $м^2$;

W – интенсивность испарения ЛВЖ, $кг/(м^2 \cdot с)$ для ненагретых жидкостей, определяется по формуле:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \qquad (8)$$

где η – коэффициент, принимаемый для помещений в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения [6];

M – молярная масса жидкости, *кг/кмоль*;

P_H – давление насыщенного пара при расчётной температуре жидкости, *кПа*.

Согласно [6], проведены расчёты по испарению паров гексана с поверхности разлива стандартного очага 55 *В* при температурах 10 °С, 20 °С и 50 °С.

Результаты расчётов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчётов по испарению паров гексана при температурах 10 °С, 20 °С и 50 °С

Наименование параметра	**Гексан**		
	Температура, °С		
Температура	10	20	50
Давление насыщенного пара, *Па*	1344,91	2155,453	7215,276
Плотность паров, $кг/м^3$	3,71112	3,584238	3,2508
Интенсивность испарения, $кг/м^2\ с$	1,2E-05	2E-05	6,7E-05

Время, *мин*	**1**	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Гексан при температуре 10 °С								
m паров, *кг*	0,0216	0,215991	0,647972	1,295943	3,887829	6,479715	12,95943	0,0216
R, *м*	0,00945	0,063858	0,158938	0,282542	0,703223	1,074552	1,910215	0,00945
H, *м*	0,00035	0,002395	0,00596	0,010595	0,026371	0,040296	0,071633	0,00035
Гексан при температуре 20 °С								
m паров, *кг*	0,0346	0,346	1,038	2,076	6,228	10,38	20,76	0,0346
R, *м*	0,01393	0,094182	0,234413	0,416712	1,037161	1,584823	2,817317	0,01393
H, *м*	0,00052	0,003527	0,008779	0,015607	0,038845	0,059357	0,105517	0,00052
Гексан при температуре 50 °С								
m паров, *кг*	0,11591	1,1591	3,4773	6,9546	20,8638	34,773	69,546	0,11591
R, *м*	0,03783	0,255761	0,636569	1,131619	2,816506	4,303732	7,650681	0,03783
H, *м*	0,00142	0,009579	0,023842	0,042383	0,105487	0,161188	0,286542	0,00142

По данным расчёта можно построить график зависимости максимального радиуса зоны взрывоопасных концентраций (ВОК), ограниченной НКПР гексана при температурах окружающей среды 10 °С, 20 °С и 50 °С. (рис. 1.)

