

**Т.А. Кучменко, В.В. Разуваев,  
Э.М. Ривин**

**СОВРЕМЕННАЯ ХИМИЯ  
И ХИМИЧЕСКАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
(ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

---

ФГБОУ ВО  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

---

Т.А. КУЧМЕНКО, В.В. РАЗУВАЕВ  
Э.М. РИВИН

# **СОВРЕМЕННАЯ ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)**

Утверждено  
редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

ВОРОНЕЖ  
2019

УДК 543.06:543.64

ББК Г4я7

К95

Научный редактор профессор Т.А. КУЧМЕНКО

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра аналитической химии

Воронежского государственного университета;

к.х.н. Р.У. УМАРХАНОВ

(ООО «Сенсорика – Новые Технологии»)

Печатается по решению

редакционно-издательского совета

Воронежского государственного университета инженерных технологий

**Кучменко, Т.А.**

К95

Современная химия и химическая безопасность (теория и практика): учеб. пособие / Т.А. Кучменко, В.В. Разуваев, Э.М. Ривин; Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – 171 с.

ISBN 978-5-00032-422-6

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями ФГОС ВО подготовки выпускников по направлению 04.05.01 – «Фундаментальная и прикладная химия». Предназначено для ознакомления с общими основами промышленной безопасности химического производства, изучения и оценки воздействия на окружающую среду.

В учебном пособии описаны методики, позволяющие выполнять оценку воздействия поражающих факторов аварии на персонал и население, проводить анализ рисков и оценку величины ущерба в результате возникновения аварии. На примере действующего производства рассмотрено его влияние на окружающую среду.

**К**  $\frac{1903010000 - 10}{\text{ОК2(03)} - 2019}$  Без объявл.

**УДК 543.06:543.64**

**ББК Г4я7**

ISBN 978-5-00032-422-6

© Кучменко Т.А., Разуваев В.В.,  
Ривин Э.М., 2019

© ФГБОУ ВО «Воронеж  
гос. ун-т инж. технол.», 2019

Оригинал-макет данного издания является собственностью Воронежского государственного университета инженерных технологий, его воспроизведение (воспроизведение) любым способом без согласия университета запрещается.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>ОТ АВТОРОВ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1. ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....</b>	<b>6</b>
<b>Практическая работа № 1.</b> Определение избыточного давления взрыва облака топливно-воздушной смеси на наружной установке и устойчивости здания к воздействию ударной волны .....	12
<b>Практическая работа № 2.</b> Определение зон токсичного поражения при аварийных выбросах аварийно химических опасных веществ (АХОВ) и возможного количества пострадавших в результате аварии.....	24
<b>Контрольные вопросы и задания.....</b>	<b>36</b>
<b>ГЛАВА 2. ОЦЕНКА МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ. ОЦЕНКА РИСКОВ.....</b>	<b>38</b>
<b>Практическая работа № 3.</b> Определение материального ущерба в результате аварий и оценка риска поражения персонала.....	43
<b>Контрольные вопросы и задания.....</b>	<b>50</b>
<b>ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА КАК ИСТОЧНИКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ...</b>	<b>52</b>
<b>3.1. Бутадиен-стирольные каучуки эмульсионной полимеризации.....</b>	<b>53</b>
3.1.1. Синтез латекса.....	56
3.1.2. Выделение каучука из латекса .....	59
<b>3.2. Бутадиен-стирольные каучуки растворной полимеризации.....</b>	<b>65</b>
<b>Лабораторная работа № 1.</b> Определение содержания фосфат-ионов в сточной воде.....	69
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Определение содержания железа в сточной воде.....	73
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Определение содержания сульфат-ионов в сточной воде.....	77

<b>Лабораторная работа № 4.</b> Определение содержания хлорид-ионов в сточной воде.....	81
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Определение содержания анионных ПАВ в сточной воде .....	86
<b>Лабораторная работа № 6.</b> Определение содержания ионов лития в сточной воде.....	89
<b>Контрольные вопросы и задания .....</b>	92
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	94
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....</b>	96
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....</b>	154

## ОТ АВТОРОВ

Внедрение современных химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих технологий, связанных с использованием новейшего оборудования и техники, требует решения актуальных проблем защиты окружающей среды также на современном уровне. Основные опасности, создаваемые предприятиями этих отраслей: загрязнение окружающей среды, выбросы опасных веществ, пожары, взрывы, материальные и человеческие потери. Поэтому огромные усилия и средства требуются для создания единой системы обеспечения промышленной, пожарной и экологической безопасности, включая организацию мониторинга окружающей среды и состояния опасных производственных объектов, разработку и контроль исполнения законодательных актов, нормативных документов.

В учебном пособии представлены лабораторные работы, при выполнении которых студенты знакомятся с применяемыми в заводских лаборатория методиками анализа, с возможными опасностями, возникающими при авариях на химическом производстве.

В учебное пособие включен ряд стандартных методик исследования, применительно к конкретному химическому производству.

## ГЛАВА 1. ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Рост промышленного производства во второй половине XX века привел к увеличению количества аварий и инцидентов, что вызвало необходимость формирования требований по предупреждению такого рода чрезвычайных ситуаций.

Вопросы регулирования безопасности на химических производствах в Российской Федерации призван решать, как один из основных, Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (далее – Федеральный закон № 116-ФЗ).

В соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ под опасными производственными объектами понимаются предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, характеризующиеся одним или несколькими признаками опасности.

Опасные производственные объекты в зависимости от уровня потенциальной опасности аварий на них для жизненно важных интересов личности и общества подразделяются на четыре класса опасности:

I класс опасности – опасные производственные объекты чрезвычайно высокой опасности;

II класс опасности – опасные производственные объекты высокой опасности;

III класс опасности – опасные производственные объекты средней опасности;

IV класс опасности – опасные производственные объекты низкой опасности.

Современные химические производства в большинстве своем являются опасными производственными объектами, характеризующиеся обращением опасных продуктов, применением оборудования, работающего под избыточным давлением, использованием грузоподъемных механизмов.

К опасным веществам согласно Федеральному закону № 116-ФЗ относятся: воспламеняющиеся; окисляющие; горючие; взрывчатые; токсичные; высокотоксичные; вещества, представляющие опасность для окружающей среды.

Неконтролируемый выброс подобного рода опасных веществ может приводить к пожарам, взрывам, токсическому поражению персонала и населения, т.е. к авариям.

Под аварией с точки зрения промышленной безопасности понимается разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ.

Взрыв – неконтролируемый быстро протекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям.

В СССР одной из наиболее крупных аварий, характеризующихся взрывом, была авария, произошедшая в 1989 г. в республике Башкортостан. Недалеко от железнодорожной станции Улу-Теляк на перегоне Аша-Улу-Теляк вследствие разгерметизации магистрального трубопровода широкой фракции легких углеводородов (смесь  $\approx 80\%$  углеводородов  $C_2-C_4$  и  $\approx 20\%$  углеводородов  $C_5-C_6$ ) в ночь с 3 на 4 июня 1989 г. произошли взрыв и пожар. Пострадали 2 поезда: № 211 Новосибирск – Адлер (20 вагонов) и № 212 Адлер-Новосибирск (18 вагонов). Более 570 пассажиров, в основном дети, погибли, около 600 остались инвалидами. Воздушной волной были сброшены с путей 11 вагонов, 7 из которых сгорели полностью. Остальные 27 вагонов обгорели снаружи и полностью выгорели внутри [1].

Выброс газов стал следствием разрушения продуктопровода, находящегося на расстоянии в 0,9 км от полотна железной дороги. Незадолго до трагедии с продуктопровода были демонтированы телеметрические устройства. При встречном движении поездов газовая волна, по-видимому, оказалась втянутой между ними, к тому же заискрил пантограф.

В современной России наиболее крупными авариями, связанными с неконтролируемыми взрывами, являются следующие. В цехе производства фенола и ацетона ОАО «Омский каучук» 6 марта 2014 г. при производстве ремонтно-восстановительных работ по укреплению несущих конструкций этажерки произошел пожар в районе колонны на нулевой отметке с последующим



взрывом [2]. Причиной аварии явилась разгерметизация трубопровода питания колонны в результате внешнего механического воздействия (вероятно – падения на него монтируемого элемента металлоконструкции этажерки) с последующим возгоранием истекающего под давлением продукта (изопропилбензола) и развития пожара у основания колонны. Причиной возгорания истекающего под давлением изопропилбензола и развитием пожара у основания колонны явилась искра, попавшая в зону разгерметизации в результате проведения на вышенаходящейся площадке этажерки огневых работ. Причиной взрыва колонны явился ее нагрев и рост температуры реакционной массы окисления, находившейся в колонне, до температуры начала экзотермического разложения продуктов в результате пожара у основания колонны. В результате аварии травмировано 11 человек, экономический ущерб составил 206 000 тыс. р. (рис. 1).

На предприятии ОАО «Ачинский НПЗ Восточная нефтяная компания», принадлежащему ОАО «Роснефть», 15 июня 2014 г. в секции 400 газофракционирования установки ЛК-6у в верхней части колонны деэтанализации произошла разгерметизация горизонтальных участков шлемового трубопровода колонны с выбросом смеси углеводородов, загазованностью территории с последующим взрывом парогазовой смеси и пожаром [3]. Причиной аварии явилась разгерметизация горизонтальных участков шлемового трубопровода, вызванная низкотемпературной сероводородной коррозией в присутствии хлористого водорода.



Рис. 1. Последствия аварии на ОАО «Омский каучук»

В результате аварии разрушены здания и сооружения, находившиеся в зоне действия ударной волны на расстоянии до 300 м от эпицентра взрыва (рис. 2). Травмы различной степени тяжести получили 32 человека, из них 8 – смертельные. Общий ущерб составил 6200 млн р.



