



МЧС РОССИИ

Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы
Сибирский институт пожарной безопасности

Кафедра пожарно-технических экспертиз

ЛЕКЦИЯ

по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения
пожаров»

для курсантов 3 курса по специальности 280705 «Пожарная
безопасность»

**Тема № 4.1. «Пожары на объектах добычи и хранения жидкого
и газообразного топлива»**

Цель лекции

Изучить общие закономерности развития открытых пожаров, особенности пожаров на газовых, газонефтяных и нефтяных фонтанах, особенности пожаров в резервуарах с горючими жидкостями.

Учебные вопросы

1. Особенности открытых пожаров
2. Пожары газовых, газонефтяных и нефтяных фонтанов
3. Пожары в резервуарах с горючими жидкостями

Рекомендуемая литература

Основная

1. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Миронов М.П., Паздникова С.Н. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России/ под ред.В.Ф. Маркова. Екатеринбург: УрО РАН. 2009. 274 с.
2. Терехнев В.В., Артемьев Н.С., Подгрушный А.В., Тараканов Д.В. Пожаротушение на объектах добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов. – Екатеринбург: «Издательство «Калан», 2009. – 244 с.

Дополнительная

1. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов: Пособие / Безродный И.Ф., Гилетич А.Н., Меркулов В.А. и др. – М.: ВНИИПО, 1996.- 216 с.
2. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. – М.: ГУГПС-ВНИИПО-МИПБ, 1999. – 80 с.
3. Обеспечение пожарной безопасности предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2004. – 158 с.

ОТКРЫТЫЕ ПОЖАРЫ



Нефтяных и газовых фонтанов



Горючих жидкостей в резервуарах



Открытых складов ТГМ (древесины и т.п.)



Промышленных наружных технологических установок



Лесные



Степные



Торфяные



Огненный шторм



УЧЕБНЫЙ ВОПРОС №1
Особенности открытых пожаров

Особенность открытых пожаров



основные параметры тепловыделения и газообмена не связаны с ограничениями, обусловленными строительными конструкциями (высокая интенсивности газообмена)



Над зоной горения формируется мощный конвективный газовый поток



Основным механизмом теплопереноса в зоне теплового воздействия открытого пожара является излучение



Теплообмен осуществляется практически с неограниченным окружающим пространством. Аккумуляция тепла в зоне горения не происходит



Существенное влияние метеорологических условий

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ

Распределение выделяющегося тепла

40-50 % - излучение и конвекция

60-50% - нагрев продуктов сгорания

**За температуру открытого пожара принимают
температуру пламени**

для ГГ составляет 1200–1350°C

для ГЖ составляет 1100–1300°C

для ТГМ органического происхождения – 1100–1250°C

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ

На открытых пожарах скорость распространения пламени и интенсивность газообмена очень сильно зависят от метеорологических условий и особенно от скорости и направления ветра.

В связи с выраженной направленностью газовоздушных потоков зона задымления, за исключением торфяных пожаров, относительно невелика, что не создает дополнительных трудностей при тушении.

ХАРАКТЕРНЫЕ СТАДИИ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА



В РЯДЕ СЛУЧАЕВ НЕ ОТНОСИТСЯ К
ПРИРОДНЫМ ПОЖАРАМ

УЧЕБНЫЙ ВОПРОС №2

**Пожары газовых, газонефтяных и
нефтяных фонтанов**

КЛАССИФИКАЦИЯ ФОНТАНОВ

ПО СОСТАВУ

Газовые
(менее 10% нефти)
Светло-желтое
пламя

Газонефтяные
(от 10 до 50 %
нефти)
Оранжевое пламя

Нефтяные (более
50% нефти)
Темно-оранжевое
пламя

КЛАССИФИКАЦИЯ ФОНТАНОВ

ПО КОНФИГУРАЦИИ ПЛАМЕНИ (СТРУИ)

Компактные

Комбинированные
(имеется и
компактная и
распыленная часть)

Распыленные





КЛАССИФИКАЦИЯ ФОНТАНОВ



Основные закономерности и отличия газовых фонтанов



Горение устойчивое, длительное (до нескольких месяцев)



В малой степени зависит от метеоусловий



Изменения полей скоростей и концентраций газа определяются основными законами турбулентной газовой среды



