

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРЮЧИХ ПАРОВ В СВОБОДНОМ ОБЪЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**А.Н. Емельянова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**А.А. Жданова.**

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет).**

**А.В. Иванов, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Углеродные наночастицы способствуют изменению скорости испарения паров, что, в свою очередь, приводит к повышению температуры вспышки.

*Ключевые слова:* горючие пары, температура вспышки, углеродные наночастицы, горючие жидкости

## MODELLING DISTRIBUTION CONCENTRATION COMBUSTIBLE VAPOURS IN THE FREE VOLUME OF TECHNOLOGICAL DEVICES

A.N. Emelyanova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.A. Zhdanova.

Saint-Petersburg state technological institute (technical university).

A.V. Ivanov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The flash point of kerosene raises by a large amount with the small concentration of carbon nanotubes. The impact of variable frequency-modulated capacity is prevents the formation agglomerations nanoparticles.

*Keywords:* combustible couples, flash temperature, carbon nanotubes, combustible liquids

На объектах нефтепромышленности обращаются разнообразные по физико-химическим и пожароопасным свойствам горючие вещества. Испарение горючих жидкостей во внутреннем пространстве аппаратов, трубопроводов может послужить причиной возникновения пожара.

24 мая 2013 г., в 21.08, произошло возгорание паров реакционной смеси в цехе № 50 ОАО «Химпром» в г. Новочебоксарске. Производство продукции в цехе № 50 прекращено, технологическая установка остановлена.

13 ноября 2012 г. на нефтебазе г. Красноярска воспламенились пары бензина в результате разгерметизации одного из резервуаров емкостью 3 тыс. кубометров, в котором находилось около 40 т легковоспламеняющейся жидкости. Возгорание локализовано, угроза распространения пожара предотвращена [1].

Испарение представляет собой переход вещества из жидкого состояния в газообразное (пар), происходящее со свободной поверхности жидкости. Кинетическая энергия молекул вещества при этом превышает потенциальную энергию их связи с остальными частицами вещества. Испарение жидкости происходит при любой температуре и с любой площади поверхности. Разные вещества имеют разные плотности.

Под испаряемостью обычно подразумевается совокупность физических параметров горючей жидкости, обуславливающих скорость испарения, тепловые эффекты при испарении, условия равновесного испарения, которые влияют на образование паровзрывоопасной среды.

Характерной особенностью практически всех легковоспламеняющихся и горючих жидкостей является способность их к испарению при любых условиях. Над поверхностью горючей жидкости всегда находятся их пары, которые, смешиваясь с воздухом, могут образовывать взрывоопасные смеси. При таком состоянии жидкости возможна только вспышка паров или вспышка паров и возникновение устойчивого горения самой жидкости [2]. Установлено, что с повышением температуры скорость испарения жидкости возрастает, так как возрастает средняя кинетическая энергия ее молекул. Скорость испарения жидкости зависит от рода вещества, от площади поверхности испарения, от температуры жидкости, от скорости удаления паров с поверхности жидкости.

Горючесть паровоздушной смеси определяется соотношением паров жидкости и окислителя. Концентрация насыщения паров  $\varphi_s$  определяется свойствами жидкости и температурой. С повышением температуры концентрация насыщенных паров  $\varphi_s$  возрастает по экспоненциальному закону. Парциальное давление насыщенного пара пропорционально температуре жидкости.

Зависимость  $\varphi_s = f(T)$  определяется через уравнение Антуана:

$$\lg P_s = A - \frac{B}{C_A + t},$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C_A$  – константы Антуана (даются в справочнике под редакцией А.Н. Баратова), приведенные к давлению в кПа [3];  $P_s$  – парциальное давление насыщенных паров, кПа;  $t$  – температура жидкости, °С.

Зависимость показывает, что парциальное давление насыщенного пара пропорционально температуре жидкости.

Зная давление насыщенного пара жидкости, можно рассчитать скорость ее испарения  $W$  по формуле [4]:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s, \quad \text{кг/м}^2 \cdot \text{с},$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры жидкости и скорость воздушного потока над ее поверхностью;  $M$  – молярная масса жидкости (вещества), г/моль;  $P_s$  – давление насыщенного пара, кПа.

Концентрация паров жидкости  $\varphi_s$ , при которой паровоздушная смесь становится способной к воспламенению, определяется через парциальное давление паров жидкости  $P_s$ :

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p},$$

где  $P_p$  – рабочее давление в технологическом аппарате, кПа (при атмосферном давлении  $P_p = 100 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па}$ ).

Таким образом, при нагревании жидкости можно определить такую температуру, при которой над ее поверхностью концентрация паров будет равной нижнему концентрационному пределу распространения пламени, то есть паровоздушная смесь становится способной к воспламенению от постороннего источника зажигания. При этой

температуре сгорают только пары, а сама горючая жидкость не загорается [5]. Эту температуру называют температурой вспышки.

Температура вспышки – наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары, способные вспыхивать в воздухе от источника зажигания; устойчивое горение при этом не возникает [6].

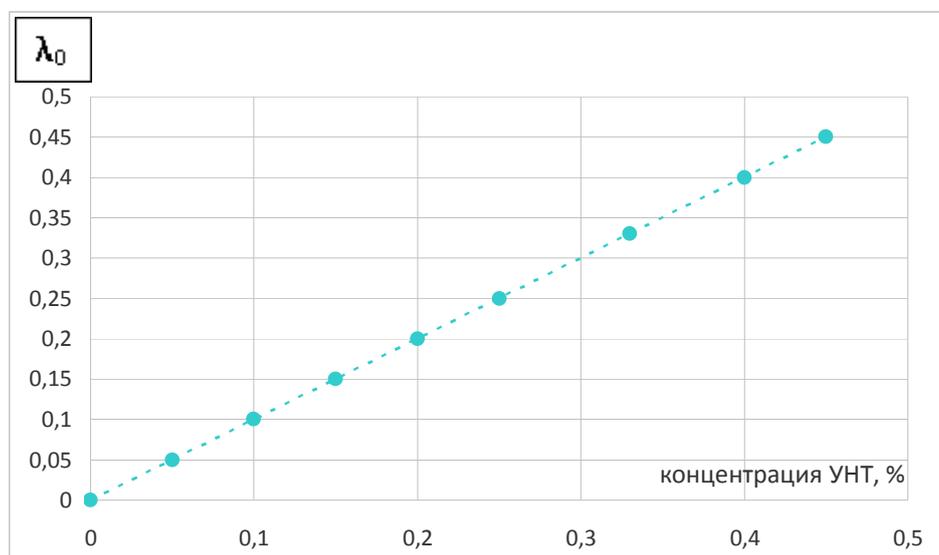
Для повышения температуры вспышки представляется возможным использование углеродных наночастиц, например, углеродных нанотрубок [7].

Нанотрубки обладают низким поверхностным натяжением, малыми размерами, (меняющиеся в различных пределах, в зависимости от условий синтеза), электропроводностью, механической прочностью и химической стабильностью, высокими эмиссионными характеристиками, высокой химической стабильностью при существующей пористости и способностью присоединять к себе различные химические радикалы [8].

При заполнении углеродных нанотрубок материалами различной природы возникают капиллярные явления. Особенности этих явлений были проанализированы детальным образом. В результате этого анализа выявилась связь между величиной поверхностного натяжения материала и возможностью его капиллярного втягивания внутрь углеродной нанотрубки.

В Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России проводились исследования влияния углеродных наночастиц (УНТ) на температуру вспышки керосина, растворителя и этанола. Растворение УНТ в керосине проводилось с помощью генератора ультразвука с частотой 100 кГц.

Проведенные исследования показали, что использование УНТ дает значимый эффект для увеличения температуры вспышки, а также для регулирования скорости прогрева легковоспламеняющихся и горючих жидкостей [9]. Такой эффект может быть объяснен изменением скорости испарения жидкости. Показано, что с увеличением концентрации УНТ теплопроводность жидкости возрастает (рис. 1).



**Рис. 1. Изменение теплопроводности жидкости, модифицированной углеродными наночастицами**

Предположительно, общее количество теплоты, выделяемое на нагрев жидкости, будет распределено на нагрев стенок оборудования и нагрев жидкости (рис. 2).

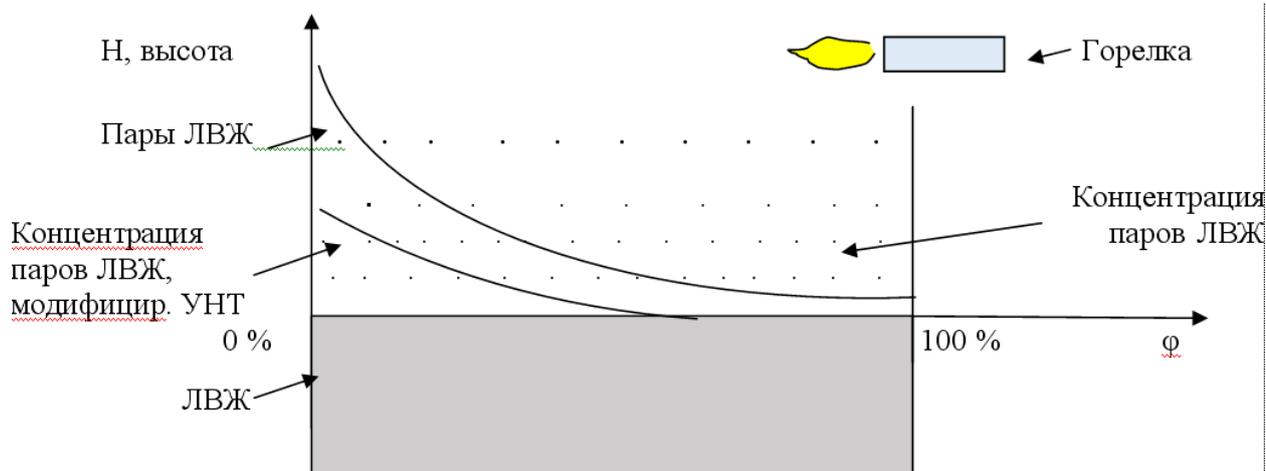


Рис. 2. Модель образования взрывоопасной смеси в свободном объеме технологических аппаратов

Вследствие изменения теплопроводности для нагрева жидкости потребуются большее количество теплоты и больше времени для нагрева. Исходя из этого, можно говорить о возможности снижения скорости испарения жидкости путем модификации углеродными нанотрубками. В результате концентрация паров над поверхностью жидкости достигнет предельного значения в течение продолжительного периода.

### Литература

1. Пожар на нефтебазе под Красноярском произошел из-за разгерметизации резеруара // РИА Новости – Сибирский округ. URL: <http://sibir.ria.ru/incidents/20121113/82293507.html> (дата обращения: 14.01.2014).
2. Пожарная безопасность технологических процессов: учеб. пособие / О.А. Хорошилов [и др.]; под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб: С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России, 2012. 300 с.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ.: в 2 кн. / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990.
4. ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. URL: <http://protect.gost.ru> (дата обращения: 12.01.2014).
5. Клубань В.С., Петров А.Л., Рябиков В.С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса: учеб. М.: Стройиздат, 1987. 477 с.
6. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения // StandartGOST.ru – открытая база ГОСТов. URL: <http://standartgost.ru> (дата обращения: 12.01.2014).
7. Das S.K., Choi S.U.S., Yu W., Pradeep T. Nanofluids: Science and Technology. Wiley-Interscience, 2008. 416 с.
8. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // Успехи физических наук. 2002. Т. 172. № 4. С. 401.
9. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Емельянова А.Н. Исследование влияния углеродных нанотрубок на температуру вспышки керосина в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 3 (27). С. 53–57.