Рис. 2. Последствия аварии на ОАО «Ачинский НПЗ Восточная нефтяная компания»

Среди аварий, связанных с выбросом опасного вещества и токсическим поражением производственного персонала и населения, особняком стоит следующая авария.

В ночь 3 декабря 1984 г. утечка метилизоцианата (далее - МИЦ) стала причиной катастрофы в Бхопале (Индия), унесшей 3 тысячи жизней и приведшей к заболеванию более 200 тысяч человек. В результате выброса около 43 т МИЦ и продуктов его неполного разложения была заражена территория, охваченная газовым облаком длиной около 5 км.

МИЦ при нормальных условиях представляет собой жидкость с температурой кипения 39 °С; пары МИЦ в два раза тяжелее воздуха. МИЦ является лакриматором – веществом, раздражающим слизистые оболочки глаз и вызывающим неукротимое слезотечение. Ядовит при вдыхании и действии на кожу.

Лишь после трагедии в Бхопале стало известно, что токсичность МИЦ превышает токсичность фосгена в 2-3 раза и хлора – в 25-30 раз.

МИЦ хранился в сборнике, представляющем собой горизонтальный цилиндрический аппарат объемом 57 м<sup>3</sup> (диаметр 2,43 м, длина 13 м). Для поддержания температуры около 0 °С МИЦ в сборнике с помощью теплообменных элементов охлаждался циркулирующим хладоносителем (хлороформом). Сборник был оснащен предохранительным клапаном и разрывной мембраной, между которыми был установлен манометр. Также к сборнику был подведен трубопровод для подачи сухого азота. За предохранительным клапаном был установлен скруббер, орошаемый щелочью для омыления паров МИЦ. Газ после скруббера мог направляться на факел, кроме того предусматривался и прямой выход газов на факел.

В техническом оформлении были использованы три способа защиты от выбросов паров МИЦ в атмосферу: охлаждение жидкости (отвод тепла в случае возникновения экзотермической реакции) и поддержание упругости паров над жидкостью на более низком уровне; очистка отходящих газов от МИЦ в щелочном скруббере; сжигание отходящих газов на факеле.

Однако ни один из указанных выше способов не сработал. Так, система охлаждения была отключена за 6 месяцев до аварии. Факельная система для сжигания паров МИЦ при авариях была разобрана, и ей также нельзя было воспользоваться. Улавливание паров МИЦ в скруббере происходило, но аппарат был рассчитан на небольшие количества МИЦ, т.е. на допустимые утечки в ходе обычных технологических операций, а не крупную аварию.

Авария возникла вследствие начавшейся неуправляемой экзотермической реакции с сборнике МИЦ в результате попадания в его объем воды. Вследствие тепловыделения от экзотермической реакции взаимодействия МИЦ с водой происходило испарение жидкости, пары которой через неэффективно работающую систему очистки беспрепятственно выходили в атмосферу и распространялись в наземном слое на огромной территории.

Осознание возможной тяжести последствий аварий привело к необходимости прогнозирования величин поражающих факторов аварий, количества пострадавших как с целью безопасного размещения производственных объектов относительно селитебной зон, так и с целью безопасной для персонала компоновки отдельных составляющих самих производственных объектов.

Например, согласно требованиям [6] для вновь проектируемых взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектов должны быть обеспечена защита персонала, постоянно находящегося в помещении управления (операторные), от воздействия ударной волны (травмирования) при возможных аварийных взрывах на технологических объектах с учетом зон разрушения, а также от термического воздействия.

Дополнительная необходимая для освоения информация представлена в приложении 1 темы 1-5.

## Практическая работа № 1.

### Определение избыточного давления взрыва облака топливно-воздушной смеси на наружной установке и устойчивости здания к воздействию ударной волны

**Цель работы:** освоить методику определения избыточного давления взрыва облака ТВС на наружной установке, научиться оценивать условную вероятность повреждения (разрушения) зданий и сооружений в результате воздействия ударной волны, научиться оценивать условную вероятность поражения людей, в т.ч. находящихся в зданиях и сооружениях, в результате воздействия ударной волны.

#### Теоретические сведения

Необходимо предварительное изучение материала тем 1-5 приложения 1.

На химических производствах, характеризующихся обращением взрывоопасных веществ, одним из наиболее опасных видов аварии являются аварии, связанные со взрывом облака ТВС на наружной установке.

Основными параметрами воздушной ударной волны являются избыточное давление  $\Delta P$  и импульс волны давления  $I$ , определяемые на некотором расстоянии от центра облака.

Исходными данными для расчета параметров ударных волн при взрыве облака ТВС являются:

- характеристика горючего вещества;
- агрегатное состояние ТВС (газовая или гетерогенная);
- средняя концентрация горючего в смеси  $C_r$ , г/м<sup>3</sup>;
- стехиометрическая концентрация горючего газа с воздухом  $C_{ст}$ , г/м<sup>3</sup>;
- масса горючего вещества, содержащегося в облаке  $M_r$ , кг;
- удельная теплота сгорания горючего вещества  $q_r$ , МДж/кг;
- информация об окружающем пространстве.

*Характеристика горючего вещества.* ТВС, способные к образованию горючих смесей с воздухом, по своим взрывоопасным свойствам разделены на 4 класса. Классификация горючих веществ приведена в табл. 1.

В случае если вещество отсутствует в табл. 1, его следует классифицировать по аналогии с имеющимися в таблице веществ-

вами, а при отсутствии информации о свойствах данного вещества - относить его к классу 1, т.е. рассматривать как наиболее опасный случай.

*Агрегатное состояние ТВС.* Предполагается, что смесь гетерогенная, если более 50 % топлива содержится в облаке в виде капель, в противном случае ТВС считается газовой. Провести такие оценки можно исходя из величины давления насыщенных паров топлива при данной температуре и времени формирования облака. Для летучих веществ, таких как пропан при температуре 20 °С смесь можно считать газовой, а для веществ с низким давлением насыщенного пара (распыл дизтоплива при 20 °С) расчеты проводятся в предположении гетерогенной топливно-воздушной смеси.

Таблица 1

**Классификация горючих веществ  
по степени чувствительности**

Класс 1		Класс 2		Класс 3		Класс 4	
Особо чувствительные вещества		Чувствительные вещества		Средне-чувствительные вещества		Слабо-чувствительные вещества	
Размер детонационной ячейки менее 2 см		Размер детонационной ячейки от 2 до 10 см		Размер детонационной ячейки от 10 до 40 см		Размер детонационной ячейки больше 40 см	
	$\beta^*$		$\beta^*$		$\beta^*$		$\beta^*$
Ацетилен	1,1	Акрилонитрил	0,67	Ацетальдегид	0,56	Аммиак	0,42
Винилацетилен	1,03	Акролеин	0,62	Ацетон	0,65	Бензол	0,88
Водород	2,73	Бутан	1,04	Бензин	1,0	Декан	1,0
Гидразин	0,44	Бутилен	1,0	Винилацетат	0,51	Дизтопливо	1,0
Изопропилнитрат	0,41	Бутадиен	1,0	Винилхлорид	0,42	о-Дихлорбензол	0,42
Метилацетилен	1,05	1,3-Пентадиен	1,0	Гексан	1,0	Додекан	1,0
Нитрометан	0,25	Пропан	1,05	Изооктан	1,0	Керосин	1,0
Оксид пропилена	0,7	Пропилен	1,04	Метиламин	0,7	Метан	1,14
Оксид этилена	0,62	Сероуглерод	0,32	Октан	1,0	Метилбензол	1,0
Этилнитрат	0,3	Этан	1,08	Пиридин	0,77	Метилмеркаптан	0,53
		Этилен	1,07	Сероводород	0,34	Метилхлорид	0,12

Окончание табл. 1

Класс 1		Класс 2		Класс 3		Класс 4	
Особо чувствительные вещества		Чувствительные вещества		Средне-чувствительные вещества		Слабо-чувствительные вещества	
Размер детонационной ячейки менее 2 см		Размер детонационной ячейки от 2 до 10 см		Размер детонационной ячейки от 10 до 40 см		Размер детонационной ячейки больше 40 см	
	$\beta^*$		$\beta^*$		$\beta^*$		$\beta^*$
		ШФЛУ	1	Метилловый спирт	0,52	Нафталин	0,91
		Диметиловый эфир	0,66	Этиловый спирт	0,62	Окись углерода	0,23
		Дивиниловый эфир	0,77	Пропиловый спирт	0,69	Фенол	0,92
		Метилбутиловый эфир	-	Изобутиловый спирт	0,79	Хлорбензол	0,52
		Диэтиловый эфир	0,77	Изопропиловый спирт	0,69	Этилбензол	0,90
		Диизопропиловый эфир	0,82	Циклогексан	1,0	Дихлорэтан	0,25
				Этилформиат	0,46	Трихлорэтан	0,14
				Этилхлорид	0,43		
				Сжиженный природный газ	1,0		
				Кумол	0,84		
				Печной газ	0,09		
				Циклопропан	1,0		
				Этиламин	0,8		

$\beta^*$  – корректировочный параметр расчетов.

*Концентрация горючего вещества.* Стехиометрическая концентрация горючего вещества в ТВС определяется из справочных данных или рассчитывается отдельно. В случае если определение концентрации горючего вещества в смеси затруднено, в качестве величины  $C_T$  принимается концентрация, соответствующая стехиометрической.

*Масса горючего вещества.* Определение массы, участвующей во взрыве облака ТВС, рекомендуется выполнять в соответствии с [5]. Для ориентировочных расчетов масса опасного веще-

ства, участвующая во взрыве, принимается не более 10 % от массы опасного вещества, содержащегося в облаке.

*Удельная теплота сгорания горючего вещества.* Теплота сгорания горючего газа  $q_{\Gamma}$ , МДж/кг, в ТВС берется из справочных данных или оценивается по формуле

$$q_e = 44 \cdot \beta.$$

Корректировочный параметр  $\beta$  для наиболее распространенных в промышленном производстве опасных веществ определяется из табл. 1.

*Характеристика окружающей среды.* В связи с тем что характер окружающего пространства в значительной степени определяет скорость взрывного превращения облака ТВС и, следовательно, параметры ударной волны, геометрические характеристики окружающего пространства разделены на виды в соответствии со степенью его загроможденности.

Вид 1. Наличие длинных труб, полостей, каверн, заполненных горючей смесью, при сгорании которой возможно ожидать формирование турбулентных струй продуктов сгорания с размером не менее трех размеров детонационной ячейки данной смеси.

Вид 2. Сильно загроможденное пространство: наличие полумажкутых объемов, высокая плотность размещения технологического оборудования, лес, большое количество повторяющихся препятствий.

Вид 3. Среднезагроможденное пространство: отдельно стоящие технологические установки, резервуарный парк.

Вид 4. Слабо загроможденное и свободное пространство.

Эффективный энергозапас горючей смеси определяется по соотношению

$$E = M_{\Gamma} q_{\Gamma} \text{ при } C_{\Gamma} \leq C_{\text{ст}}$$

или

$$E = M_{\Gamma} q_{\Gamma} C_{\text{ст}} / C_{\Gamma} \text{ при } C_{\Gamma} > C_{\text{ст}},$$

где  $M_{\Gamma}$  - масса горючего вещества, содержащегося в облаке, кг.

*При расчете параметров взрыва облака, лежащего на поверхности земли, величина эффективного энергозапаса удваивается.*

Известны два основных режима протекания быстротекающих процессов – детонация и дефлаграция.



Детонационный взрыв – взрыв, при котором воспламенение последующих слоев взрывчатого вещества происходит в результате сжатия и нагрева ударной волной, характеризуется тем, что ударная волна и зона химической реакции следуют неразрывно друг за другом с постоянной сверхзвуковой скоростью.

Дефлаграционный взрыв – взрыв, при котором нагрев и воспламенение последующих слоев взрывчатого вещества происходят в результате диффузии и теплоотдачи, характеризуется тем, что фронт волны сжатия и фронт пламени движутся с дозвуковой скоростью.

Для оценки параметров действия взрыва возможные режимы взрывного превращения ТВС разбиты на шесть диапазонов по скоростям их распространения, причем пять из них приходится на процессы дефлаграционного горения ТВС, поскольку характеристики процесса горения со скоростями фронта меньшими 500 м/с имеют существенные качественные различия.

Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения определяется с помощью экспертной табл. 2 в зависимости от класса горючего вещества и вида окружающего пространства.

Таблица 2

**Экспертная таблица для определения режима взрывного превращения**

Класс горючего вещества	Вид окружающего пространства			
	1	2	3	4
	Ожидаемый диапазон скорости взрывного превращения			
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	5
4	3	4	5	6

Диапазон 1. Детонация или горение со скоростью фронта пламени 500 м/с и больше.

Диапазон 2. Дефлаграция, скорость фронта пламени 300-500 м/с.

Диапазон 3. Дефлаграция, скорость фронта пламени 200-300 м/с.

Диапазон 4. Дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с.

Диапазон 5. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением

$$V_{\Gamma} = k_1 M_{\Gamma}^{1/6},$$

где  $k_1$  - константа, равная 43.

Диапазон 6. Дефлаграция, скорость фронта пламени определяется соотношением:

$$V_{\Gamma} = k_2 M_{\Gamma}^{1/6},$$

где  $k_2$  - константа, равная 26.

Для вычисления параметров воздушной ударной волны на заданном расстоянии  $R$  от центра облака при детонации облака ТВС предварительно рассчитывается соответствующее безразмерное расстояние по соотношению (1):

$$R_x = R/(E/P_0)^{1/3}, \quad (1)$$

где  $P_0$  - атмосферное давление, Па;  $P_0 = 101325$  Па.

Далее рассчитываются безразмерное давление  $P_x$  и безразмерный импульс фазы сжатия  $I_x$ .

В случае детонации облака газовой ТВС расчет производится по следующим формулам:

$$\ln(P_x) = -1,124 - 1,66 \ln(R_x) + 0,26(\ln(R_x))^2, \quad (2)$$

$$\ln(I_x) = -3,4217 - 0,898 \ln(R_x) - 0,009(\ln(R_x))^2. \quad (3)$$

Зависимости (2) и (3) справедливы для значений  $R_x$ , больших 0,2 и меньших 6,5. В случае  $R_x < 0,2$  величина  $P_x$  полагается равной 18, а в выражение (3) подставляется значение  $R_x = 0,142$ .

В случае детонации облака гетерогенной ТВС расчет производится по формулам:

$$P_x = 0,125/R_x + 0,137/R_x^2 + 0,023/R_x^3, \quad (4)$$

$$I_x = 0,022/R_x. \quad (5)$$

Зависимости (4) и (5) справедливы для значений  $R_x$  больших величины 0,25. В случае если  $R_x < 0,25$ , величина  $P_x$  полагается равной 18, а величина  $I_x = 0,16$ .

В случае дефлаграционного взрывного превращения облака ТВС к параметрам, влияющим на величины избыточного давления и импульса, добавляются скорость видимого фронта пламени  $V_z$  и степень расширения продуктов сгорания  $\sigma$ . Для газовых смесей принимается  $\sigma = 7$ , для гетерогенных  $\sigma = 4$ . Для расчета параметров ударной волны при дефлаграции гетерогенных облаков величина эффективного энергозапаса смеси домножается на коэффициент  $(\sigma - 1) / \sigma$ . Величина  $V_z$  определяется исходя из взрывоопасных свойств горючего вещества и загроможденности окружающего пространства, влияющего на турбулизацию фронта пламени.

Безразмерные давление  $P_{x1}$  и импульс фазы сжатия  $I_{x1}$  определяются по соотношениям:

$$P_{x1} = \left(\frac{V_f}{C_0}\right)^2 \left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right) \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right), \quad (6)$$

$$I_{x1} = \left(\frac{V_f}{C_0}\right) \left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right) \left(1 - \frac{0,4(\sigma-1)V_f}{\sigma C_0}\right) \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3}\right), \quad (7)$$

где  $C_0$  – скорость звука в воздухе, м/с,  $C_0 \approx 340$  м/с.

Последние два выражения справедливы для значений  $R_x$ , больших величины 0,34, в противном случае  $R_x$  в соотношениях полагается равным 0,34.

Далее вычисляются величины  $P_{x2}$  и  $I_{x2}$ , которые соответствуют режиму детонации и для случая детонации газовой смеси рассчитываются по соотношениям (2), (3), а для детонации гетерогенной смеси - по соотношениям (4), (5). Окончательные значения  $P_x$  и  $I_x$  выбираются из условий:

$$P_x = \min(P_{x1}, P_{x2}) \quad I_x = \min(I_{x1}, I_{x2}). \quad (8)$$

После определения безразмерных величин давления ( $\Delta P$ , Па) и импульса фазы сжатия ( $I$ , Па·с) вычисляются соответствующие им размерные величины:

$$\Delta P = P_x P_0, \quad (9)$$

$$I = I_x (P_0)^{2/3} E^{1/3} / C_0. \quad (10)$$

Для расчета условной вероятности поражения людей, находящихся на открытой местности, ударными волнами, используется пробит-функция, значение которой определяется следующим образом:

- вероятность длительной потери управляемости у людей (состояние нокдауна), попавших в зону действия ударной волны при взрыве облака ТВС, может быть оценена по величине пробит-функции:

$$Pr_3 = 5 - 5,74 \ln V_3,$$

$$V_3 = \frac{4,2}{p} + \frac{1,3}{i},$$

$$p = 1 + \frac{\Delta P}{P_0},$$

$$i = \frac{I}{P_0^{\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{3}}},$$

где  $m$  - масса тела человека, кг; принимается в среднем  $m = 80$  кг;

- вероятности разрыва барабанных перепонок у людей от уровня перепада давления в воздушной волне определяется по формуле

$$Pr_4 = -12,6 + 1,524 \ln \Delta P,$$

- вероятность отброса людей волной давления оценивается по величине пробит-функции:

$$Pr_5 = 5 - 2,44 \ln V_5,$$

$$V_5 = \frac{7,38 \cdot 10^{-3}}{\Delta P} + \frac{1,3 \cdot 10^9}{\Delta P I}.$$

При использовании пробит-функций в качестве зон 100 %-ного поражения принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигает величины, соответствующей вероятности 90 %. В качестве зон, безопасных с точки зрения воздействия поражающих факторов, принимаются зоны поражения, где значение пробит-функции достигает величины, соответствующей вероятности 1 %.

Связь пробит-функции с вероятностью той или иной степени поражения находится по табл. 3.

Таблица 3

## Связь вероятности поражения с пробит-функцией

P, %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Для расчета условной вероятности гибели людей, находящихся в зданиях, используются данные о гибели людей при разрушении зданий при взрывах и землетрясениях. Исходя из типа зданий и избыточного давления ударной волны, оценивается степень разрушения производственных и административных зданий. Данные приведены в табл. 4. Условная вероятность травмирования и гибели людей определяется по табл. 5.

Таблица 4

**Данные о степени разрушения производственных, административных зданий и сооружений, имеющих разную устойчивость**

Тип зданий, сооружений	Степень разрушения при избыточном давлении на фронте падающей ударной волны, кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Промышленные здания с легким каркасом и бескаркасной конструкцией	10 - 25	25 - 35	35 - 45	> 45
Складские кирпичные здания	10 - 20	20 - 30	30 - 40	> 40
Одноэтажные складские помещения с металлическим каркасом и стеновым заполнением из листового металла	5 - 7	7 - 10	10 - 15	> 15
Бетонные и железобетонные здания и антисейсмические конструкции	25 - 35	80 - 120	150 - 200	> 200
Здания железобетонные монолитные повышенной этажности	25 - 45	45 - 105	105 - 170	170 - 215

Тип зданий, сооружений	Степень разрушения при избыточном давлении на фронте падающей ударной волны, кПа			
	Слабое	Среднее	Сильное	Полное
Котельные, регуляторные станции в кирпичных зданиях	10 - 15	15 - 25	25 - 35	35 - 45
Деревянные дома	6 - 8	8 - 12	12 - 20	> 20
Подземные сети, трубопроводы	400 - 600	600 - 1000	1000 - 1500	> 1500
Трубопроводы наземные	20	50	130	-
Кабельные подземные линии	до 800	-	-	> 1500
Цистерны для перевозки нефтепродуктов	30 - 50	50 - 70	70 - 80	> 80
Резервуары и емкости стальные наземные	35 - 55	55 - 80	80 - 90	> 90
Подземные резервуары	40 - 75	75 - 150	150 - 200	> 200

Таблица 5

**Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания**

Тяжесть поражения	Степень разрушения			
	Полное	Сильное	Среднее	Слабое
Смертельное	0,60	0,49	0,09	0,0
Тяжелые травмы	0,37	0,34	0,10	0,0
Легкие травмы	0,03	0,17	0,20	0,05

### Задание

На основании полученных значений параметров ударной волны (избыточное давление и импульс фазы сжатия) выполняется расчет вероятности поражения персонала, находящегося на открытой местности, и дается оценка степени разрушения зданий и сооружений, оказавшихся в зоне действия ударной волны, и вероятности поражения персонала, находящихся в них.

Варианты заданий к практической работе приведены в приложении 2. Выбирать их по указанию преподавателя.

### Пример расчета

В результате аварии на автодороге, проходящей по открытой местности, в безветренную погоду произошел разрыв автоцистерны, содержащей 8 т сжиженного пропана. Для оценки максимально возможных последствий принято, что в результате выброса газа в пределах воспламенения оказалось практически все топливо, перевозившееся в цистерне. Средняя концентрация пропана в образовавшемся облаке составила около  $140 \text{ г/м}^3$ . Воспламенение облака привело к возникновению взрывного режима его превращения. Требуется определить параметры воздушной ударной волны (избыточное давление и импульс фазы сжатия) на расстоянии 100 м от места аварии. На указанном расстоянии от места аварии располагается здание котельной, в которой находятся 4 человека обслуживающего персонала. Оценить степень разрушения здания котельной и условную вероятность травмирования персонала.

Исходные данные для расчета:

- тип топлива – пропан;
- агрегатное состояние смеси – газовое;
- концентрация горючего в смеси  $C_r = 0,14 \text{ кг/м}^3$ ;
- стехиометрическая концентрация пропана с воздухом  $C_{ст}=0,077 \text{ кг/м}^3$ ;
- масса горючего вещества в облаке  $M_r = 8000 \text{ кг}$ ;
- удельная теплота сгорания топлива  $q_r = 4,64 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$ ;
- окружающее пространство - открытое (вид 4).

1. Определяем эффективный энергозапас  $E$ , Дж. Ввиду того, что пропан тяжелее воздуха и по условиям задачи находится в сжиженном состоянии, облако ТВС будет находиться у поверхности земли, в связи с чем эффективный энергозапас удваивается.

Так как  $C_z > C_{ст}$ , следовательно:

$$E = \frac{2 \cdot M_r q_r C_{ст}}{C_r} = \frac{2 \cdot 8000 \cdot 4,64 \cdot 10^7 \cdot 0,077}{0,14} = 4,1 \cdot 10^{11} \text{ Дж}.$$

Исходя из классификации веществ определяем по табл. 1, что пропан относится к классу 2 опасности (чувствительные вещества). Геометрические характеристики окружающего про-

странства согласно условию задачи относятся к виду 4 (открытое пространство). По экспертной табл. 2 определяем ожидаемый режим взрывного превращения облака ТВС – дефлаграция с диапазоном видимой скорости фронта пламени от 150 до 200 м/с. В дальнейшем для расчетов величину видимой скорости фронта пламени принимаем максимальной для принятого режима взрывного превращения  $V_z = 200$  м/с.

Для заданного расстояния  $R = 100$  м рассчитываем безразмерное расстояние  $R_x$  по соотношению (1)

$$R_x = \frac{100}{\left(4,1 \cdot \frac{10^{11}}{101324}\right)^{\frac{1}{3}}} = 0,63.$$

Для вычисленного безразмерного расстояния по соотношениям (6) и (7) находим величины  $P_{x1}, I_{x1}$ :

$$P_{x1} = \left(\frac{200}{340}\right)^2 \left(\frac{7-1}{7}\right) \left(\frac{0,83}{0,63} - \frac{0,14}{0,63^2}\right) = 0,29,$$

$$I_{x1} = \left(\frac{200}{340}\right) \left(\frac{7-1}{7}\right) \left(1 - \frac{0,4(7-1)200}{7 \cdot 340}\right) \left(\frac{0,06}{0,63} + \frac{0,01}{0,63^2} - \frac{0,0025}{0,63^3}\right) = 0,0427.$$

Так как ТВС - газовая, величины  $P_{x2}, I_{x2}$  для случая детонации рассчитываем по соотношениям (2), (3):

$$P_{x2} = \exp(-1,124 - 1,66 \ln(0,63) + 0,26(\ln(0,63))^2) = 0,74,$$

$$I_{x2} = \exp(-3,4217 - 0,898 \ln(0,63) - 0,009(\ln(0,63))^2) = 0,049.$$

Согласно соотношению (8) определяем окончательные значения  $P_x, I_x$ :

$$P_x = \min(0,29; 0,74) = 0,29,$$

$$I_x = \min(0,0427; 0,049) = 0,0427.$$

Из найденных безразмерных величин  $P_x, I_x$  вычисляем согласно соотношениям (9) и (10) искомые величины избыточного давления и импульса фазы сжатия в воздушной ударной волне на расстоянии 100 м от места аварии при скорости горения 200 м/с:



$$\Delta P = 0,29 \cdot 101324 = 2,9 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$I = \frac{0,0427 \cdot (101324)^{\frac{2}{3}} \cdot (4,1 \cdot 10^{11})^{\frac{1}{3}}}{340} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Используя найденные значения  $\Delta P$ ,  $I$  находим величины пробит-функций

$$Pr_3 = -3,11 \quad Pr_4 = 3,06 \quad Pr_5 = -2,48.$$

Согласно связи вероятности поражения с пробит-функцией по табл. 3 находим, что вероятность разрыва барабанных перепон у людей равна 2,5 %. Вероятности остальных критериев поражения близки к нулю.

По условиям задачи на расстоянии 100 м от места аварии располагается здание котельной, в котором находится 4 человека.

С использованием табл. 4 определяем степень разрушения здания котельной, в результате воздействия избыточного давления ударной волны величиной 29 кПа, как сильную.

С учетом экспертной табл. 5 условной вероятности травмирования и гибели персонала в результате повреждения здания котельной ожидается следующее распределение травматизма: 2 человека – безвозвратные потери, 1 человек – тяжелые травмы, 1 человек – легкие травмы.

## **Практическая работа № 2.**

### **Определение зон токсичного поражения при аварийных выбросах аварийно химических опасных веществ (АХОВ) и возможного количества пострадавших в результате аварии**

**Цель работы:** освоить методику определения зон токсического поражения при аварийных выбросах АХОВ, научиться оценивать условную вероятность поражения людей, в т.ч. находящихся в зданиях и сооружениях, в результате токсического воздействия облака АХОВ.

## Теоретические сведения

Необходимо предварительное изучение материала тем 5-7 приложения 1.

Аварийно химическое опасное вещество – опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах).

Токсодоза – значение заражения, равное произведению концентрации опасного химического вещества на время пребывания человека в данном месте без средств защиты органов дыхания, в течение которого проявляются различные степени токсического воздействия опасного химического вещества на человека.

Различают пороговую и смертельную токсодозу. Пороговая токсодоза – наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, начальные признаки поражения организма с определенной вероятностью.

Смертельная (или летальная) токсодоза – наименьшая ингаляционная токсодоза опасного вещества, вызывающая у человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания, смерть с 50 % вероятностью.

Представленная ниже методика расчета предназначена для заблаговременного и оперативного прогнозирования масштабов заражения на случай выбросов АХОВ. Для более точных расчетов зон поражения рекомендуется использовать [5].

Масштабы заражения АХОВ в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния рассчитываются по первичному и вторичному облаку, например:

- для сжиженных газов – отдельно по первичному и вторичному облаку;
- для сжатых газов – только по первичному облаку;
- для ядовитых жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды, – только по вторичному облаку.

Первичное облако – облако опасного вещества, образующееся в результате очень быстрого (за 1–2 мин) перехода в атмосферу части опасного вещества и распространяющееся по ветру от места выброса.

Вторичное облако (или шлейф) – облако опасного вещества, образующееся в результате длительного выброса газа или перегретой вскипающей жидкости, а также в результате испарения опасного вещества с подстилающей поверхности или из разгерметизированного оборудования и распространяющееся по ветру от места выброса.

Внешние границы зоны заражения АХОВ рассчитываются по пороговой токсодозе при ингаляционном воздействии на организм человека.

Исходные данные для прогнозирования масштабов заражения АХОВ:

- общее количество АХОВ на объекте и данные по размещению их запасов в емкостях и технологических трубопроводах;
- количество АХОВ, выброшенных в атмосферу, и характер их разлива на подстилающей поверхности ("свободно", "в поддон" или "обваловку");
- высота поддона или обваловки складских емкостей;
- метеорологические условия: температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м (на высоте флюгера), степень вертикальной устойчивости воздуха.

При выполнении расчетов зон поражения используются следующие допущения:

- емкости, содержащие АХОВ, при авариях разрушаются полностью;
- толщина слоя жидкости для АХОВ  $h$ , м, разлившихся свободно на подстилающей поверхности, принимается равной 0,05 м по всей площади разлива;
- для АХОВ, разлившихся в поддон или обваловку, определяется из соотношений:

при разливах из емкостей, имеющих самостоятельный поддон (обвалование)

$$h = H - 0,2,$$

где  $H$  – высота поддона (обвалования), м;

при разливах из емкостей, расположенных группой, имеющих общий поддон (обвалование),

$$h = \frac{Q_0}{d \cdot F'}$$

где  $Q_0$  – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т;  $d$  – плотность АХОВ, т/м<sup>3</sup>;  $F$  – реальная площадь разлива в поддон (обвалование), м<sup>2</sup>.

Предельное время пребывания людей в зоне заражения и продолжительность сохранения неизменными метеорологических условий (степени вертикальной устойчивости воздуха, направления и скорости ветра) составляют 4 ч. По истечении указанного времени прогноз обстановки должен уточняться. Для определения степени вертикальной устойчивости атмосферы рекомендуется использовать табл. 6.

Таблица 6

**Определение степени вертикальной устойчивости атмосферы  
по прогнозу погоды**

Скорость ветра, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	Ясно, пере- менная облач- ность	Сплош- ная об- лач- ность	Ясно, пере- менная облач- ность	Сплош- ная об- лач- ность	Ясно, пере- менная облач- ность	Сплош- ная об- лач- ность	Ясно, пере- менная облач- ность	Сплош- ная об- лач- ность
<2	ин*	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2-3,9	ин	из	из (ин)	из	из	из	из (ин)	из
>4	из	из	из	из	из	из	из	из

\* *Примечание:* обозначения: ин - инверсия; из - изотермия; к - конвекция; буквы в скобках - при снежном покрове.

Количественные характеристики выброса АХОВ для расчета масштабов заражения определяются по их эквивалентным значениям. Определение эквивалентного количества вещества в первичном облаке. Эквивалентное количество  $Q_{э1}$ , т, вещества в первичном облаке определяется по формуле

$$Q_{э1} = K_1 K_3 K_5 K_7 Q_0, \quad (11)$$

где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (определяется по табл. 6; для сжатых газов  $K_1 = 1$ );  $K_3$  – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе другого АХОВ (определяется по табл. 6);  $K_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости

атмосферы; (для инверсии принимается равным 1, для изотермии 0,23, для конвекции 0,08);  $K_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха (определяется по табл. 7; для сжатых газов  $K_7 = 1$ );  $Q_0$  – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Определение эквивалентного количества вещества во вторичном облаке проводят по формуле

$$Q_{э2} = (1 - K_1)K_2K_3K_4K_5K_6K_7 \frac{Q_0}{hd'} \quad (12)$$

где  $K_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ (определяется по табл. 7);  $K_4$  – коэффициент, учитывающий скорость ветра (определяется по табл. 8);  $K_6$  – коэффициент, зависящий от времени  $N$ , ч, прошедшего после начала аварии.

Таблица 7

**Вспомогательные коэффициенты для определения  
глубины зоны поражения**

АХОВ	Пороговая токсодоза мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_7$ для температуры воздуха (°C)				
					-40	-20	0	20	40
Акролеин	0,2	0,0	0,013	3,0	0,1	0,2	0,4	1	2,2
Аммиак, хранение под давление	15,0	0,18	0,025	0,04	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,4}{1}$
Аммиак, изотермическое хранение	15,0	0,01	0,025	0,04	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$
Ацетонитрил	21,6	0,0	0,004	0,028	0,02	0,3	1	1	2,6
Водород фтористый	4,0	0,0	0,028	0,15	0,1	0,2	0,5	1	1
Водород хлористый	2,0	0,28	0,037	0,30	$\frac{0,4}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{0,8}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,2}{1}$
Диметиламин	1,2	0,06	0,041	0,5	$\frac{0}{0,1}$	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,8}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2,5}{1}$
Метилакрилат	6,0	0,0	0,005	0,1	0,1	0,2	0,4	1	3,1
Метилмеркаптан	1,7	0,06	0,043	0,353	$\frac{0}{0,1}$	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,8}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2,4}{1}$
Нитрил акриловой кислоты	0,75	0,0	0,007	0,80	0,04	0,1	0,4	1	2,4
Окислы азота	1,5	0,0	0,040	0,40	0	0	0,4	1	1
Окись этилена	2,2	0,05	0,041	0,27	$\frac{0}{0,1}$	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,7}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{3,2}{1}$

АХОВ	Поро- говая токсо- доза мг·мин/л	Значения вспомогательных коэффициентов							
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_7$ для температуры воздуха (°C)				
					-40	-20	0	20	40
Сернистый ангидрид	1,8	0,11	0,049	0,333	$\frac{0}{0,2}$	$\frac{0}{0,5}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,7}{1}$
Сероводород	16,1	0,27	0,042	0,036	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,5}{1}$	$\frac{0,8}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,2}{1}$
Сероуглерод	45,0	0,0	0,021	0,013	0,1	0,2	0,4	1	2,1
Соляная кислота (концентрированная)	2,0	0,0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
Формальдегид	0,6	0,19	0,034	1,0	$\frac{0}{0,4}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0,5}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,5}{1}$
Фосген	0,6	0,05	0,061	1,0	$\frac{0}{0,1}$	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,7}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2,7}{1}$
Фосфор треххлористый	3,0	0,0	0,010	0,2	0,1	0,2	0,4	1	2,3
Хлор	0,6	0,18	0,052	1,0	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,4}{1}$
Хлорпикрин	0,02	0,0	0,002	30,0	0,03	0,1	0,3	1	2,9
Этиленмин	4,8	0,0	0,009	0,125	0,05	0,1	0,4	1	2,2
Этилмеркаптан	2,2	0,0	0,028	0,27	0,1	0,2	0,5	1	1,7

Примечание: значения  $K_7$  в графах 10 - 14 в числителе - для первичного, в знаменателе - для вторичного облака.

Таблица 8

Значение коэффициента  $K_4$  в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
$K_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0	5,68

Значение коэффициента  $K_6$  определяется после расчета продолжительности  $T$ , ч, испарения вещества:

$$T = \frac{hd}{K_2 K_4 K_7}, \quad (13)$$

$$K_6 = \begin{cases} N^{0,8} & \text{при } N < T \\ T^{0,8} & \text{при } N \geq T, \text{ при } T < 1 \text{ ч } K_6 \text{ принимается для } 1 \text{ ч.} \end{cases}$$

Расчет глубины зоны заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте ведется с использованием табл. 9. В табл. 9 приведены максимальные значения глубины зоны заражения первичным ( $\Gamma_1$ ) или вторичным ( $\Gamma_2$ ) облаком АХОВ, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества) и скорости ветра.

Полная глубина зоны заражения  $\Gamma$ , км, обусловленная воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, определяется:

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5 \Gamma'',$$

где  $\Gamma$  – наибольший,  $\Gamma''$  – наименьший из размеров  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

Полученное значение сравнивается с предельно возможным значением глубины переноса воздушных масс  $\Gamma_{\text{п}}$ , определяемым по формуле

$$\Gamma_{\text{п}} = Nv, \quad (14)$$

где  $v$  – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч (определяется по табл. 10).

Таблица 9

Скорость ветра, м/с	Глубина зоны заражения (км) Эквивалентное количество АХОВ, т								
	0,01	0,05	0,1	0,5	1	3	5	10	20
1 и менее	0,38	0,85	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56
2	0,26	0,59	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,83	16,44
3	0,22	0,48	0,68	1,53	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94
4	0,19	0,42	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62
5	0,17	0,38	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19
6	0,15	0,34	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20
7	0,14	0,32	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48
8	0,13	0,30	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92
9	0,12	0,28	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60
10	0,12	0,26	0,38	0,84	1,19	2,06	2,66	3,76	5,31
11	0,11	0,25	0,36	0,80	1,13	1,96	2,53	3,58	5,06
12	0,11	0,24	0,34	0,76	1,08	1,88	2,42	3,43	4,85
13	0,10	0,23	0,33	0,74	1,04	1,80	2,37	3,29	4,66
14	0,10	0,22	0,32	0,71	1,00	1,74	2,24	3,17	4,49
15 и более	0,10	0,22	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34

Окончание табл. 9

Скорость ветра, м/с	Эквивалентное количество АХОВ, т								
	30	50	70	100	300	500	700	1000	2000
1 и ме- нее	38,13	52,67	65,23	81,91	166	231	288	363	572
2	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79	121	150	189	295
3	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47	84,50	104	130	202
4	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18	65,92	81,17	101	157
5	10,33	13,88	16,89	20,82	40,11	54,67	67,15	83,60	129
6	9,06	12,14	14,79	18,13	34,67	47,09	56,72	71,70	110
7	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73	41,63	50,93	63,16	96,30
8	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75	37,49	45,79	56,70	86,20
9	6,86	9,12	11,03	13,50	25,39	34,24	41,76	51,60	78,30
10	6,50	8,50	10,23	12,54	23,49	31,61	38,50	47,53	71,90
11	6,20	8,01	9,61	11,74	21,91	29,44	35,81	44,15	66,62
12	5,94	7,67	9,07	11,06	20,58	27,61	35,55	41,30	62,20
13	5,70	7,37	8,72	10,48	19,45	26,04	31,62	38,90	58,44
14	5,50	7,10	8,40	10,04	18,46	24,69	29,95	36,81	55,20
15 и бо- лее	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60	23,50	28,48	34,98	52,37

Таблица 10

**Скорость (км/ч) переноса переднего фронта  
облака зараженного воздуха в зависимости от скорости ветра**

Состояние атмосферы (степень вер- тикальной устойчивости)	Скорость ветра, м/с														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Инверсия	5	10	16	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изотермия	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
Конвекция	7	14	21	28											



За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой значений.

Площадь зоны возможного заражения АХОВ – это площадь территории, в пределах которой под воздействием изменения направления ветра (заданных метеоусловиях) может перемещаться облако АХОВ. Площадь зоны возможного заражения  $S_v$ , км<sup>2</sup>, для первичного (вторичного) облака АХОВ определяется по формуле

$$S_v = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma^2 \varphi, \quad (15)$$

где  $\Gamma$  - глубина зоны заражения, км;  $\varphi$  – угловые размеры зоны возможного заражения (табл. 11).

Таблица 11

**Угловые размеры зоны возможного заражения АХОВ  
в зависимости от скорости ветра**

Скорость ветра, м/с	<0,5	0,6-1	1,1-2	>2
$\varphi^\circ$	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения АХОВ – это площадь территории, воздушное пространство которой заражено АХОВ в опасных для жизни пределах. Конфигурация зоны фактического заражения близка к эллипсу, который не выходит за пределы зоны возможного заражения и может перемещаться в ее пределах под воздействием ветра.

Площадь зоны фактического заражения  $S_f$ , км<sup>2</sup>, рассчитывается по формуле

$$S_f = K_8 \Gamma^2 N^{0,2}, \quad (16)$$

где  $K_8$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: 0,081 при инверсии; 0,133 при изотермии; 0,235 при конвекции.

Время подхода облака АХОВ к заданному объекту зависит от скорости переноса облака воздушным потоком и определяется по формуле

$$t = \frac{x}{v}, \quad (17)$$

где  $x$  – расстояние от источника заражения до заданного объекта, км.

Возможные потери людей при авариях с выбросом АХОВ зависят в основном от степени обеспечения персонала объектов и населения средствами индивидуальной защиты и защитными сооружениями. Потери людей в зависимости от обеспеченности средствами защиты, а также ориентировочная структура потерь определяются по табл. 12.

*Таблица 12*

**Возможные потери людей в зонах заражения АХОВ**

Условия на- хождения людей	Обеспеченность противогАЗами									
	Без противо- газов	20	30	40	50	60	70	80	90	100
На открытой местности	90 – 100	75	65	58	50	40	35	25	18	10
В простей- ших укрыти- ях, зданиях	50	40	35	30	27	22	18	14	9	4

*Примечание:* ориентировочная структура потерь: легкой степени – 25 %, средней и тяжелой степени – 40 %, со смертельным исходом – 35 %.

### Задание

На основании полученного значения глубины зоны заражения АХОВ делается прогноз о попадании объекта защиты в облако опасного вещества. С учетом ориентировочного распределения людей на объекте и обеспеченности их средствами индивидуальной защиты дается оценка человеческих потерь.

Варианты заданий к практической работе приведены в приложении 2. Выбирать по указанию преподавателя.

### *Пример расчета*

На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с жидким хлором, находящимся под давлением. Количество вытекшей из трубопровода жидкости составило 40 т сжиженного хлора.

Требуется определить глубину зоны возможного заражения хлором при времени от начала аварии 4 ч, площадь зоны заражения, время подхода облака к населенному пункту, расположен-

ному на расстоянии 5 км. В населенном пункте проживает 200 человек, 90 % от которых в момент аварии находятся в зданиях. Определить ожидаемые потери людей в результате аварии.

Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 5 м/с, температура воздуха 0 °С, изотермия. Разлив АХОВ на подстилающей поверхности – свободный.

Исходные данные для расчета:

опасное вещество – хлор;

количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества -  $Q_0 = 40$  т;

толщина слоя жидкости для АХОВ -  $h = 0,05$  м;

время прошедшее после начала аварии -  $N = 4$  ч;

плотность АХОВ -  $d = 1,53$  т/м<sup>3</sup>;

расстояние от источника заражения до заданного объекта-  $x = 5$  км;

степень вертикальной устойчивости атмосферы – изотермия.

По табл. 7 для принятых исходных данных находим требуемые для расчета коэффициенты  $K_1, K_2, K_3, K_7$ :

$$K_1 = 0,18, K_2 = 0,052, K_3 = 1.$$

$K_7 = 0,6$  (1) – для первичного (вторичного) облака.

При скорости ветра 5 м/с коэффициент  $K_4 = 2,3$ .

Коэффициент  $K_5$  в случае изотермии принимается  $K_5 = 0,23$ .

Коэффициент  $K_8$  в случае изотермии принимается  $K_8 = 0,133$ .

1. По формуле (11) определяем эквивалентное количество вещества в первичном облаке:

$$Q_{\text{э}1} = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,23 \cdot 0,6 \cdot 40 = 1 \text{ т.}$$

2. По формуле (13) определяем время испарения хлора:

$$T = \frac{0,05 \cdot 1,53}{0,052 \cdot 2,3 \cdot 1} = 0,64 \text{ ч} = 38 \text{ мин.}$$

При  $T < 1$  ч принимаем коэффициент  $K_6 = 1$ .

3. По формуле (12) определяем эквивалентное количество вещества во вторичном облаке:

$$Q_{\text{э}2} = (1 - 0,18) 0,052 \cdot 1 \cdot 2,34 \cdot 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{40}{0,05 \cdot 1,53} = 11,8 \text{ т.}$$

4. По табл. 8 для 1 т находим глубину зоны заражения для первичного облака  $\Gamma_1 = 1,168$ .

5. Находим глубину зоны заражения для вторичного облака. Согласно табл. 8 глубина зоны заражения для 10 т составляет 5,53 км, а для 20 т – 8,19 км. Интерполированием находим глубину зоны заражения для 11,8 т.

$$\Gamma_2 = 5,53 + \frac{(8,19 - 5,53)}{(20 - 10)} (11,8 - 10) = 6,0 \text{ км.}$$

6. Находим полную глубину зоны заражения:

$$\Gamma = 6,0 + 0,5 \cdot 1,68 = 6,84 \text{ км.}$$

7. Скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при скорости ветра 5 м/с и степени вертикальной устойчивости воздуха – изотермия составит  $v = 29$  км/ч (в соответствии с табл. 10).

По формуле (14) находим предельно возможные значения глубины переноса воздушных масс:

$$\Gamma_n = 4 \cdot 29 = 116 \text{ км.}$$

Таким образом, глубина зоны заражения хлором в результате аварии может составить 6,84 км; продолжительность действия источника заражения – около 40 мин.

8. Площадь зоны возможного заражения для первичного (вторичного) облака по формуле (15) при условии, что при скорости ветра 5 м/с угловые размеры зоны поражения составят  $45^\circ$ :

$$S_b = 8,72 \cdot 10^{-3} \cdot 6,84^2 \cdot 45 = 18,4 \text{ км}^2.$$

9. Площадь зоны фактического заражения рассчитывается по формуле (16):

$$S_\phi = 0,133 \cdot 6,84^2 \cdot 4^{0,2} = 8,21 \text{ км}^2.$$

10. Время подхода облака зараженного воздуха к объекту по формуле (17):

$$t = \frac{5}{29} = 0,17 \text{ ч.}$$

11. По условиям задачи в населенном пункте проживает 200 человек. Из них в зданиях находится 90 % или 180 человек.

С использованием табл. 12 определяем ожидаемое количество пострадавших:

- на открытой местности пострадает 20 человек, в т.ч. 7 – смертельно, 8 – тяжелые травмы, 5 – легкие травмы;

- из числа находящихся в зданиях пострадает 90 человека, в т.ч. 32 – смертельно, 36 – тяжелые травмы, 22 – легкие травмы.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое опасные производственные объекты? Будет ли являться отдельно установленный сосуд с опасным веществом опасным производственным объектом?

2. Какие вещества относятся к опасным с точки зрения промышленной безопасности? Приведите примеры опасных веществ по каждому виду.

3. Какие существуют способы контроля наличия опасных веществ в воздухе рабочей зоны химических производств?

4. Приведите примеры произошедших аварий, связанных с взрывом облака ТВС.

5. Приведите примеры произошедших аварий, связанных с выбросом опасного вещества.

6. Каковы основные причины большого количества жертв в результате аварии в Бхопале (выброс метилизоцианата)?

7. Приведите примеры способов защит персонала от воздействия ударной волны в результате взрыва.

8. Какие характеристики влияют на основные параметры воздушной ударной волны?

9. В чем состоят основные отличия между дефлаграционным и детонационным взрывом?

10. В результате разгерметизации оборудования с пропаном содержание опасного вещества в воздухе составило 100 мг/л. Оцените возможность взрыва облака горючей смеси.

11. В результате разгерметизации оборудования с этиленом содержание опасного вещества в воздухе составило 15 мг/л. Оцените возможность взрыва облака горючей смеси.

12. Как соотносятся величина пробит-функции и вероятность поражения человека?

13. Здание операторной выполнено железобетонным. Каким должно быть избыточное давление ударной волны, чтобы здание операторной получило сильные повреждения?

14. В чем заключается различие между пороговой и летальной токсодозой?

15. Приведите примеры производственных объектов, для которых возможно образование первичного облака АХОВ.

16. Как соотносятся зоны возможного и фактического заражения? Приведите графическое изображение.

17. От каких факторов зависят людские потери в результате выброса АХОВ? Приведите примеры средств индивидуальной защиты.

18. В результате разгерметизации оборудования с бутадиевом содержание опасного вещества в воздухе рабочей зоны составило  $150 \text{ мг/м}^3$ . Присутствует ли в данном случае превышение предельно допустимой концентрации?

19. В результате разгерметизации оборудования с сероводородом содержание опасного вещества в атмосферном воздухе селитебной зоны составило  $0,005 \text{ мг/м}^3$ . Присутствует ли в данном случае превышение предельно допустимой концентрации?

20. На химическом предприятии проводятся газоопасные работы, связанные с вскрытием оборудования со стиролом и работой внутри данного оборудования. Какие вещества должен проконтролировать перед началом работ лаборант химического анализа, и при каком их содержании работы могут быть начаты?

При подготовке к защите работ и тестам по этому материалу обязательно изучение и освоение материала, изложенных в темах 1-7 приложения 1.

## ГЛАВА 2. ОЦЕНКА МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ. ОЦЕНКА РИСКОВ

Владельцам опасных производственных объектов Федеральным законом № 116-ФЗ вменена обязанность иметь резервы финансовых и материальных средств для локализации и ликвидации последствий аварий и страховать гражданскую ответственность за причинение вреда в результате аварии или инцидента на опасном производственном объекте.

Для определения величины финансовых резервов и суммы страховых выплат проводится оценка возможного ущерба в результате аварии на опасном объекте.

Структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах, как правило, включает: полные финансовые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, на котором произошла авария; расходы на ликвидацию аварии; социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц); вред, нанесенный окружающей природной среде; косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов (рис. 3).

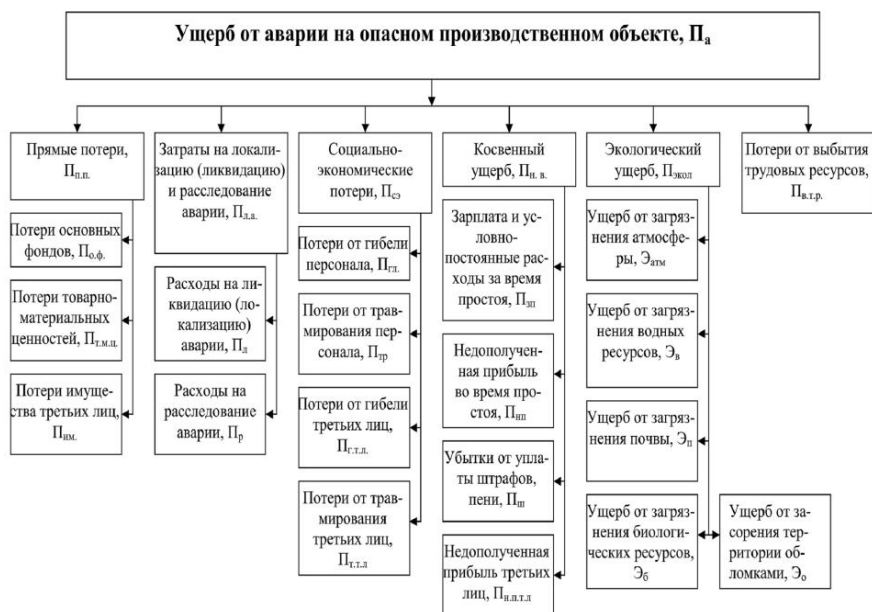


Рис. 3. Структура ущерба от аварий

Прямые потери включают потери в результате уничтожения основных фондов, товарно-материальных ценностей, имущества третьих лиц. Расходы на ликвидацию аварии включают расходы на локализацию и ликвидацию последствий аварии и расходы на расследование аварии. Социально-экономические потери – затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей.

В случае причинения вреда жизни или здоровью граждан в результате аварии или инцидента на опасном производственном объекте владелец, ответственный за причиненный вред, обязан обеспечить выплату компенсации в счет возмещения причиненного вреда:

- гражданам, имеющим право в соответствии с гражданским законодательством на возмещение вреда, понесенного в случае смерти потерпевшего (кормильца), – в сумме 2 млн р.;

- гражданам, имеющим право в соответствии с гражданским законодательством на возмещение вреда, причиненного здоровью, – в сумме, определяемой исходя из характера и степени повреждения здоровья по нормативам, устанавливаемым Правительством Российской Федерации. Размер компенсации в этом случае не может превышать 2 млн р.

Косвенный ущерб вследствие аварий включает часть доходов, недополученных предприятием в результате простоя, зарплату и условно-постоянные расходы предприятия за время простоя, и убытки, вызванные уплатой различных неустоек, штрафов, пени и пр., а также убытки третьих лиц из-за недополученной ими прибыли.

Экологический ущерб представляет собой сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды. Для определения величины возможного ущерба, в т.ч. в результате травмирования и гибели персонала и населения, рассматриваются все возможные сценарии развития аварий на опасных объектах.

Под сценарием развития аварии понимается последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным иницирующим (исходным) событием, приводящих к возникновению поражающих факторов аварии и причинению ущерба от аварии людским и (или) материальным ресурсам или компонентам природной среды.



Пример сценария развития аварии. Разрушение полное резервуара хранения бензина → поступление в обвалование бензина → испарение бензина в обваловании → смешение паров бензина с воздухом и образование ТВС → воспламенение ТВС в месте выброса → пожар-вспышка и последующее горение разлитого углеводорода в обваловании → попадание в зону возможных поражающих факторов людей и/или оборудования.

Каждая авария, связанная с выбросом опасного вещества, начинается с инициирующего события – разгерметизации (разрушения) оборудования, трубопровода. После возникновения инициирующего события развитие аварии может пойти по одному из нескольких сценариев. Так, в случае разрушения оборудования с легковоспламеняющейся жидкостью итоговым событием могут быть: пожар, взрыв парогазового облака, пожар-вспышка и др. Анализ возможных сценариев развития рекомендуется проводить с использованием метода анализа деревьев событий. Пример построения дерева событий приведен ниже на рис. 4.

Для определения наиболее опасных аварий с точки зрения частоты возникновения и возможных последствий используются методы анализа риска аварии.

Риск аварии – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасном производственном объекте и тяжесть ее последствий. Для каждого рассматриваемого сценария аварии рекомендуется проводить оценку максимально возможного количества потерпевших, которое определяется числом людей, оказавших в зоне действия поражающих факторов. Для этого применяются различные расчетные методики, в т.ч. описанные в главе 1 настоящего пособия.

Для оценки риска аварий рекомендуется использовать следующие основные показатели риска: индивидуальный риск  $R_{\text{инд}}$ , потенциальный риск  $R_{\text{пот}}$ , коллективный риск  $R_{\text{колл}}$ , социальный риск  $F(x)$ . Показатели риска рекомендуется представлять в виде значений, рассчитанных для отдельных составляющих, участков объекта, а также значений для всего анализируемого объекта.