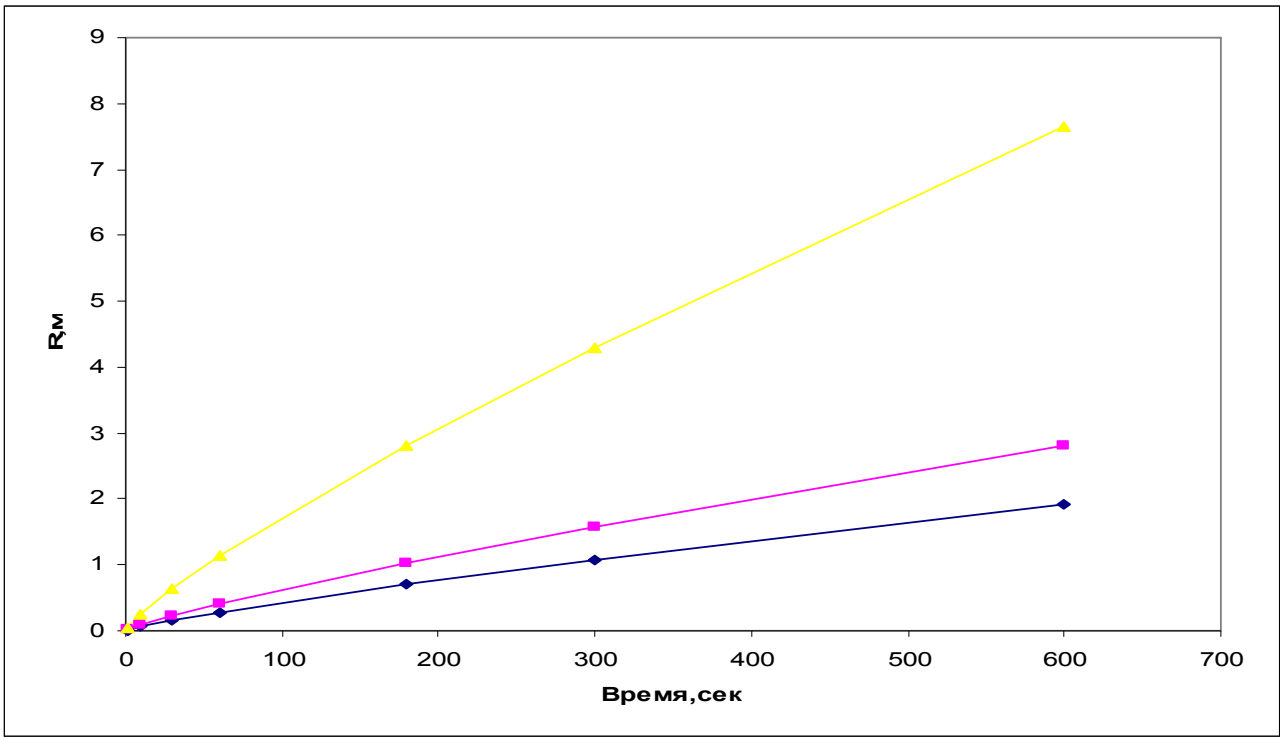

Рис. 1. График распространения зоны ВОК паров гексана при различных температурах окружающей среды: Δ – 50 °С, □ – 20 °С, ◊ – 10 °С

Из графика видно, что с повышением температуры окружающей среды и температуры нефтепродукта возможно быстрое распространение зоны ВОК паров нефтепродуктов.

Для оценки влияния адсорбционного порошка на параметры пожаро-взрывоопасной паровоздушной среды разработана ***методика определения размеров зон взрывоопасных концентраций*** при испарении паров ЛВЖ со свободной поверхности и после обработки адсорбционным огнетушащим порошком с использованием результатов натурных экспериментов.

Оборудование и метод проведения экспериментов

Цель эксперимента – оценить влияние адсорбента на пожарную опасность нефтепродукта, а именно – на скорость нарастания и максимальные размеры зоны взрывоопасной концентрации.

Метод основан на определении размера зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени паров ненагретых легковоспламеняющихся жидкостей до и после обработки адсорбционным огнетушащим порошком.

Аппаратура и материалы.

Для проведения эксперимента в качестве ЛВЖ использовались н-гексан и бензин марки АИ-93, в качестве адсорбента – шунгит с размером частиц 50 *мкм*.

Разлив нефтепродукта имитировался в модельном очаге, который представляет собой круглый противень из листовой стали диаметром (1480 ± 15) *мм*, высотой (230 ± 5) *мм* и толщиной стенки 2,5 *мм*. Площадь очага 1,73 $м^2$.

Методика проведения экспериментов

В противень наливается расчётное количество нефтепродукта, которое согласно [6] определяется по формуле:

$$V_{Ж} = \frac{F_{пр}}{f_p}, м^3, \qquad (9)$$

где $F_{пр}$ – будет равна площади модельного очага 1,73 $м^2$;

f_P – коэффициент разлития, $м^{-1}$ (при отсутствии данных допускается принимать равным 20 $м^{-1}$ – при проливе на грунтовое покрытие, 150 $м^{-1}$ – при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие).

Пороговый сигнал газоанализатора настраивается на НКПР ЛВЖ (например, н-гексана).

Через определенные промежутки времени путем плавного подвода зонда газоанализатора к месту разлива ЛВЖ до срабатывания звукового или светового сигнала замеряются размеры зон, ограниченных НКПР ЛВЖ.

Так как пары исследуемых жидкостей тяжелее воздуха, то высоту зоны (H, *м*) замеряют над разливом жидкости, радиус зоны (R, *м*) – на уровне пола.

Замеры проводятся в течение 1 часа с периодичностью в 10 минут и заносятся в протокол испытаний.

Затем с помощью модуля порошкового пожаротушения или огнетушителя на поверхность ЛВЖ равномерно подается расчётное количество адсорбента до полной адсорбции ЛВЖ.

Расчётное количество адсорбента определяется по формуле

$$S_{уд} = \frac{1}{A_v}, г/мл, \qquad (10)$$

где A_V – величина адсорбционной активности адсорбционно-активного огнетушащего порошка для различных нефтепродуктов – можно рассчитать по формуле

$$A_v = A \cdot \frac{M}{\rho} \cdot K_{ад} \cdot \frac{298}{T}, мл/г, \qquad (11)$$

где A – величина мольной адсорбции нефтепродуктов (определяется экспериментально);

M – средняя молекулярная масса нефтепродукта, *г/моль*;

ρ – плотность нефтепродукта, *кг/л*;

$K_{ад}$ – коэффициент адсорбента (для шунгита дисперсностью 0,05 *мм* равен 1);

T – температура окружающей среды, *К*.

