

**Шавердо О.В., канд. техн. наук, доц. Бирюк В.А.,
канд. техн. наук Короткевич С.Г.**

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ НАПОЛНЕНИИ АВТОЦИСТЕРН

*Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск*

Данная работа посвящена исследованию причин воспламенения паровоздушной смеси светлых нефтепродуктов при наполнении автоцистерн.

Приведена характеристика пожарной опасности бензина и дизеля, экспериментальным путем исследован процесс взаимного поглощения паров светлых нефтепродуктов при смене видов перевозимого в автоцистерне топлива, а также условия возникновения взрывоопасных концентраций в процессе налива нефтепродуктов.

Изучен процесс возникновения искрового разряда статического электричества с учетом конструкции автоцистерны, предложены мероприятия по предотвращению его опасных проявлений.

Разработаны предложения по снижению опасности паровоздушных смесей при наполнении автоцистерн нефтепродуктами.

Ключевые слова: автоцистерна, светлые нефтепродукты, паровоздушная смесь, давление насыщенных паров, концентрационный предел взрываемости, электростатический потенциал.

**Ph.D. in Technology, Associate Professor Biruk V.A., Shaverdo O.V.,
Ph.D. in Technology Korotkevich S.G.**

ANALYSIS OF CAUSES OF IGNITION OF GAS-VAPOUR MIXTURES OF LIGHT OIL PRODUCTS DURING TANK –TRUCK FILLING

*The State Educational Institution "University of Civil Protection of the Ministry
of Emergency Situations of the Republic of Belarus", Minsk*

This paper considers the analysis of causes of ignition of light oil products' gas-vapour mixtures during tank-truck filling.

Characteristics of the fire hazard of gasoline and diesel are given. The process of mutual absorption of light oil product vapors when changing the types of oil product transported in a tank-truck, as well as conditions for the occurrence of explosive concentrations during the filling, are experimentally studied.

The influence of the tank-truck interior structures on the process of occurrence of a static electricity flash-over is studied. Measures for the prevention of its dangerous cases are proposed.

Proposals for the reduction of gas-vapour mixtures danger during tank-truck filling are worked out.

Keywords: tank-truck, light oil products, gas-vapour mixture, saturated vapor pressure, explosive concentration limit, electrostatic potential.

Введение

С момента производства до непосредственного использования нефтепродукты подвергаются более чем 20 стадиям «перевалки». Непосредственную опасность при сливо-наливных операциях представляют потери от испарений нефтепродуктов при эксплуатации парка автоцистерн.

В ходе каждой сливо-наливной операции на 1 м³ переливаемого бензина в атмосферу испаряется 1,1–1,4 м³ паровоздушной смеси, в каждом кубометре которой в зависимости от времени года и температуры окружающей среды содержится от 1 до 3,6 л высокооктанового бензина, который при определенных условиях может представлять определенную опасность [1].

Продукты нефтепереработки относятся к числу пожароопасных веществ. Пожароопасность светлых нефтепродуктов оценивается температурами вспышки и воспламенения. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики пожаро- и взрывоопасных свойств нефтепродуктов в соответствии с ГОСТ 12.1.044.

Таблица 1. – Характеристики пожаро- и взрывоопасных свойств нефтепродуктов

Вещество	Температура, °С		Предел воспламенения с воздухом			
			температурный, °С		концентрационный, % (по объему)	
	вспышки	самовоспламенения	нижний	верхний	нижний	верхний
Бензины:						
автомобильный АИ-92	-39	255	-39	-8	0,76	5,03
автомобильный АИ-95	-36	300	-36	-7	0,79	5,16
Дизельное топливо:						
зимнее	48	240	69	119	-	-
летнее	71	310	62	100	-	-
Керосин тракторный	27	250	27	69	1,40	7,5
Уайт-спирит	33-36	227	33	68	-	-

Температурой вспышки называется температура, при которой пары нефтепродукта, нагреваемого в определенных стандартных условиях, образуют с окружающим воздухом взрывчатую смесь и вспыхивают при поднесении к ней пламени. Температура вспышки зависит от фракционного состава нефтепродуктов. Чем ниже пределы перегонки нефтепродукта, тем ниже и температура вспышки. В среднем температура вспышки бензинов находится в пределах от –30 до –40 °С, керосинов 30–60 °С, дизельных топлив 30–90 °С и нефтяных масел 130–320 °С. По температуре вспышке можно судить о наличии примесей более низкокипящих фракций в тех или иных товарных или промежуточных нефтепродуктах.

Температурой самовоспламенения называется температура, при которой нагретый нефтепродукт в контакте с воздухом воспламеняется самопроизвольно без внешнего пламени. Температура самовоспламенения нефтепродуктов зависит и от фракционного состава, и от преобладания углеводородов того или

иного класса. Чем ниже пределы кипения нефтяной фракции, тем она менее опасна с точки зрения самовоспламенения. Температура самовоспламенения уменьшается с увеличением среднего молекулярного веса нефтепродукта. Тяжелые нефтяные остатки самовоспламеняются при 300–350 °С, а бензины только при температуре выше 500 °С. При появлении внешнего источника пламени (огня или икры) положение резко меняется, и легкие нефтепродукты становятся взрыво- и пожароопасными.

Основная часть

При анализе пожаровзрывоопасности нефтепродуктов на этапе слива-налива автоцистерны необходимо рассматривать возникновение взрывоопасных концентраций летучих углеводородных фракций в паровоздушной смеси при совокупном влиянии целого ряда условий. Состав летучих углеводородных фракций может быть разным и зависит от вида используемого нефтепродукта. При перегрузке и хранении бензина они состоят в основном из пропана, бутана, пентана, гексана и их изомеров.

Во всех нефтепродуктах давление насыщенных паров (равновесная устойчивая концентрация паров над поверхностью жидкости) зависит от температуры, увеличивается с ее повышением и сравнивается с атмосферным давлением в начале кипения.

Температура вспышки – это температура, при которой давление (концентрация) паров жидкости настолько высоко, что они вспыхивают при наличии провоцирующего источника. Данная концентрация находится между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости (далее – НКПВ и ВКПВ). Можно сказать, что температура вспышки при наличии провоцирующего источника – это значение, которое связывает давление и концентрацию насыщенных паров, находящихся в пределах НКПВ и ВКПВ.

Давление насыщенного пара чистого вещества P_H является однозначной функцией температуры. Для ЛВЖ и некоторых ГЖ давление насыщенного пара чистого вещества определяется по формуле Антуана:

$$\lg P = A - \frac{B}{(t + C_A)},$$

где P – давление насыщенного пара, кПа; A , B , C_A – константы формулы Антуана; t – температура, °С.

Однако формулу Антуана некорректно использовать для определения давления насыщенного пара нефтепродуктов, так как их состав представлен нефтяной фракцией парафиновых углеводородов.

Имеется множество формул для пересчета давления насыщенных паров нефтяных фракций с одной температуры на другую, однако чаще пользуются графическими методами. Наиболее распространенными являются графические методы определения по номограммам $P_t = f(t_{ж})$ [2].

Графические зависимости давления и объемной концентрации насыщенных паров бензина и дизельного топлива от температуры (рисунки 1-2) показа-

ли, что бензины обладают высокой эмиссией паров, которые опасны при любых температурах, но концентрация их всегда выше верхнего концентрационного предела взрывоопасности.