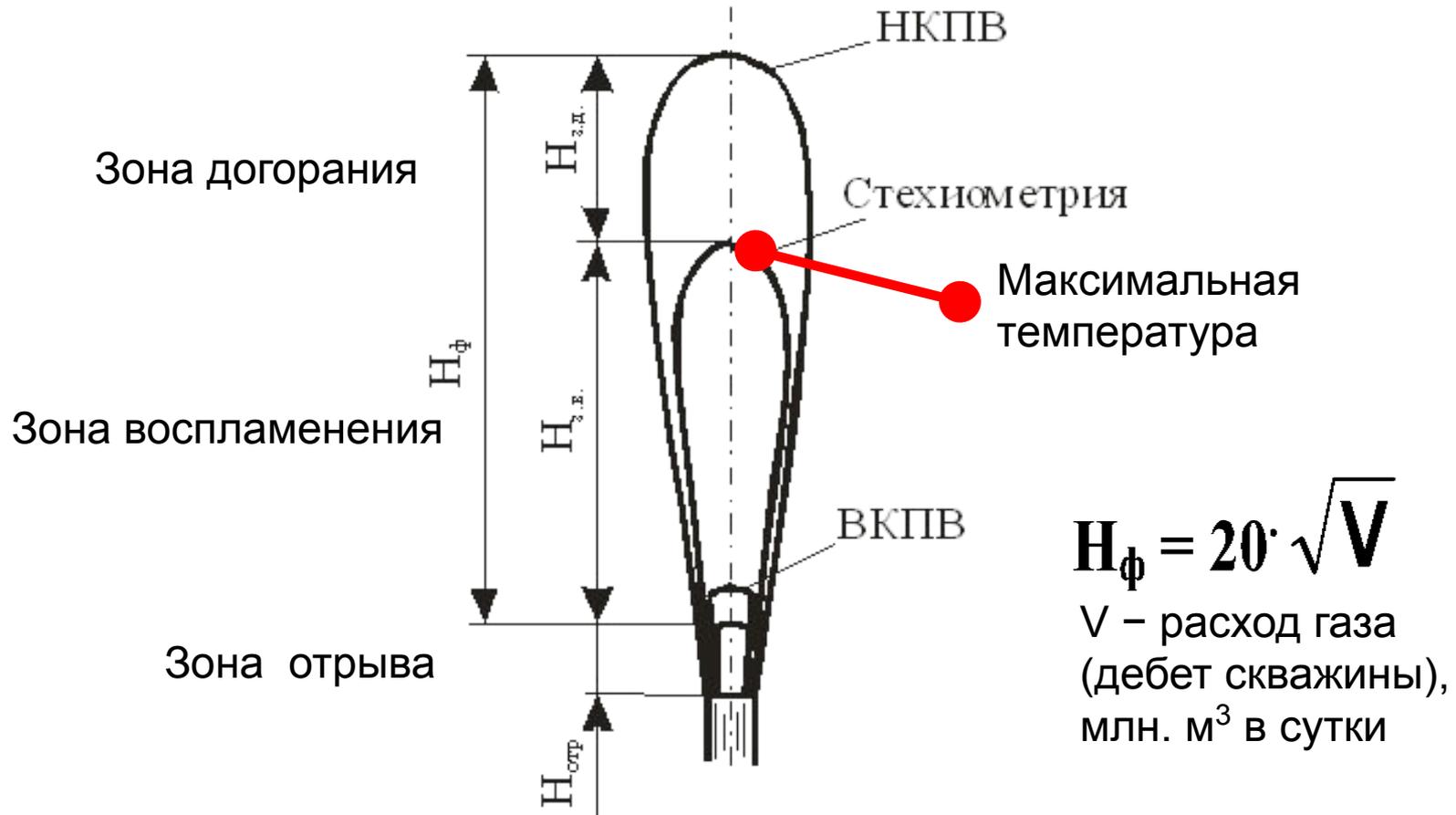
Скорость истечения может превысить скорость звука



Горение происходит в результате взаимной диффузии горючего газа и воздуха

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВЫХ И ГАЗОНЕФТЯНЫХ ФОНТАНОВ

$$m_{\text{газ}} : m_{\text{нефть}} = 1 : 1 \quad V_{\text{газ}} : V_{\text{нефть}} = 1000$$



Интенсивность теплового излучения

$$q_{л} = \frac{f \cdot q_{\Pi}}{4\pi \cdot R^2}$$

Интенсивность теплового излучения

$$f = 0.048\sqrt{M}$$

доля теплоты газового фонтана, рассеиваемая в окружающее пространство излучением (метан – 0,2; пропан – 0,33)

$$q_{\Pi} = \beta \cdot Q_{\text{с}}^{\text{н}} \cdot V_{\Gamma}$$

количество тепла, выделяемого факелом пламени

β коэффициент полноты сгорания

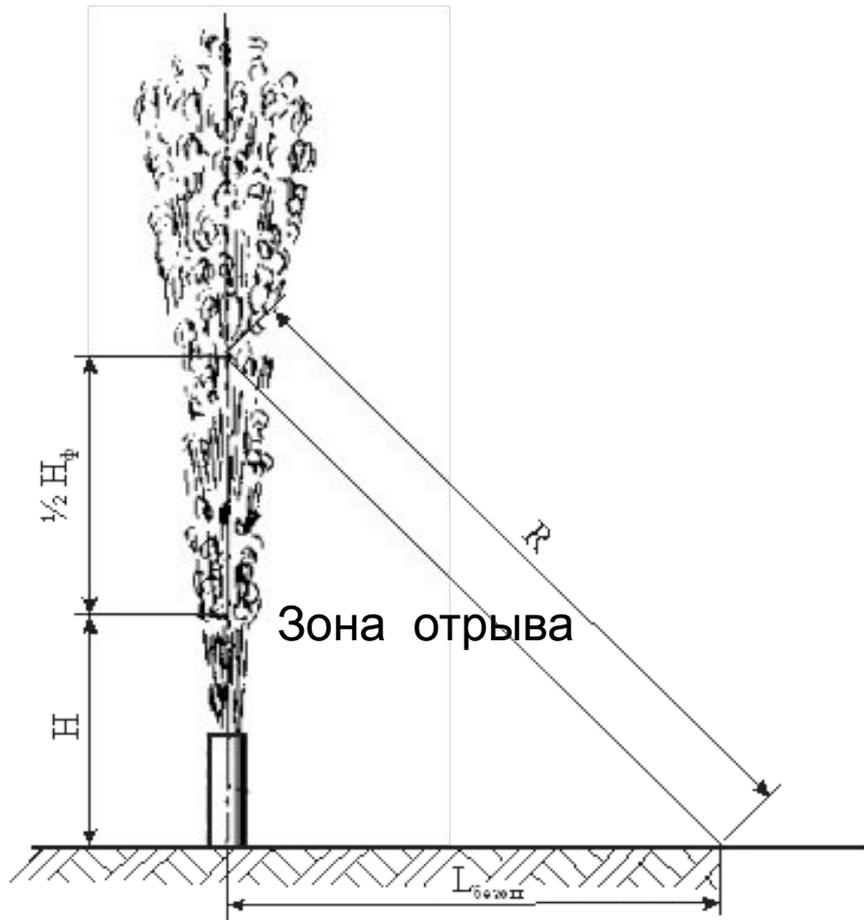
$Q_{\text{с}}^{\text{н}}$ низшая теплота сгорания 1 м³ газа, Дж/м³

$$V_{\Gamma} = 16.7 (H_{\phi})^{2.5}$$

дебит фонтана, м³/ч.

БЕЗОПАСНОЕ РАССТОЯНИЕ ОТ ФАКЕЛА ПЛАМЕНИ

Допустимый уровень теплового излучения $q_{л.б.} = 5.6 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{ч}$



$$R = \left(\frac{f \cdot q_{\Phi}}{4\pi \cdot q_{л.б.}} \right)^{1/2}$$

$$L_{б} = \left[R^2 - \left(H + \frac{H_{\Phi}}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

H – расстояние от поверхности земли до точки возникновения пламенного горения

ОСОБЕННОСТИ ОБСТАНОВКИ НА ПОЖАРЕ



Большая скорость распространения горения в объеме фонтанирующей струи



Значительная скорость стабилизации теплофизических параметров



возможность распространения пожара в пределах зоны загазованности и разлива нефти



возможность изменения во времени характера фонтанирования, состава, вида струи и дебита