Для исключения влияния загазованности помещения противень с адсорбатом переносится в другое помещение, где в течение 1 часа определяются размеры взрывоопасных зон при испарении с поверхности адсорбата.

Принципиальная схема эксперимента представлена на рис. 2.

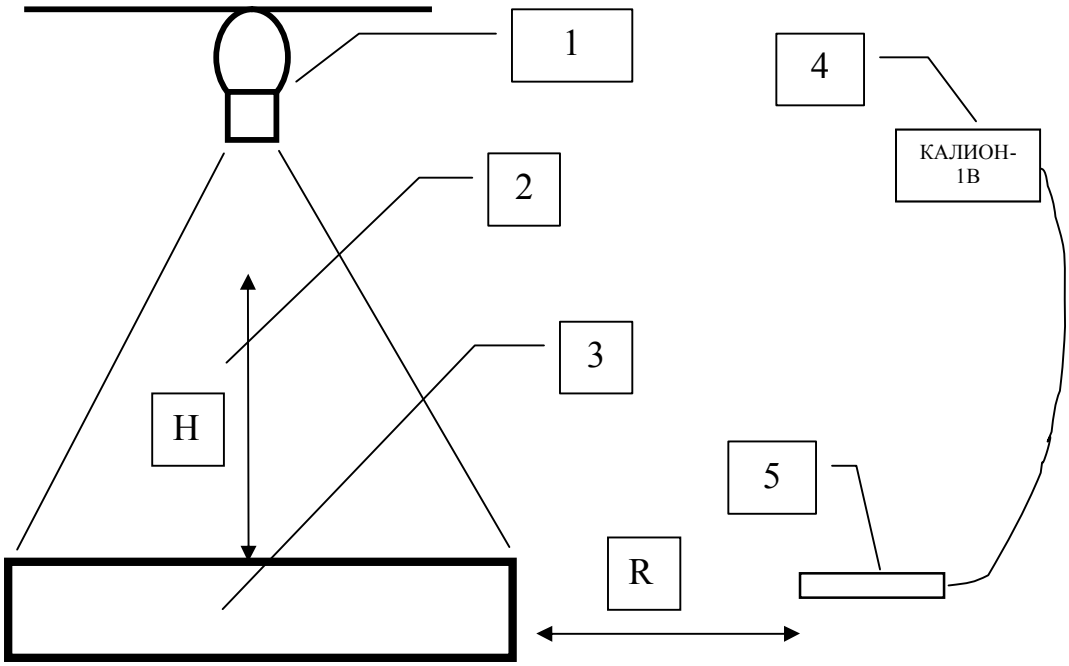

Рис. 2. Принципиальная схема эксперимента:
1 – модуль порошкового пожаротушения; 2 – струя адсорбционного огнетушащего порошка; 3 – противень с разливом ЛВЖ; 4 – Прибор "КАЛИОН-1В"; 5 – измерительный зонд прибора "КАЛИОН-1В"

Вывод

Полученные в ходе экспериментов результаты помогут оценить влияние обработки аварийного разлива ЛВЖ адсорбционным огнетушащим порошком на распространение зон ВОК и разработать мероприятия по снижению размеров взрывоопасных зон.

Литература

1. ***Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.*** Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Ин-октаво, 2005. 368 с.

2. ***Приказ*** МЧС России от 28 декабря 2004 года № 621 "Об утверждении правил разработки и согласования планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации".

3. ***Чувилин С.В.*** Огнетушащие порошковые составы двойного назначения // Матер. 14-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности" – СБ-2006. М.: Академия ГПС МЧС России, 2006.

4. ***Назаров В.П. Чувилин С.В. Коротовских Я.В.*** Информатизация инновационных методов ликвидации аварийных розливов нефти и нефтепродуктов в акватории морской среды // Матер. 19-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности" – СБ-2010. –М.: Академия ГПС МЧС России, 2010.

5. ***Федеральный*** закон Российской Федерации от 22.07.2008 года № 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

6. ***Приказ*** МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 "Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах".