



Кафедра пожарной безопасности  
технологических процессов и производств



## Тема № 2.1

# «Оценка пожаровзрывоопасной среды внутри технологического оборудования с горючими жидкостями»

Учебные вопросы

1. Условия образования горючей среды в аппаратах с жидкостями.
2. Основные меры, направленные на предупреждение образования горючей среды в аппаратах с жидкостями.



Кафедра пожарной безопасности  
технологических процессов и производств



## ЛИТЕРАТУРА

### ОСНОВНАЯ

1. Пожарная безопасность технологических процессов. Учебное пособие/ Хорошилов О.А, Пелех М.Т., Бушнев Г.В. и др.; Под общ. ред. В.С. Артамонова – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2012.- 300 с.
2. Пожарная безопасность технологических процессов. Учебное пособие/ Пелех М. Т., Башаричев А.В., Бушнев Г.В. и др.; Под общ. ред. О.М. Латышева. – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014.- 214 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. В.Р. Малинин, О.А. Хорошилов. Методика анализа пожаровзрывоопасности технологий: Учебное пособие.-СПб: Санкт-Петербургский университет МВД России, 2000.-274с.

### НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

1. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 2.ГОСТ Р 12.3.047-2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
3. Федеральный закон РФ от 22.07.2008 №123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” с изменениями от 10.06.2012 г. N 117-ФЗ
4. ПРАВИЛА противопожарного режима в Российской Федерации. УТВЕРЖДЕНЫ постановлением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 редакция 2014 г.



## ВОПРОС № 1

Условия образования горючей среды в аппаратах с жидкостями



**Легковоспламеняющиеся** - горючие вещества повышенной пожарной опасности, которые способны воспламеняться от кратковременного (до 30 с) воздействия источника зажигания с низкой энергией (искра, тлеющая сигарета, пламя спички и т.п.).

К легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ) относятся жидкости с температурой вспышки не более  $61^{\circ}\text{C}$  в закрытом тигле или  $66^{\circ}\text{C}$  в открытом тигле. Жидкости, со значениями температур вспышки, более указанных, относятся к горючим жидкостям (ГЖ).

Если легковоспламеняющиеся жидкости имеют температуру вспышки не более  $28^{\circ}\text{C}$ , то их относят к разряду **особо опасных жидкостей**.



Испарение горючих жидкостей - сложный физический процесс, протекание которого зависит от состава и свойств горючей жидкости, температуры, давления, способа и скорости движения и от ряда других факторов.

Испаряемость - совокупность физических параметров горючей жидкости, обуславливающих скорость процесса испарения, тепловые эффекты при испарении, условия равновесного испарения, которые влияют на образование паровзрывоопасной среды.



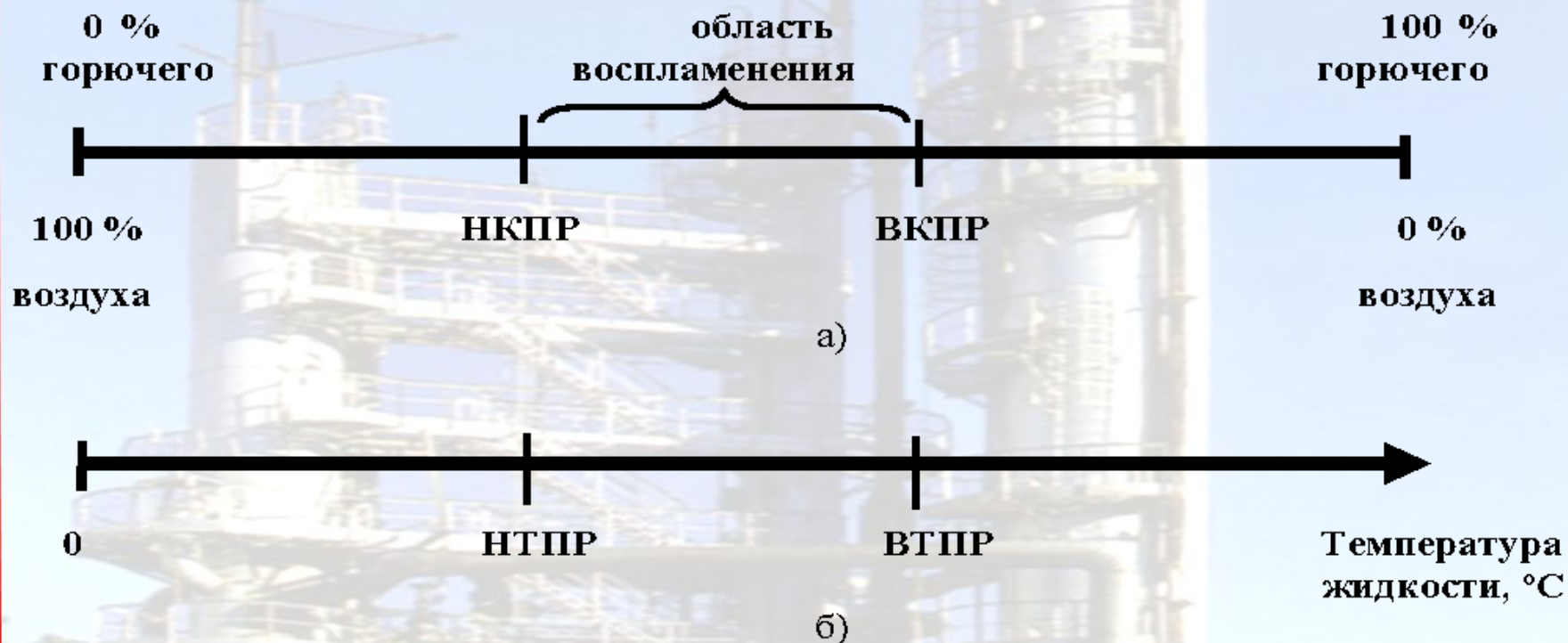
Горючесть паровоздушной смеси определяется соотношением паров жидкости и окислителя (кислорода воздуха).

Если в паровоздушной смеси недостает паров горючей жидкости, то испытываемая смесь не горит из-за недостаточного количества горючего компонента (бедная смесь).

Если же в смеси избыток паров горючей жидкости, то смесь не горит из-за недостатка окислителя (обогащенная смесь).



Кафедра пожарной безопасности  
технологических процессов и производств



Схема, отображающая область воспламенения горючего вещества в смеси с окислителем



**Нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени** – это соответственно минимальное и максимальное содержание горючего вещества в смеси с окислителем, при которых возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Обозначаются концентрационные пределы следующим образом: нижний – НКПР или  $\phi_n$ , верхний – ВКПР или  $\phi_v$ .

Совокупность концентраций горючего вещества между нижним и верхним концентрационными пределами образует область воспламенения.





**Температурные пределы распространения пламени (воспламенения)** – такие температуры жидкости, при которых её насыщенные пары образуют в смеси с окислителем концентрации, равные соответственно нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени

Нижний температурный предел обозначается НТПР или  $t_n$ , верхний - ВТПР или  $t_v$ .

Для оценки возможности образования **горючей среды** внутри технологического оборудования необходимо знать основные режимные параметры (рабочую температуру, давление, концентрацию и др.).



# Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств

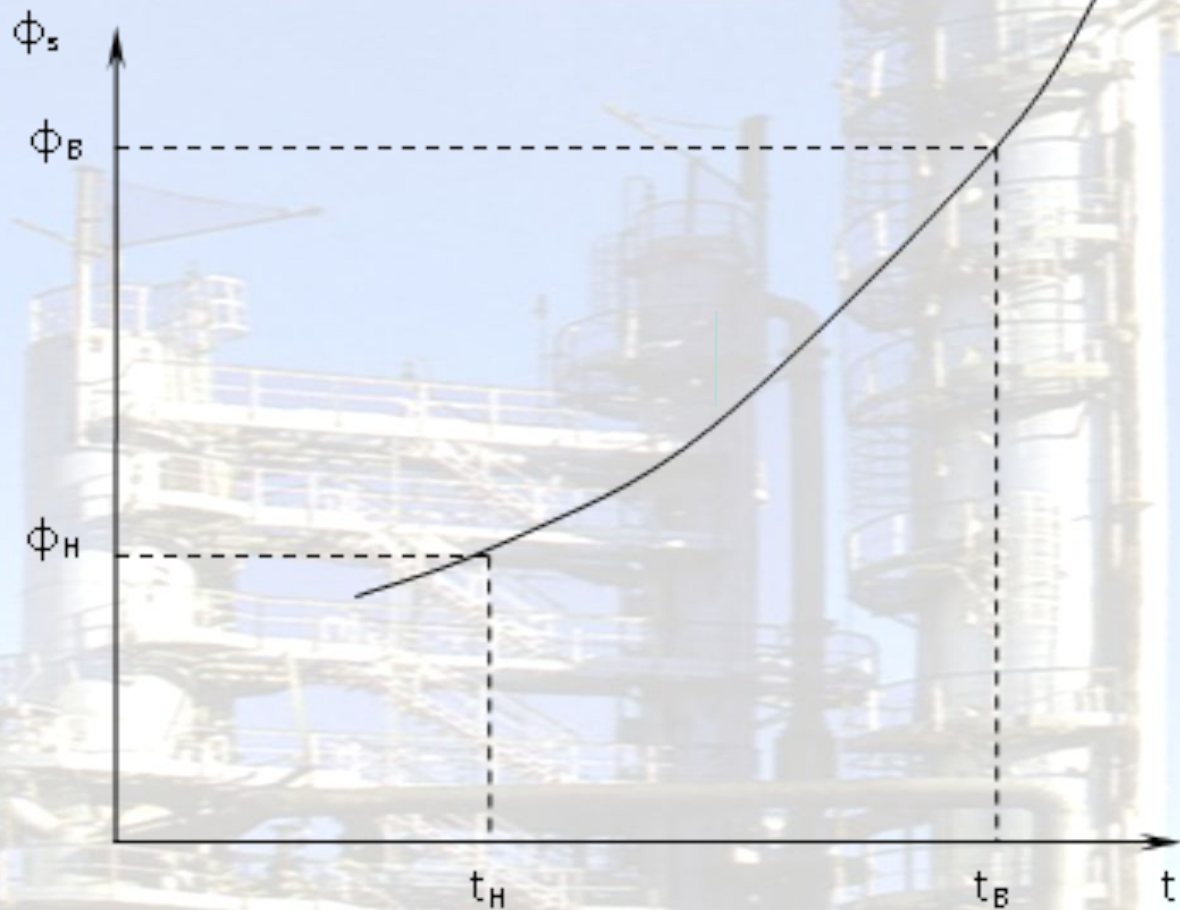


Рисунок 1. Зависимость концентрации паров от температуры жидкости



**Концентрация насыщения паров  $\varphi_s$**  определяется свойствами жидкости и температурой.

С повышением температуры концентрация насыщенных паров  $\varphi_s$  возрастает по экспоненциальному закону (изменение  $\varphi_s$  в зависимости от температуры происходит по кривой - экспоненте).

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

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

где: А, В, С<sub>а</sub> - константы Антуана, (справочник Баратова А.Н.)  
приведенные к давлению в кПа;

P<sub>s</sub> - парциальное давление насыщенных паров, кПа;

t- температура жидкости, °С.



Зная давление насыщенного пара жидкости можно рассчитать скорость ее испарения по формуле:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s,$$

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.



Таким образом, при нагревании жидкости можно подобрать такую температуру, при которой над ее поверхностью концентрация паров будет равной НКПР, т.е. паровоздушная смесь становится способной к воспламенению от постороннего источника зажигания. При этой температуре сгорают только пары, а сама горючая жидкость не загорается.

Эту температуру называют температурой ВСПЫШКИ.



**Температура вспышки** - наименьшая температура конденсированного вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще не достаточна для возникновения устойчивого горения.

**Температура воспламенения** – это наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое пламенное горение. Температура воспламенения обычно на 1-30°С выше температуры вспышки.



## Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств



### Показатели пожаровзрывоопасности горючих веществ и материалов

Показатель	Агрегатное состояние веществ и материалов			
	газы	жидкости	твердые	пыли
Группа горючести	+	+	+	+
Температура вспышки	-	+	-	-
Температура воспламенения	-	+	+	+
Температура самовоспламенения	+	+	+	+
Концентрационные пределы распространения пламени (в воспламенения)	+	+	-	+
Температурные пределы распространения пламени (в воспламенения)	-	+	-	-
Температура глечения	-	-	+	+
Условия теплового самовозгорания	-	-	+	+
Минимальная энергия зажигания	+	+	-	+
Кислородный индекс	-	-	+	-
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	+	+	+	+
Нормальная скорость распространения пламени	+	+	-	-
Скорость выгорания	-	+	-	-
Коэффициент дымообразования	-	-	+	-
Индекс распространения пламени	-	-	+	-
Показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов	-	-	+	-
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода	+	+	-	+
Минимальная флегматизирующая концентрация флегматизатора	+	+	-	+
Максимальное давление взрыва	+	+	-	+
Скорость нарастания давления взрыва	+	+	-	+

#### Примечания:

1. Знак «+» обозначает применяемость, знак «-» - не применяемость показателя.
2. Кроме указанных в данной таблице, допускается использовать другие показатели, более детально характеризующие пожаровзрывоопасность веществ и материалов.



Через парциальное давление паров жидкости  $P_S$  определяем концентрацию паров жидкости  $\varphi_S$  в объемных долях по формуле:

$$\varphi_S = \frac{P_S}{P_P},$$

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





Обязательным условием для образования пожаровзрывоопасных концентраций паров в закрытых аппаратах с жидкостями являются:

- наличие паровоздушного пространства в аппарате;
- наличие в аппарате горючей жидкости, рабочая температура, которой находится в интервале между нижним и верхним температурными пределами воспламенения.



Условия пожаровзрывоопасности  
определяются соотношением:

$$(t_{НПВ} - 10) \leq t_{ОП} \leq (t_{ВПВ} + 15),$$



Процесс насыщения свободного объема аппарата протекает в две стадии.

**Первая стадия** длится до тех пор, пока пары испаряющейся жидкости достигают верхней части свободного пространства аппарата (крышки резервуара).

**Вторая стадия** наступает после полного заполнения свободного объема аппарата, после чего наступает процесс полного насыщения свободного объема аппарата.

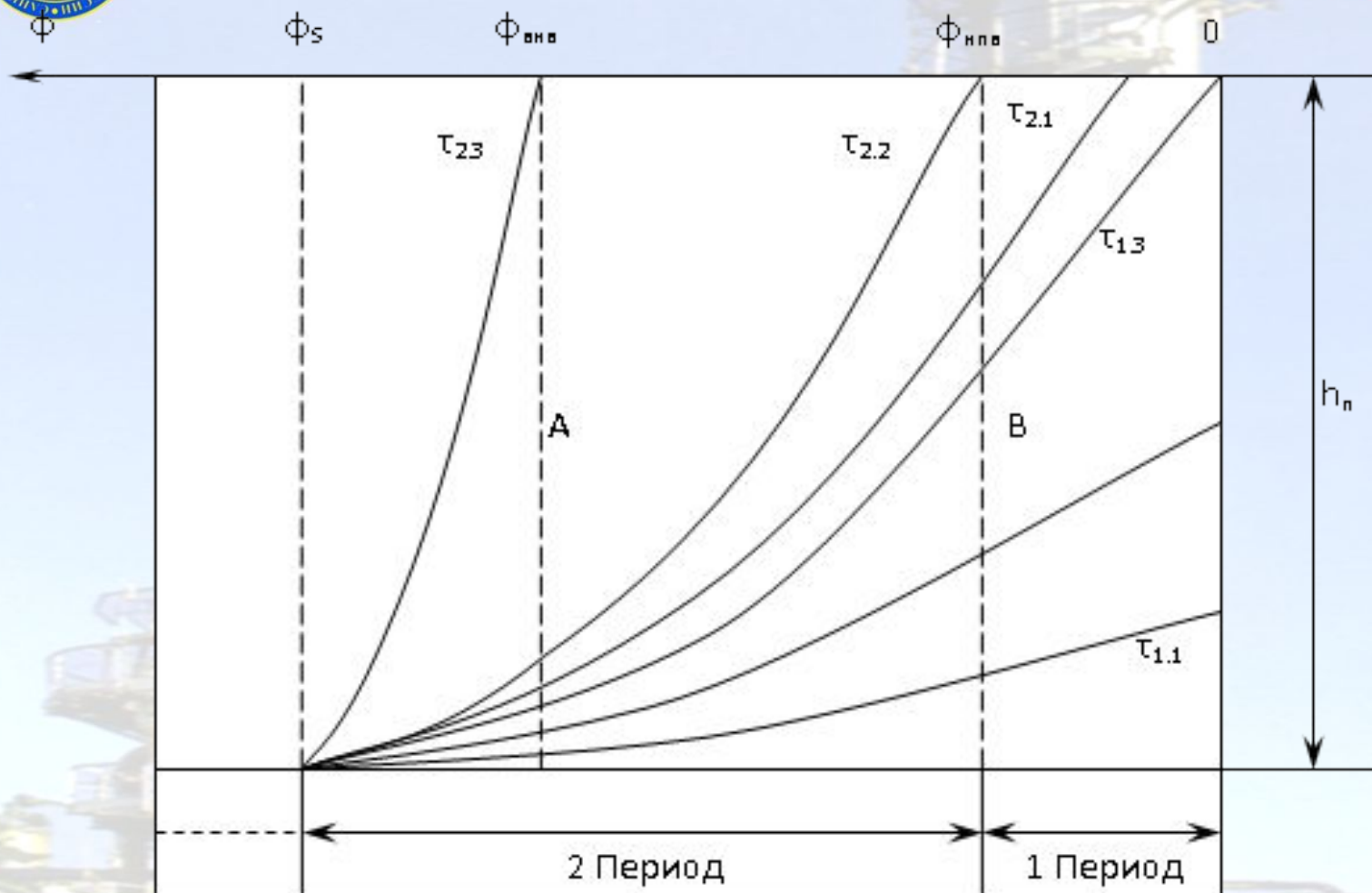


Рисунок 2 - График распределения концентрации паров по высоте  $Z$  в различные моменты времени



## ВОПРОС № 2

Основные меры, направленные на предупреждение образования горючей среды в аппаратах с жидкостями.



Пары и газы, смешиваясь с кислородом воздуха, образуют **горючую среду**. Такая смесь как бы готова к воспламенению и в определенных условиях к продолжению горения.

**Горючая среда** – среда, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания.

**Источник зажигания** – средство энергетического воздействия, инициирующее возникновение горения.



Возможность образования горючей среды в закрытых аппаратах с ГЖ и ЛВЖ может быть оценена путем:

- проверки наличия над зеркалом жидкости свободного паровоздушного объема;
- сравнения рабочей концентрации паров жидкости с концентрационными пределами воспламенения;
- сравнения рабочей температуры жидкости в аппарате со значениями температурных пределов воспламенения.



Основные **направления защиты** от образования ГС в аппаратах с ГЖ и ЛВЖ:

### **1. Ликвидация свободного паровоздушного объема**

А) устройством хранилищ, в которых горючие жидкости находятся под защитным слоем воды или над слоем воды ( таким способом можно хранить ГЖ не смешивающиеся с водой (нефтепродукты);

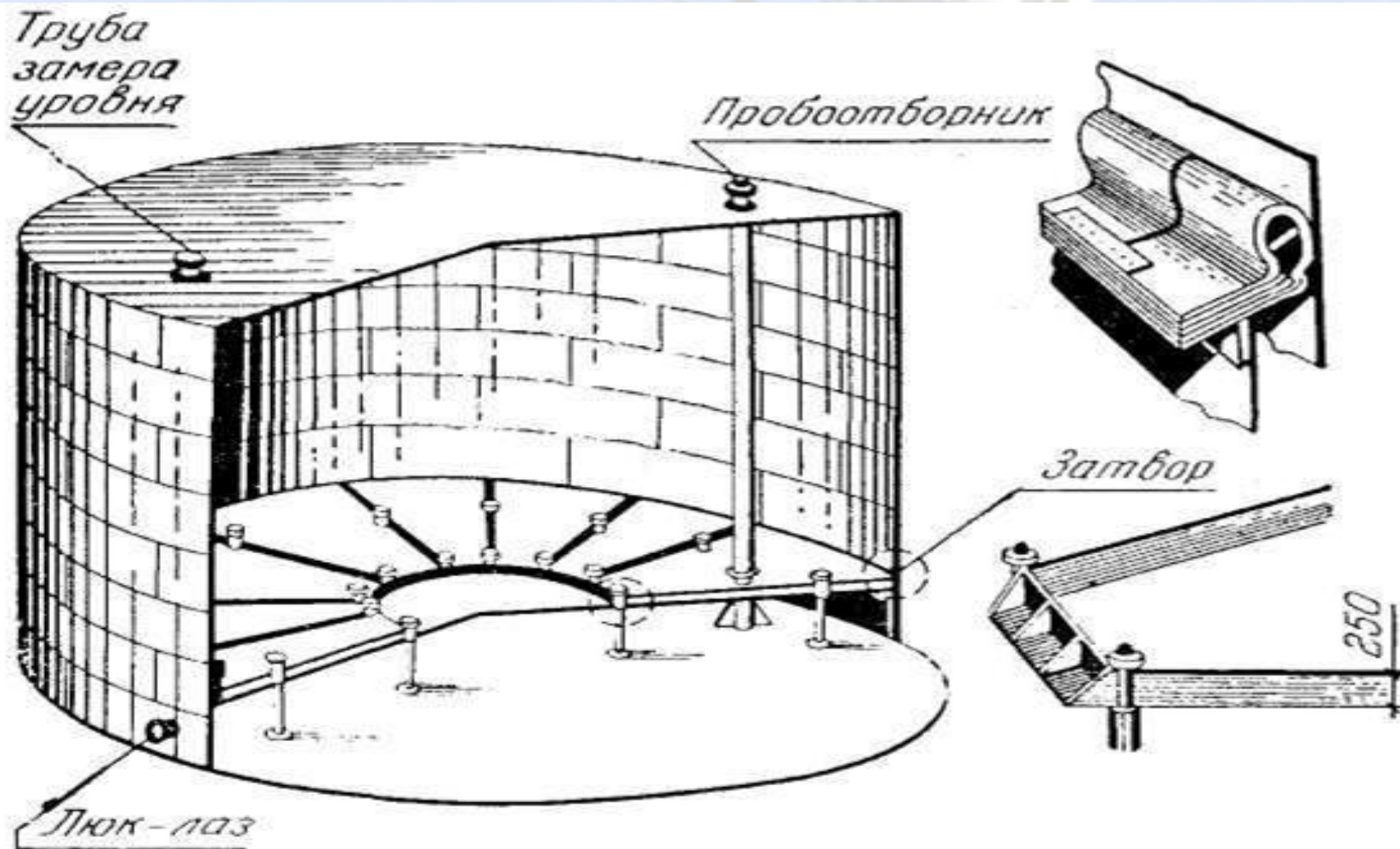
Б) применение резервуаров с плавающей крышей и плавающими понтонами (для северной зоны России);

В) устройством ёмкостей с эластичными складывающимися стенками.



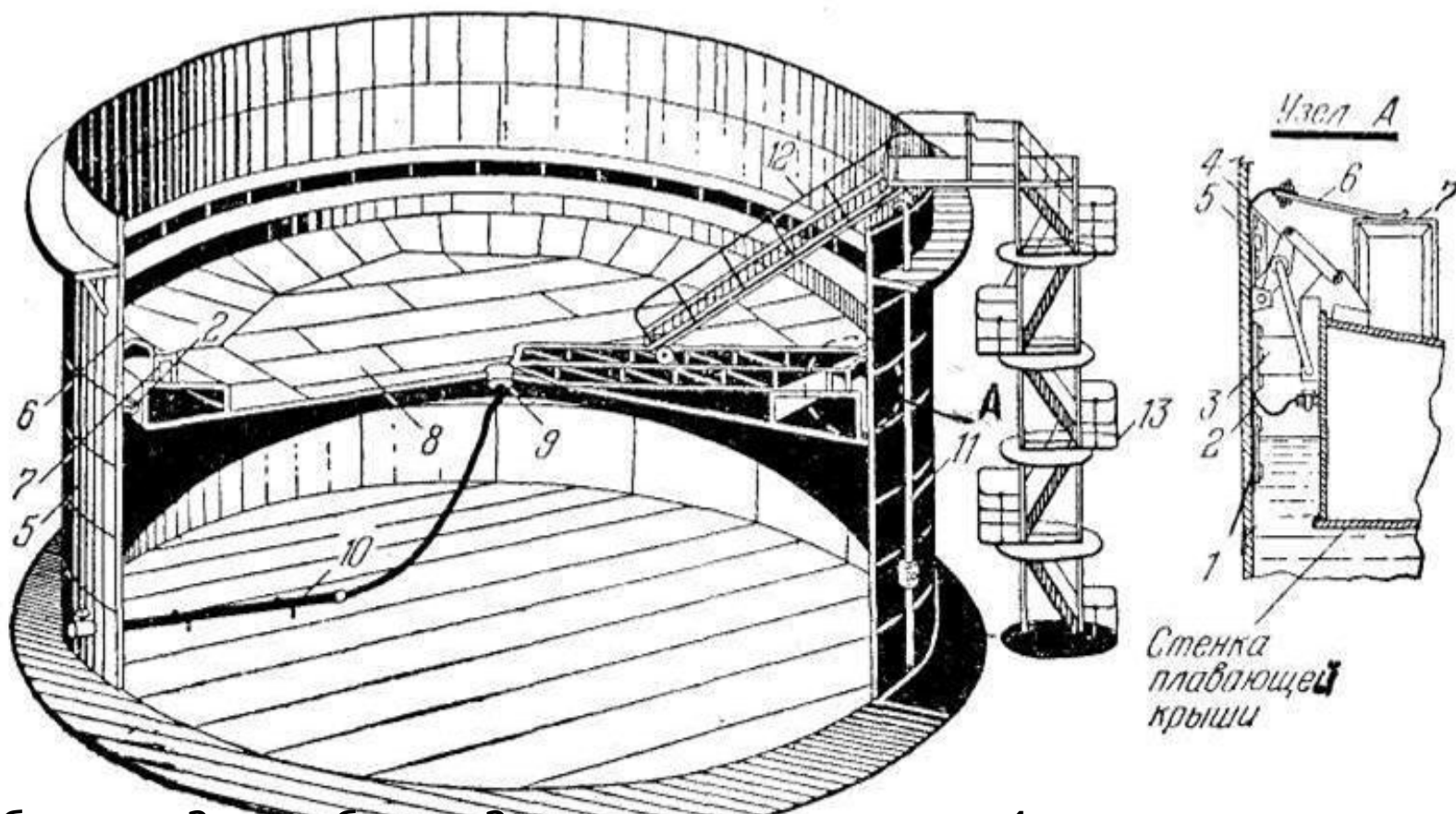


## СХЕМА РЕЗЕРВУАРА С ПОНТОНОМ





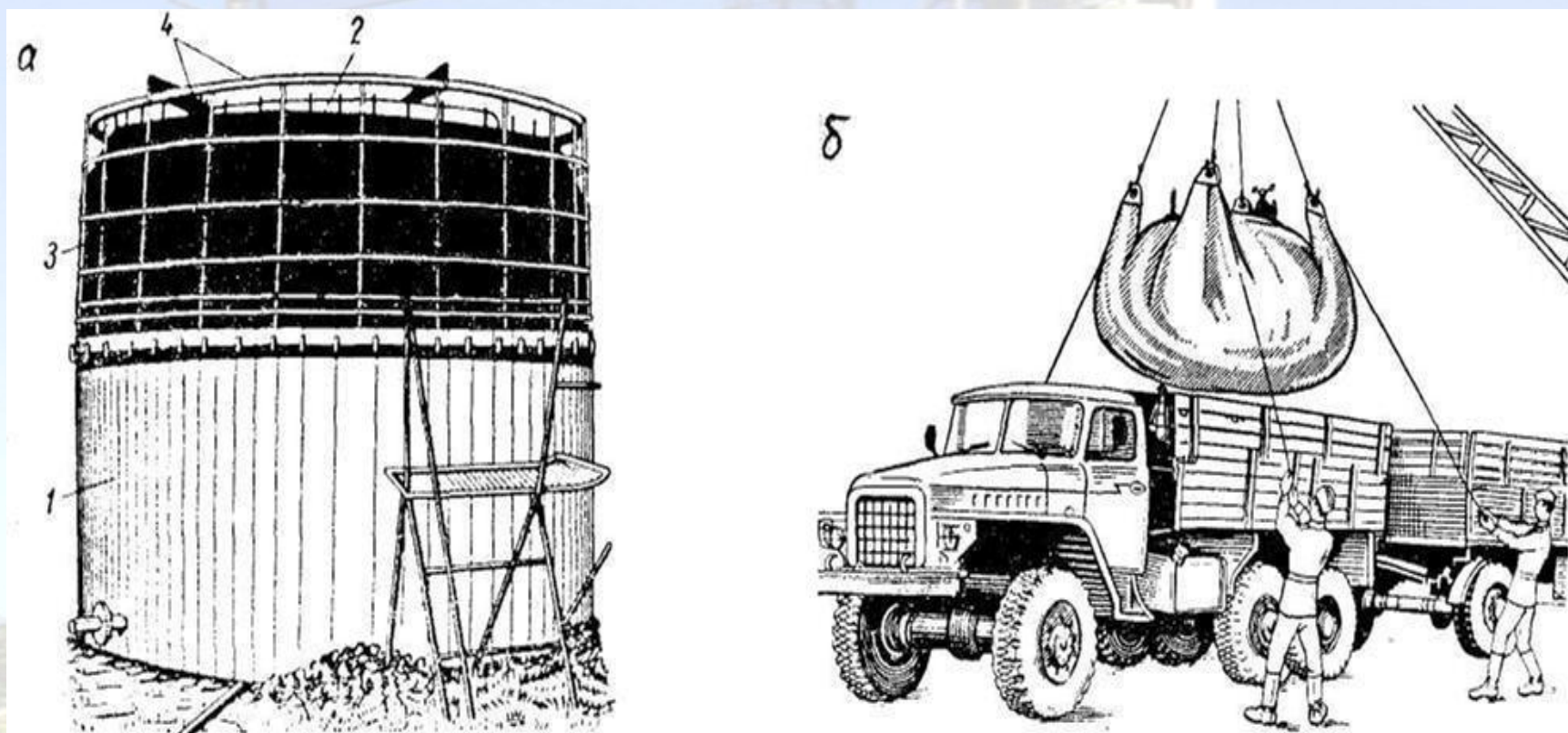
# СХЕМА РЕЗЕРВУАРА С ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШЕЙ



- 1 - башмак; 2 - мембрана; 3 - прижимная пружина; 4 - шарнирная связь; 5 - корпус резервуара; 6 - защитный козырек; 7 - кронштейн козырька; 8 - плавающая крыша; 9, 10 - водосливное устройство; 11 - уровнемер; 12 - 26 подвижная лестница; 13 - наружная лестница

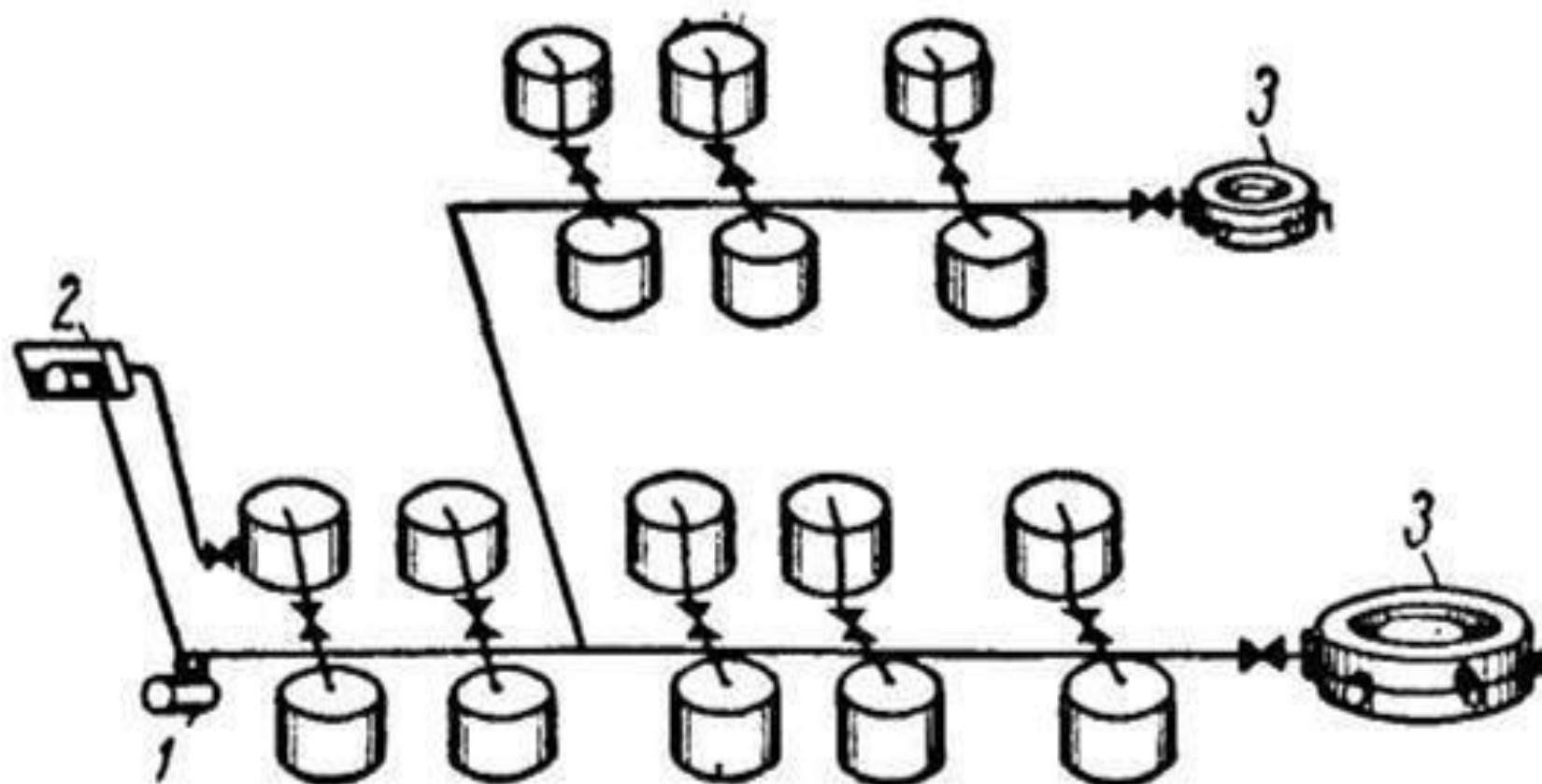


# СХЕМА РЕЗИНОТКАНЕВОГО РЕЗЕРВУАРА



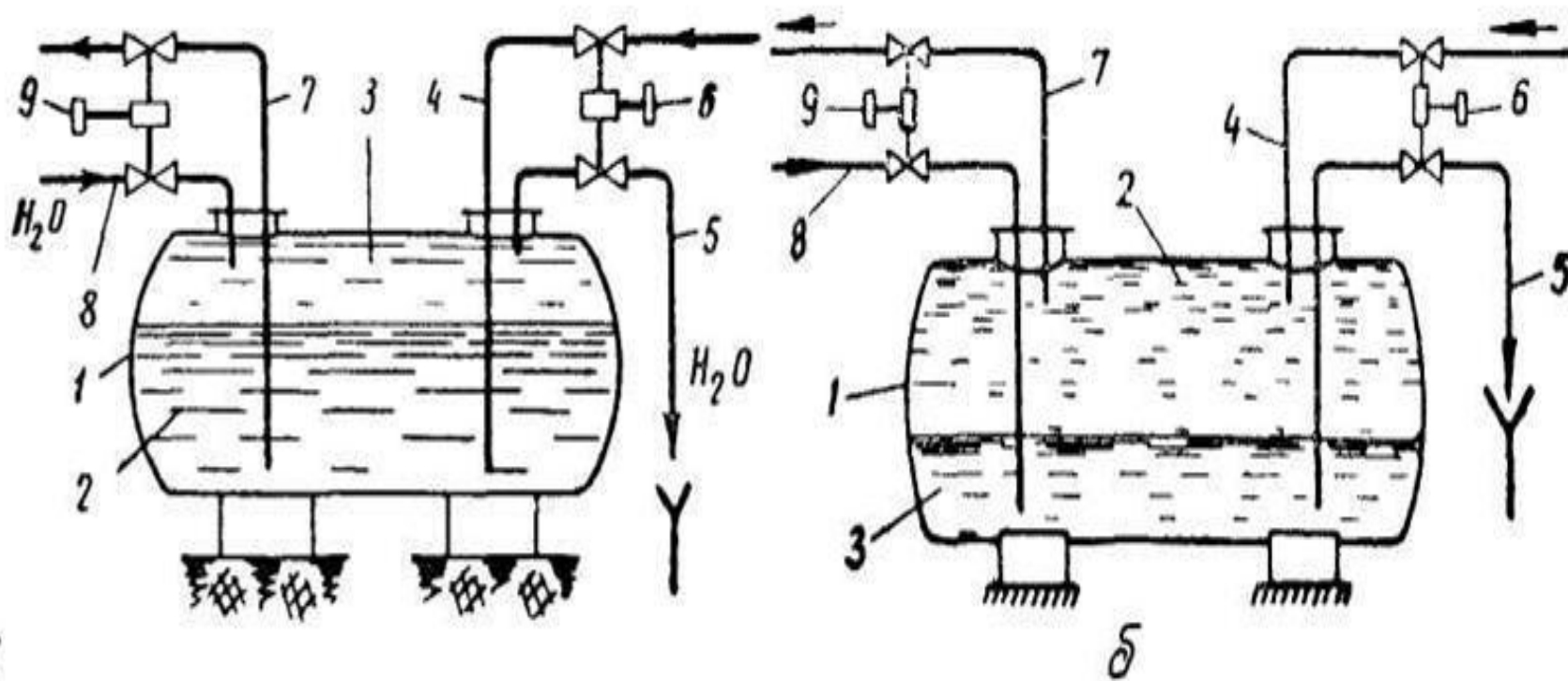


# СХЕМА ГАЗОУРАВНИТЕЛЬНОЙ ОБВЯЗКИ РЕЗЕРВУАРОВ





# СХЕМА АППАРАТОВ, В КОТОРЫХ ГОРЮЧИЕ ЖИДКОСТИ НАХОДЯТСЯ ПОД ЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ ВОДЫ



- а
- б
- 1 - корпус аппарата; 2 - пространство, заполненное горючей жидкостью; 3 - пространство, заполненное водой; 4 - линия подачи горючей жидкости в аппарат; 5 - линия отвода воды из аппарата; 6, 9 - приводы с блокировкой; 7 - расходная линия горючей жидкости; 8 - линия подачи в аппарат воды



**2. Применение высокостойких пен, эмульсий и полых микрошариков**, т.е. веществ и материалов способных, не разрушаясь плавать на поверхности ГЖ резервуара, создавая требуемой толщины слой и необходимую герметизацию с корпусом. Полые микрошарики размером 10-120 мкм. изготавливают из карбомидных и фенолформальдегидных смол

**3. Создание температурных условий, исключающих образование взрывоопасных концентраций.**

При рабочих температурах ниже или выше температурных пределов воспламенения паров жидкости необходимо контролировать температурный режим, используя приборы автоматического контроля или автоматически регулировать температуру.



#### ***4. Введение негорючих газов в паровоздушный объём аппаратов и емкостей.***

Если в аппарате есть условия для образования взрывоопасной концентрации паров и нельзя изменить температурный режим работы, то обеспечить безопасность эксплуатации аппарата можно путём подачи в него какого-либо негорючего газа ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{Ge}$ ) или водяного пара. Они понижают концентрацию кислорода в смеси, сужая концентрационные пределы горючей смеси.



## ***5. Введение в огнеопасную жидкость каких-либо добавок, снижающих давление насыщенного пара (парциальное давление)***

т.е.уменьшающих концентрацию горючих паров в свободном пространстве аппарата (резервуара). В качестве таких добавок могут быть применены, например, вода – для метилового, этилового или пропилового спирта, ацетона , уксусной кислоты,  $\text{CCl}_4$  - для нефтепродуктов,  $\text{CS}_2$  и др.