образование группового фонтанирования на кустах скважин

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ



закачка воды в скважину через устьевое оборудование



тушение газоводяными струями



тушение водяными струями из лафетных стволов



взрыв заряда ВВ



тушение огнетушащими порошками



комбинированными способами

УЧЕБНЫЙ ВОПРОС №3

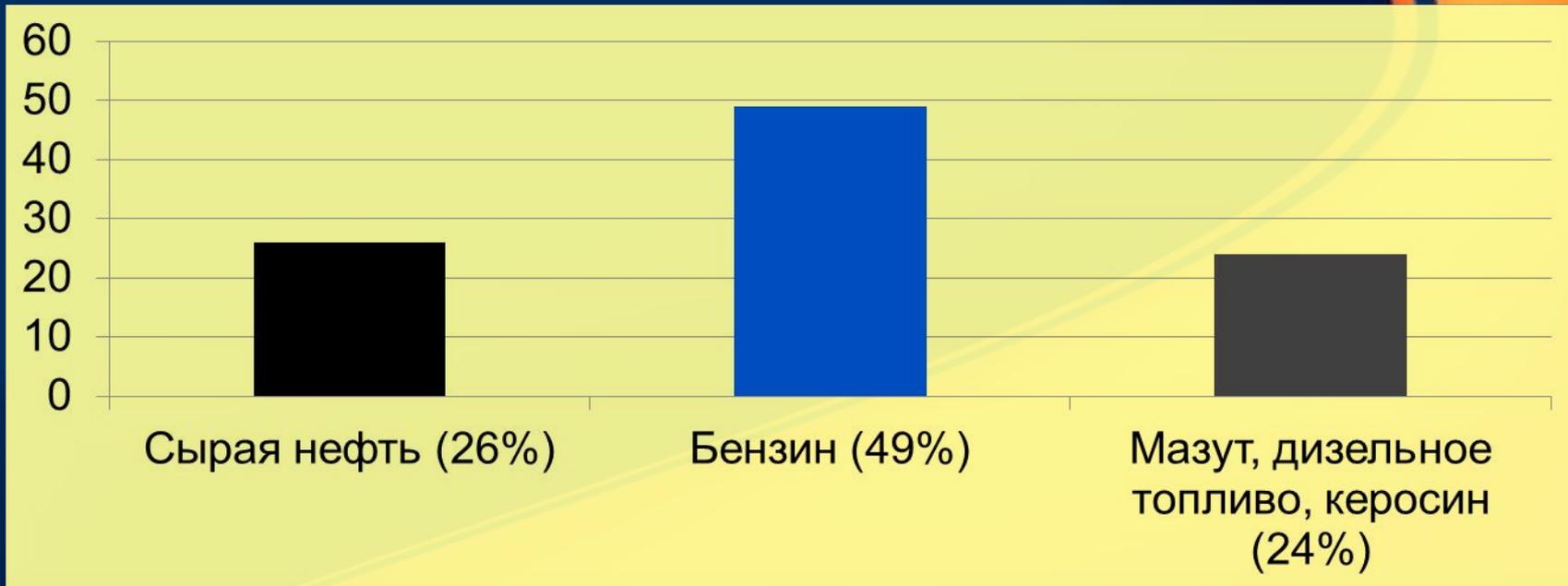
Пожары в резервуарах с горючими жидкостями

СТАТИСТИКА ПОЖАРОВ РЕЗЕРВУАРОВ

На объектах хранения, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов

92% - ПОЖАРЫ НАЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

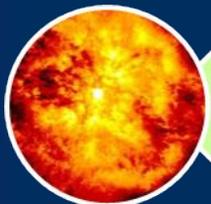
8% - пожары др. технологического оборудования



Более 60% пожаров наземных резервуаров сопровождаются образованием «карманов»



НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ



ВЗРЫВЫ В НАСОСНЫХ



ВЗРЫВЫ И ПОЖАРЫ ПРИ СЛИВО-НАЛИВНЫХ ОПЕРАЦИЯХ



РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ВНУТРИОБЪЕКТОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ



ПОЖАРЫ И ВЗРЫВЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ НАРУШЕНИЯ ПРАВИЛ ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (например при проведении сварочных работ)

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ РЕЗЕРВУАРОВ

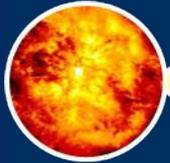
**1. ОБРАЗОВАНИЕ ВЗРЫВООПАСНОЙ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ
ТОПЛИВА С ВОЗДУХОМ**

2. РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ РЕЗЕРВУАРА

**3. ОБРАЗОВАНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

**4. НАРУШЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ СВЕТООТРАЖАТЕЛЬНОГО
СЛОЯ РЕЗЕРВУАРА**

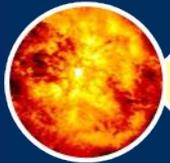
ВОЗНИКНОВЕНИЕ ГОРЕНИЯ



на дыхательной арматуре



в пенных камерах



в обваловании резервуаров вследствие перелива хранимого продукта или нарушения герметичности резервуара



на арматуре вследствие нарушения герметичности задвижек, фланцевых соединений



в виде локальных очагов на плавающей крыше

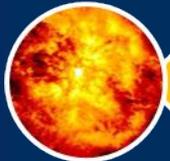
ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ПРИЧИНЫ ЗАЖИГАНИЯ



проявление атмосферного электричества



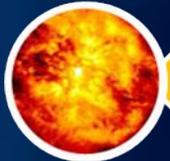
самовозгорание пирофорных отложений



механические удары при отборе проб или замере уровня



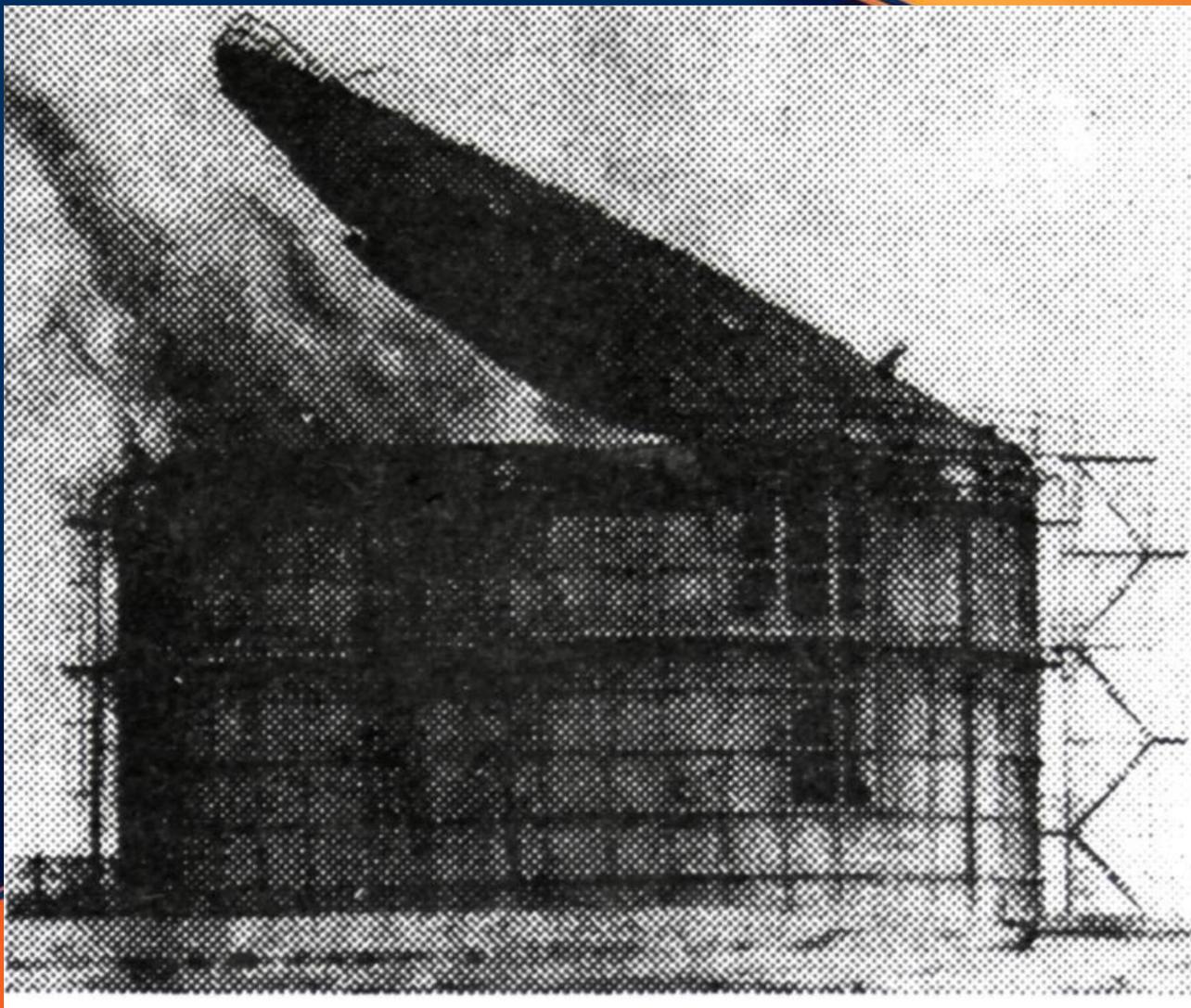
искры электроустановок



технологические огневые устройства

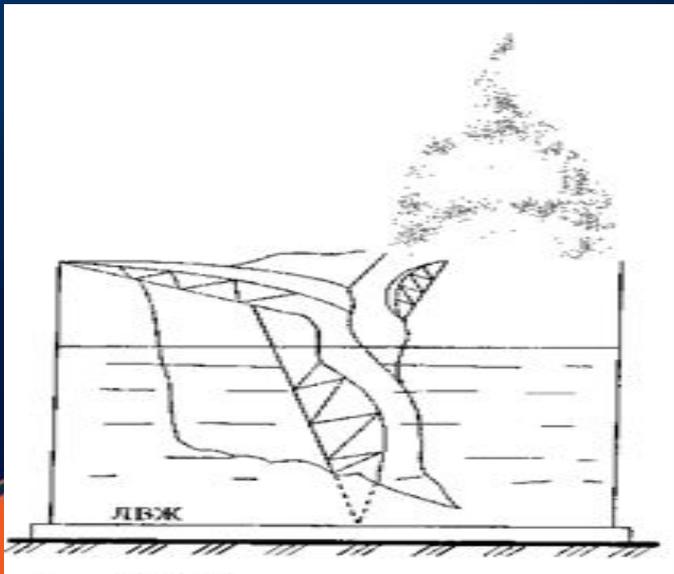
НАЧАЛО ПОЖАРА

как правило, взрыв газопаровоздушной смеси



ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВЗРЫВОВ

- крыша срывается полностью, её отбрасывает в сторону на расстояние 20-30 м. Жидкость горит на всей площади резервуара;
- крыша несколько приподнимается, отрывается полностью или частично, затем задерживается в полупогруженном состоянии в горячей жидкости;
- крыша деформируется и образует небольшие щели в местах крепления к стенке резервуара, а также в сварных швах самой крыши
- У цилиндрических горизонтальных, сферических резервуаров при взрыве чаще всего разрушается днище



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРАХ

площадь пожара

высота факела пламени

плотность теплового потока

скорость выгорания

скорость прогрева жидкости

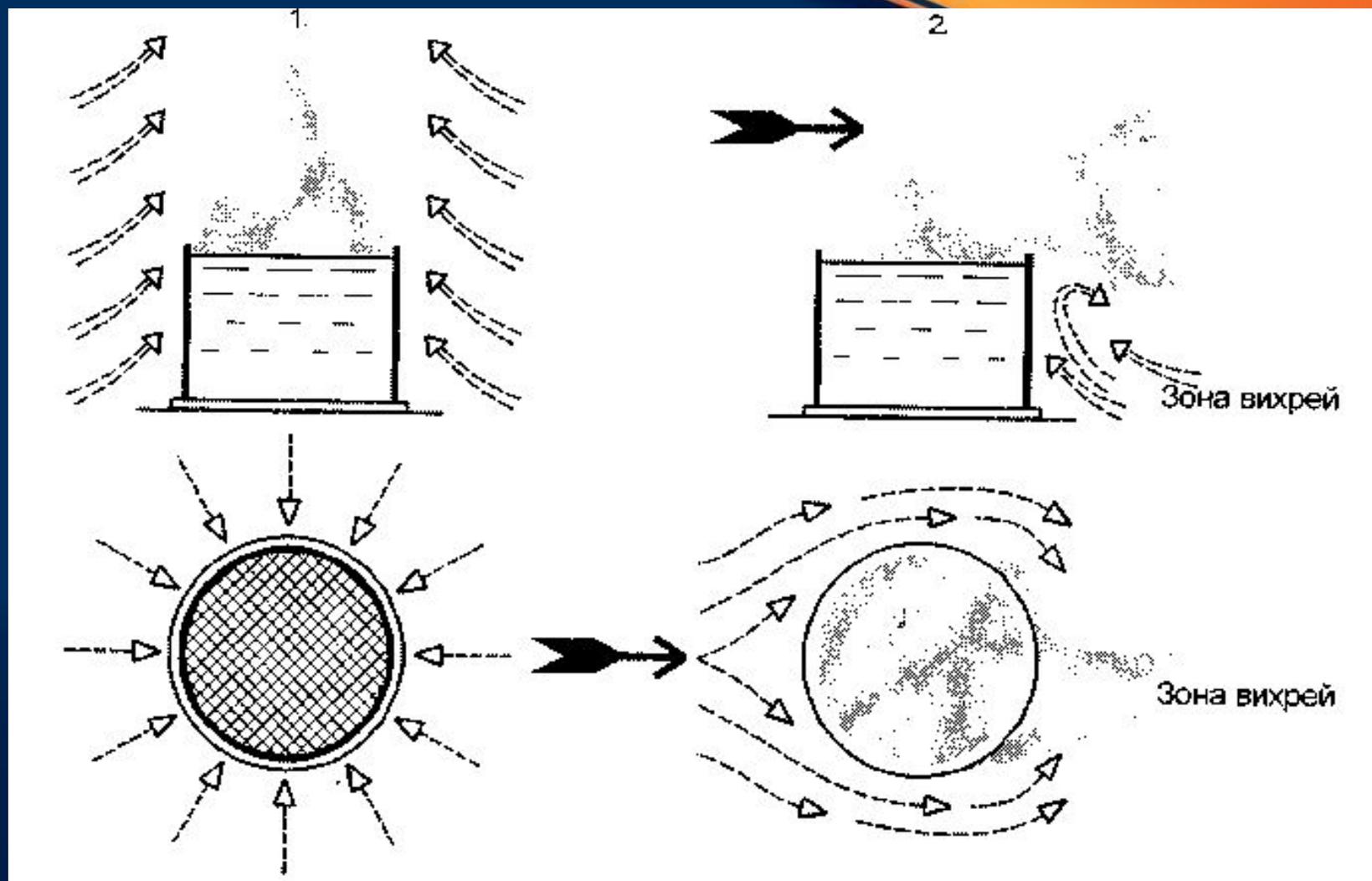
ОСОБЕННОСТИ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРАХ

- Интенсивность параметров горения определяются диффузионными процессами
- Горение практически всегда носит турбулентный характер
- Высота пламени для диаметров резервуаров от 2 до 23 м:
 - для этанола $H=0,8 D$
 - для дизельного топлива $H=1 D$
 - для бензола $H=1,5 D$
- Степень черноты пламени приближается к 1, доля переноса тепла излучением составляет 0,4-0,5
- Температура пламени зависит от вида нефтепродукта и практически не зависит от размеров факела и колеблется от 1000 до 1300°C
- При наличии ветра горение значительно усиливается, масса дыма и пламени отклоняется в сторону
- Возможно вскипание и выброс горящих нефтепродуктов

ПОВРЕЖДЕНИЕ СВОБОДНОГО БОРТА РЕЗЕРВУАРА



Влияние ветра на процесс горения



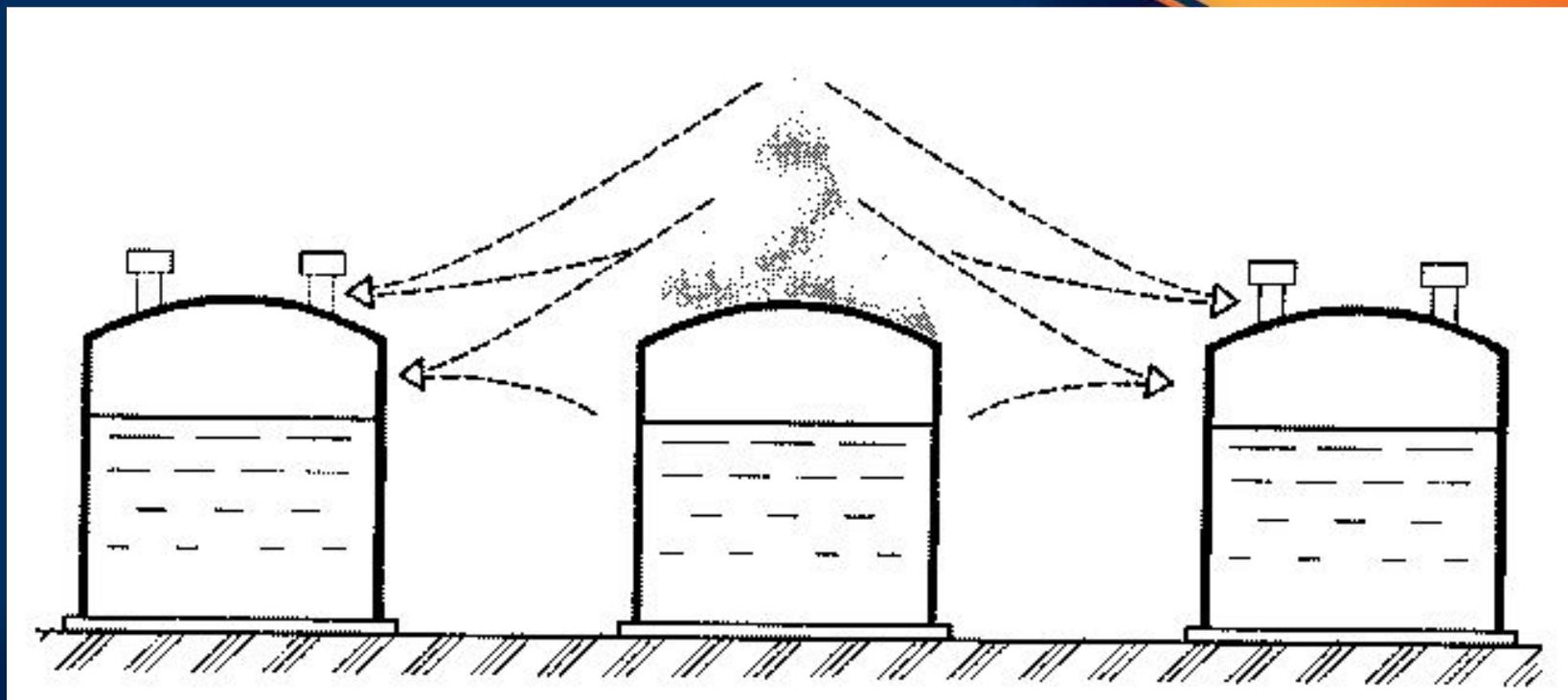
УРОВНИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА

ПЕРВЫЙ (А) - возникновение и развитие пожара в пределах одного резервуара без влияния на смежные. (около 78 % пожаров в резервуарных парках)

ВТОРОЙ (Б) - распространение пожара с одного резервуара на резервуарную группу (15 % от всего числа пожаров)

ТРЕТИЙ (В) - развитие пожара с возможным разрушением смежных резервуаров, зданий и сооружений на территории предприятия и за его пределами. Поражение опасными факторами пожара персонала предприятия и населения близлежащих районов (около 6 %).

перенос энергии на смежные резервуары



ВСКИПАНИЕ

увеличение объема горячей в резервуаре жидкости и выход ее за пределы емкости через края, связанное с температурным расширением диспергированной в объеме жидкости воды

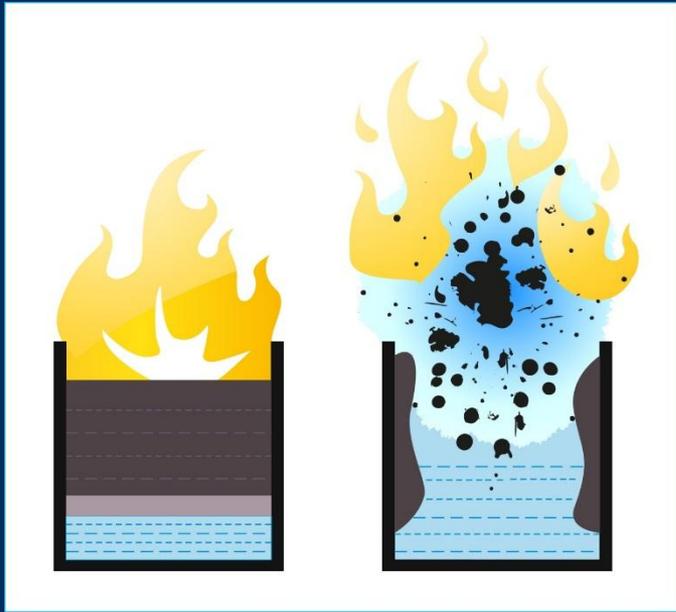
ВЫБРОС

выброс горячей жидкости из резервуара вызывается взрывным вскипанием воды, находящейся под слоем нефтепродукта в результате контакта гомотермального слоя с придонной водой и прогрев воды до температуры выше температуры кипения

ВСПИПАНИЕ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ



ВЫБРОС ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ



$$\tau_{\text{ВЫБРОС}} = \frac{H - h}{U_{\text{ПР}} - U_{\text{Л}}}$$

Выброс может произойти только в том случае, когда:

1. под горячей жидкостью находится жидкость, которая нерастворима (или ограниченно растворима) в первой
2. когда температура кипения второй жидкости значительно ниже температуры кипения горячей жидкости.
3. плотность второй жидкости должна быть больше плотности горячей.
4. Скорость прогрева вглубь жидкости превышает скорость выгорания

Скорость прогрева и скорость выгорания некоторых жидкостей

Параметры пожаров нефтепродуктов		
Наименование горючей жидкости	Скорость выгорания (м/ч)	Скорость прогрева (м/ч)
Бензин	0,3	0,1
Керосин	0,25	0,1
Газовый конденсат	0,3	0,3
Дизельное топливо из газового конденсата	0,25	0,15
Смесь нефти и газового конденсата	0,2	0,4
Дизельное топливо	0,2	0,08
Нефть	0,15	0,4
Мазут	0,1	0,3

ЗАДАНИЕ НА САМОПОДГОТОВКУ

1. **Закрепить пройденный материал**
2. **Изучить способы и средства тушения пожаров горючих газов и горючих жидкостей**

Литература:

1. Марков В.Ф., Маскаева Л.Н., Миронов М.П., Паздникова С.Н. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России/ под ред.В.Ф. Маркова. Екатеринбург: УрО РАН. 2009. 274 с.
2. Тербнев В.В., Артемьев Н.С., Подгрушный А.В., Тараканов Д.В. Пожаротушение на объектах добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов. – Екатеринбург: «Издательство «Калан», 2009. – 244 с.
3. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов: Пособие / Безродный И.Ф., Гилетич А.Н., Меркулов В.А. и др. – М.: ВНИИПО, 1996.- 216 с.
4. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. – М.: ГУГПС-ВНИИПО-МИПБ, 1999. – 80 с.