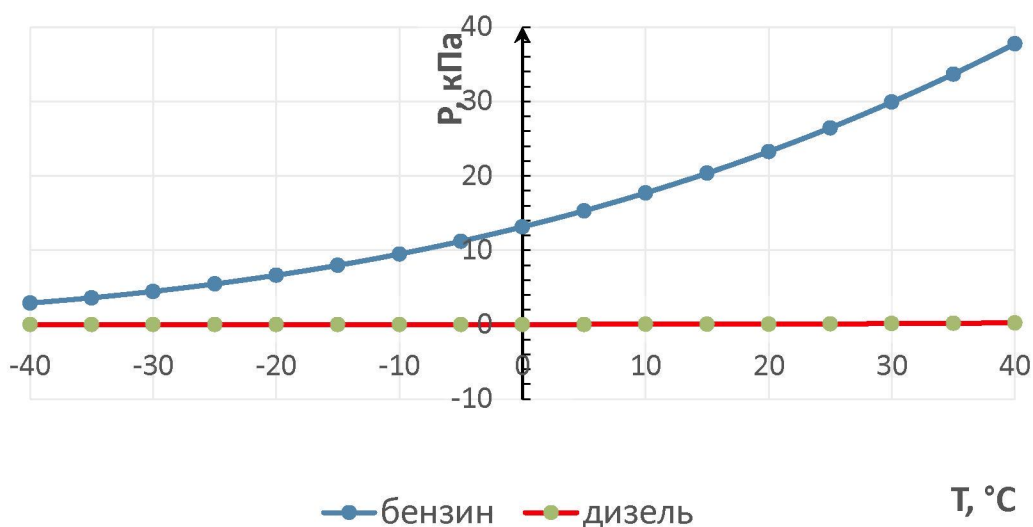


Рисунок 1. – Зависимость давления насыщенных паров нефтепродуктов от температуры

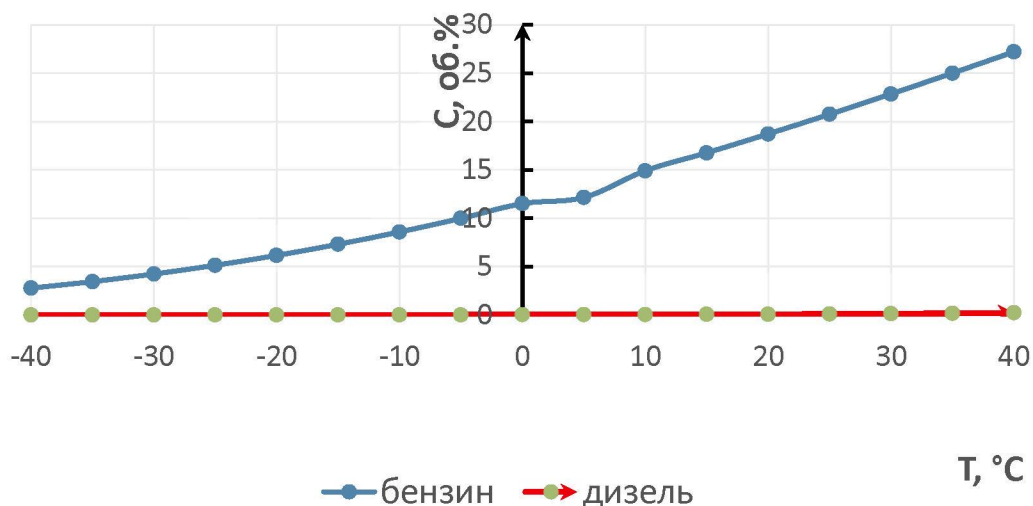


Рисунок 2. – Зависимость объемной концентрации насыщенных паров нефтепродуктов от температуры

Дизтопливо обладает низкой эмиссионной способностью и его пары практически безопасны при температурах окружающей среды, т.е. концентрация их всегда ниже нижнего концентрационного предела.

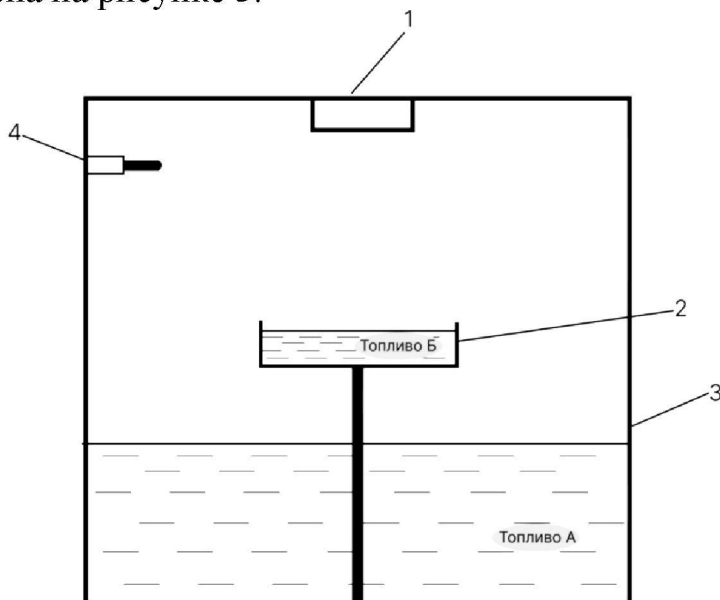
Измерения концентрации паров в емкостях, где хранится или перевозится бензин, показало, что после его слива из емкости концентрация паров в ней зависит от температуры окружающей среды и находится в пределах от 15 % до 50 % объемных. При операции слива бензина из емкости концентрация паров снижается в начальной стадии слива, но впоследствии с течением времени восстанавливается за счет сохранившихся остатков и пленки на стенках. Если в емкости пары полностью отсутствовали и туда залили бензин, то за короткий промежуток времени концентрация паров в объеме пересекает взрывоопасный

концентрационный диапазон между нижним концентрационным пределом горения около 2 об.% и верхним концентрационным пределом горения около 6 об.% и достигает равновесного значения при текущей температуре.

Дизельное топливо всех марок имеет температуру вспышки выше +40 °С. Величина давления насыщенных паров по Рейду составляет 10–13 мм.рт.ст. Практически концентрация паров может достичь уровня свыше 2 % (т.е. попасть во взрывоопасную область) только при температуре более 40 °С. В рабочем диапазоне температуры от -10 °С до +40 °С пары дизтоплива безопасны.

В реальных условиях транспортировки нефтепродуктов часто бывает, что в одной и тот же автоцистерне перевозится попеременно бензин и дизельное топливо. При этом происходят сложные физико-химические процессы эмиссии и поглощения нефтепродуктов, сопровождающиеся поглощением и (или) выделением растворенных в них летучих газовых соединений, которые при наличии провоцирующего источника способны воспламенятся [3].

Были проведены экспериментальные исследования по поглощению паров светлых нефтепродуктов с использованием лабораторной установки, схема которой представлена на рисунке 3.



1 – газоанализатор; 2 – емкость для топлива Б;
3 – емкость для топлива А; 4 – источник зажигания

Рисунок 3. – Схема лабораторной установки

В каждую емкость попеременно наливались разные виды нефтепродуктов. Исследовались паровоздушные смеси (далее – ПВС) бензина АИ-95 и дизельного топлива.

Эксперимент проводился при нормальных условиях при постепенном увеличении количества бензина. Концентрация паров бензина первые 120 мин увеличивалась с 0 % до 15 %, после чего проводилось добавление дизельного топлива.

Установлено, что при добавлении дизельного топлива в емкость происходит абсорбция паров бензина. При этом наблюдается резкое снижение концентрации паров в течение короткого интервала времени до взрывоопасной области, что при наличии источника возгорания может приводить к взрыву (рисунок 4).

Во всех остальных комбинациях ПВС никаких изменений концентрации паров не наблюдалось.

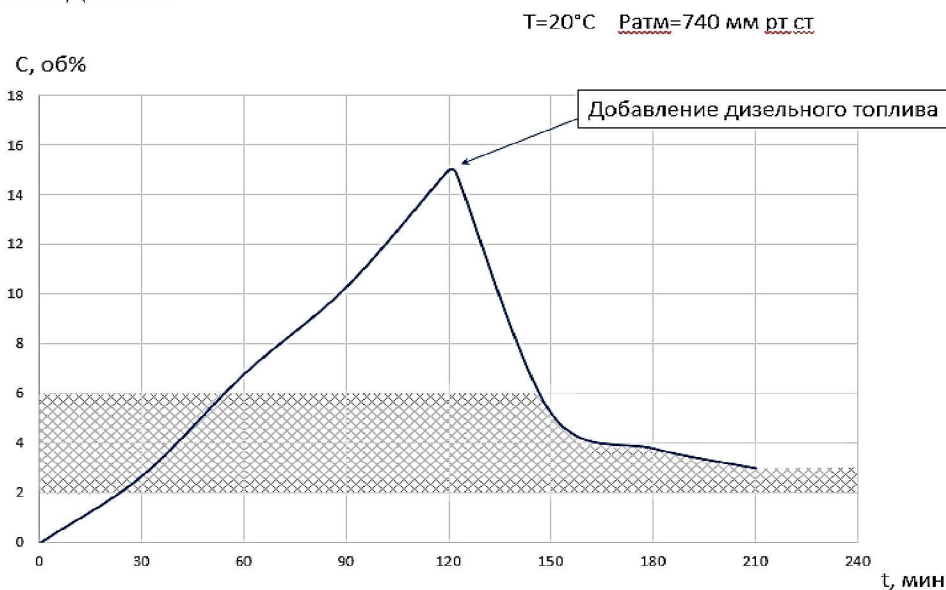


Рисунок 4. – Зависимость объемной концентрации паров газовой смеси от продолжительности эксперимента

Экспериментальными исследованиями по поглощению паров бензина выявлено, что дизтопливо является хорошим абсорбентом паров бензина и применяется в качестве последнего в установках для утилизации паров. В опытах установлено, что для улавливания (извлечения) летучих углеводородов из 1 м³ ПВС с концентрацией до 50 % достаточно 20–25 л дизельного топлива с условием развитого контакта, т.е. наличия большой поверхности соприкосновения дизтоплива и ПВС.

Степень улавливания летучих углеводородных фракций такова, что их остаточная доля в ПВС после контакта с дизельным топливом устанавливается в пределах (2–10) об.%. Такие пределы соответствуют взрывоопасной концентрации паров бензина 2 %–6 %.

Таким образом, при наливе дизельного топлива в емкость, где ранее находился бензин, и концентрация его паров была выше пределов взрывоопасности после поступления дизельного топлива, концентрация паров снижается и может достичь пределов взрывоопасности. Взрывоопасная концентрация паров бензина при наливе дизельного топлива в емкость поддерживается в течение длительного времени в процессе налива и хранения. Вероятность возникновения электростатического разряда в промежутке времени стадии наполнения довольно высока. Замечено что часто взрывы происходят при температуре окружающей среды ниже 0 °С. Это объясняется тем, что при такой температуре концентрация паров бензина не достигает максимальных значений и летучие углеводородные фракции быстрее поглощаются. Процесс абсорбции более эффективно происходит при низкой температуре.

В случае наливания бензина в емкость после того, как в ней было дизельное топливо, и концентрация паров оставалась ниже 2 % в начальный момент наполнения концентрация паров увеличивается и довольно быстро проходит через пределы взрывоопасности. Как правило, в начальный момент наливание

производится с малой скоростью (менее 1 м/с), которая является безопасной для образования электростатических зарядов.

В случае наполнения бензином емкости, в которой ранее был бензин, концентрация паров, ранее бывшая не взрывоопасной, при поступлении дополнительной порции бензина остается такой же.

В случае наполнения дизельным топливом емкости, в которой и ранее находилось дизельное топливо, концентрация паров там остается низкой и не взрывоопасной при дополнительном поступлении дизельного горючего.

Что касается источников детонации ПВС во взрывоопасной концентрации, то чаще всего является статическое электричество [4]. Так, в процессе движения с продуктом или без него автоцистерна может приобрести электростатический потенциал до величины пробойного напряжения воздуха $3 \cdot 10^6$ В/м и при касании заземленным проводником корпуса автоцистерны. На расстоянии 1 мм достаточно потенциала (напряжения) 3000 В и возникнет искровой разряд.

При существующих теориях возникновения статического электричества, как признаются сами экспериментаторы, практические результаты образующейся объемной плотности электрических зарядов могут отличаться от расчетной в 10 раз. Поэтому процесс образования электростатических зарядов при наливке автоцистерн, а также возникновение электрических искровых или коронных разрядов в настоящее время не контролируем и повлиять на него невозможно. С небольшой степенью достоверности можно утверждать и придерживаться следующих обязательных условий:

налив открытой струей должен быть исключен (наливная труба должна находиться в контакте с дном цистерны);

скорость налива в начальный момент должна быть не более 1–1,2 м/с (время налива на данной скорости должно быть достаточно, чтобы зеркало продукта скрыло полностью выходные окна наливного наконечника);

наличие в котле цистерны каких-либо выступающих конструкций, балок или прутьев, расположенных параллельно или с наклоном к зеркалу продукта, недопустимо;

обязательно внешнее заземление автоцистерны с помощью устройства, контролирующего величину сопротивления переходного контакта клещей заземления с металлической частью котла цистерны;

одежда и обувь обслуживающего персонала должна быть антистатической; автомобиль должен быть технически исправен, двигатель заглушен, работа любого электроприбора исключается, зажигание выключено, электропроводка исправна;

инструменты, применяемые при работе, должны иметь покрытие, исключаящее искрообразование при контакте или соударении с металлическими или заземленными частями установки и автоцистерны.

Соблюдение вышеуказанных мероприятий позволит исключить вероятность возникновения искрового разряда и снизит величину риска возникновения чрезвычайных ситуаций при проведении сливо-наливных операций при транспортировке нефтепродуктов.

Заключение

Проведенные в данной работе исследования позволили установить, что при наполнении автоцистерн светлыми нефтепродуктами происходит их интенсивное испарение с образованием газопаровоздушных смесей. Состав таких смесей постоянно меняется и зависит от многих факторов: уровня и способа наполнения, наличия и величины отложений на стенках котла автоцистерны, вида перевозимого топлива и т.д.

Статистика взрывов и пожаров при проведении сливо-наливных операций показала, что наибольшую опасность представляет процесс наполнения емкости дизельным топливом, в которой до этого длительное время перевозился бензин. Экспериментальные исследования показали, что при добавлении дизельного топлива происходит интенсивная абсорбция паров бензина, находящихся в цистерне. При этом наблюдается резкое снижение концентрации паровоздушной смеси в течение короткого интервала времени до взрывоопасной области, что при наличии источника возгорания может приводить ко взрыву.

Источником детонации смесей во взрывоопасной концентрации чаще всего являются искровые разряды статического электричества. Несмотря на ряд мер по устранению источника зажигания, принятых техническими нормативно-правовыми актами, по результатам проведенных исследований рекомендуется ввести категорический запрет на наполнение автоцистерн разными видами топлива без соответствующей предварительной подготовки (промывка, пропаривание и (или) рекуперация паров).

ЛИТЕРАТУРА

1. Козыдло, М.В. Проблемы обеспечения безопасности перевозки нефтепродуктов видами транспорта / М.В. Козыдло // Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов. – 2018. – С. 192–196.
2. Кирсанов, Ю.Г. Расчетные и графические методы определения свойств нефти и нефтепродуктов : учеб. пособие / Ю.Г. Кирсанов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 136 с.
3. Сучков, В.П. Инциденты при перевозке нефтепродуктов автоцистернами: анализ причин и последствий / В.П. Сучков, Р.Ш. Хабибуллин // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2004. – № 4. – С. 11–13.
4. Тютяев, А.В. Исследования причин воспламенения газовой смеси нефтепродуктов при заполнении резервуаров дизельным топливом / А.В. Тютяев, А.С. Должиков, И.С. Зверева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-4. – С. 873–876.

REFERENCES

1. Kozydlo, M.V. Problemy obespecheniya bezopasnosti perevozki nefteproduktov vidami transporta / M.V. Kozydlo // Aktivizaciya intellektual'nogo i resursnogo potenciala regionov. – 2018. – S. 192–196.
2. Kirsanov, YU.G. Raschetnye i graficheskie metody opredeleniya svojstv nefiti i nefteproduktov : ucheb. posobie / YU.G. Kirsanov. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2014. – 136 s.

3. Suchkov, V.P. Incidenty pri perezovke nefteproduktov avtocister-nami: analiz prichin i posledstvij / V.P. Suchkov, R.SH. Habibullin // Transport i hranenie nefteproduktov. – 2004. – № 4. – S. 11–13.

4. Tyutyayev, A.V. Issledovaniya prichin vosplamneniya gazovozdushnoj smesi nefteproduktov pri zapolnenii rezervuarov dizel'nyim toplivom / A.V. Tyutyayev, A.S. Dolzhikov, I.S. Zvereva // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – № 6-4. – S. 873–876.