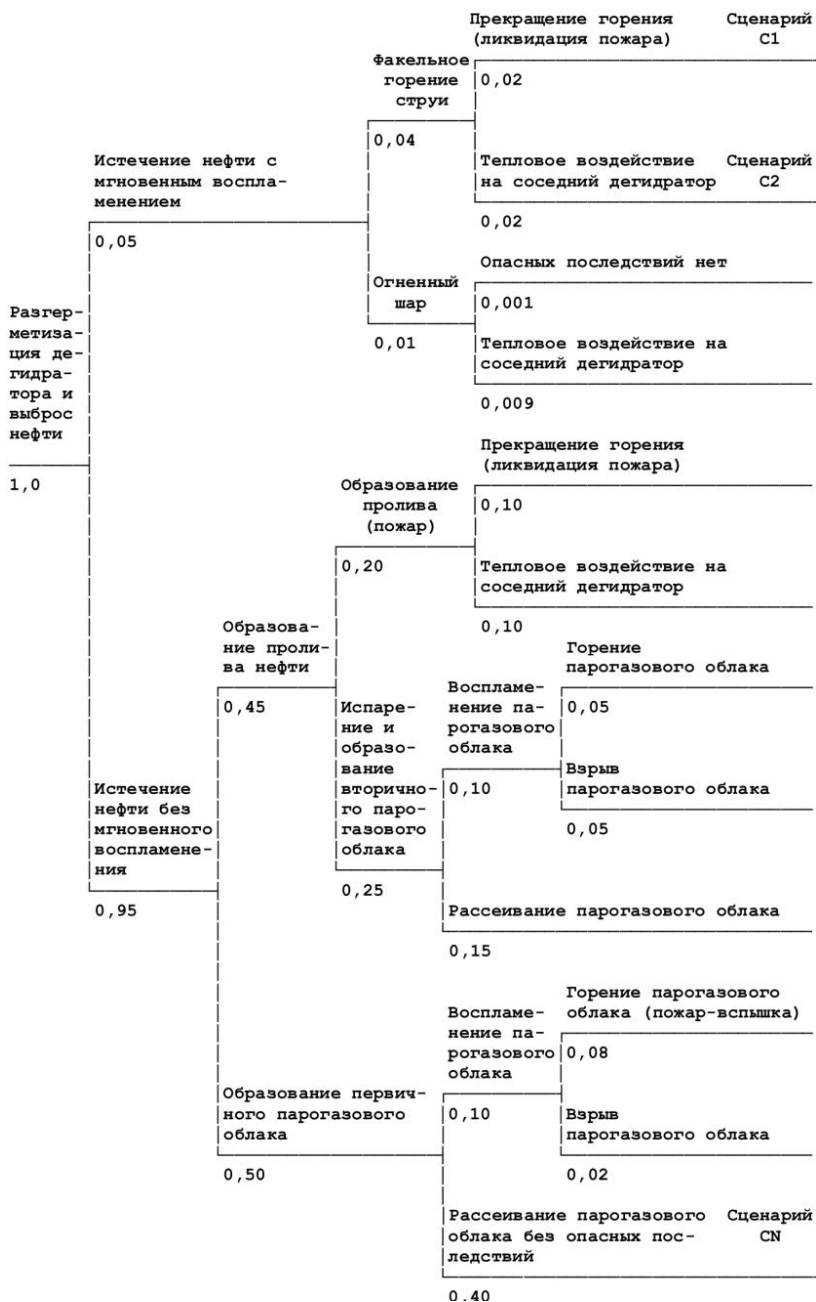


Рис. 4. Пример построения дерева событий

Под потенциальным риском понимается частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке объекта и прилегающей территории. Потенциальный, риск не зависит от факта нахождения объекта воздействия (например, человека) в данном месте пространства. Предполагается, что условная вероятность нахождения объекта воздействия равна 1 (т.е. человек находится в данной точке пространства в течение всего рассматриваемого промежутка времени). Потенциальный риск не зависит от того, находится ли опасный объект в многолюдном или пустынном месте и может меняться в широком интервале. Потенциальный риск, в соответствии с названием, выражает собой потенциал максимально возможной опасности для конкретных объектов воздействия (реципиентов), находящихся в данной точке пространства.

Индивидуальный риск – ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии. Индивидуальный риск определяется потенциальным территориальным риском и вероятностью нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов. Индивидуальный риск во многом определяется квалификацией и готовностью индивидуума к действиям в опасной ситуации, его защищенностью. Индивидуальный риск, как правило, следует определять не для каждого человека, а для групп людей, характеризующихся примерно одинаковым временем пребывания в различных опасных зонах и использующих одинаковые средства защиты.

Коллективный риск (или ожидаемые людские потери) – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени.

Показатель социального риска рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции, описывающей зависимость ожидаемой частоты аварий, в которых может погибнуть не менее  $x$  человек, от числа погибших –  $x$ . На основании полученных показателей риска аварии выявляются наиболее опасные составляющие (участки) опасного производственного объекта, на которых могут потребоваться меры по снижению риска возникновения аварии. Зная возможный материальный ущерб, в т.ч. экологический, выраженный в плате за негативное воздействие на окружающую среду, и частоту реализации сценария аварии, можно определить материальный (экологический) риск.

### Практическая работа № 3.

#### Определение материального ущерба в результате аварий и оценка риска поражения персонала

**Цель работы:** освоить расчет материального ущерба в результате возникновения аварии, научиться определять величины потенциального, индивидуального, коллективного и социального риска на опасных производствах.

#### Теоретические сведения

Необходимо предварительное изучение материала тем 8-11 приложения 1.

При выполнении процедуры оценки материального ущерба и производственных рисков рассматриваются все возможные сценарии развития аварии. В результате для каждого сценария можно определить ожидаемый ущерб, в т.ч. связанный с потерями персонала. Каждая авария начинается с инициирующего события (разгерметизация, разрушение оборудования), имеющего некоторую частоту  $A$ , год<sup>-1</sup>. Частоты разгерметизации типового оборудования представлены ниже в табл. 13.

Таблица 13

**Частоты разгерметизации типового оборудования**

Тип оборудования	Частота разгерметизации при полном разрушении, год <sup>-1</sup>
Сосуды под давлением	$1 \cdot 10^{-6}$
Технологические аппараты (ректификационные колонны, конденсаторы и фильтры)	$1 \cdot 10^{-5}$
Химические реакторы	$1 \cdot 10^{-5}$
Одностенный резервуар	$1 \cdot 10^{-5}$
Двустенный резервуар	$1 \cdot 10^{-8}$
Подземное хранилище	$1 \cdot 10^{-8}$
Цистерна под избыточным давлением	$5 \cdot 10^{-7}$
Цистерна под атмосферным давлением	$1 \cdot 10^{-5}$
Насос	$1 \cdot 10^{-4}$

После реализации инициирующего события развитие аварии может пойти по одному из нескольких сценариев. Для определения вероятности реализации того, или иного сценария аварии  $B_j$  используются количественные методы оценки риска (например: построение метод построения «деревьев» событий).

Частота реализации того или иного сценария аварии в течение года  $Q_j$ , год<sup>-1</sup>, определяется по формуле

$$Q_j = AB_j.$$

Величину потенциального риска  $R_{\text{пот}}$ , год<sup>-1</sup>, в определенной точке на территории площадочного объекта и в селитебной зоне вблизи площадочного объекта рекомендуется определять по формуле

$$R_{\text{пот}} = \sum_{j=1}^J Q_{dj} Q_j, \quad (18)$$

где  $J$  – число сценариев развития аварии;  $Q_{dj}$  – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории в результате реализации  $j$ -го сценария развития аварии, отвечающего определенному инициирующему аварии событию. Определяется с использованием критериев поражения людей опасными факторами (в т.ч. при помощи расчета величины пробит-функции).

Величину индивидуального риска  $R_{\text{инд}}$ , год<sup>-1</sup>, для  $i$ -го работника объекта при его нахождении на территории объекта рекомендуется определять по формуле

$$R_{\text{инд}} = \sum_{j=1}^G q_{ji} P(j), \quad (19)$$

где  $G$  – число областей, на которые условно можно разбить территорию объекта, при условии, что величина потенциального риска на всей площади каждой из таких областей можно считать одинаковой;  $q_{ji}$  – вероятность присутствия работника  $i$  в  $j$ -й области территории;  $P(j)$  – величина потенциального риска в  $j$ -й области территории, год<sup>-1</sup>.

Полученное значение индивидуального риска следует сравнивать с допустимой величиной. В качестве допустимой величины может быть принята величина индивидуального пожарного риска на территории предприятия равная  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> [6].

Величину коллективного риска  $R_{\text{кол}}$ , чел  $\cdot$  год<sup>-1</sup>, рекомендуется определять по формуле

$$R_{\text{кол}} = \sum_{j=1}^J (N_{\text{гиб}})_j Q_j, \quad (20)$$

где  $(N_{\text{гиб}})_j$  – количество погибших в результате реализации  $j$ -го сценария развития аварии.

Социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции  $F(x)$ , задаваемой уравнением:

$$F(x) = \sum_{j=1}^{N(x)} Q_j^x,$$

где  $Q_j^x$  – ожидаемые частоты реализаций аварийных ситуаций, при которых гибнет не менее  $x$  человек;  $N(x)$  – число сценариев, при которых гибнет не менее  $x$  человек.

Материальный риск (или риск материальных потерь)  $G_{\text{мат } j}$ , тыс. р.  $\cdot$  год<sup>-1</sup>, в результате реализации сценарии аварии может быть определен как:

$$G_{\text{мат}} = \Pi_{\text{общ } j} Q_j,$$

где  $\Pi_{\text{общ } j}$  – ожидаемый материальный ущерб в результате в результате реализации  $j$ -го сценария развития аварии.

Возможный ущерб от аварии определяется по формуле

$$\Pi_{\text{общ}} = \Pi_{\text{п.п}} + \Pi_{\text{л.а}} + \Pi_{\text{с.э}} + \Pi_{\text{н.в}} + \Pi_{\text{экол.}}, \quad (21)$$

где  $\Pi_{\text{п.п}}$  – прямые потери предприятия;  $\Pi_{\text{л.а}}$  – затраты на локализацию и ликвидацию аварии;  $\Pi_{\text{с.э}}$  – социально-экономические потери (затраты вследствие гибели и травматизма людей);  $\Pi_{\text{н.в}}$  – косвенный ущерб (часть доходов, недополученных предприятием в результате простоя) – при прогнозировании не определяются;  $\Pi_{\text{экол.}}$  – экологический ущерб.

Прямые потери включают соответствующие:

$$\Pi_{\text{п.п}} = \Pi_{\text{о.ф.}} + \Pi_{\text{тм.ц}} + \Pi_{\text{им}},$$

где  $\Pi_{\text{о.ф.}}$  – потери предприятия в результате уничтожения основных фондов;  $\Pi_{\text{тм.ц}}$  – потери предприятия в результате уничтоже-

ния товарно-материальных ценностей;  $P_{им}$  – потери предприятия в результате уничтожения имущества третьих лиц.

Затраты на локализацию включают

$$P_{л.а} = P_{л.} + P_{р.},$$

где  $P_{л.}$  – расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварий;  $P_{р.}$  – расходы на расследование аварии (при прогнозировании не считаются).

В случае расчета предварительного ущерба расходы на ликвидацию (локализацию) и расследование аварии можно оценивать исходя из средней стоимости услуг специализированных и экспертных организаций или принимать в размере 10 % стоимости прямого (имущественного) ущерба

Социально-экономические потери  $P_{с.э.}$  складываются из ущерба, нанесенного персоналу и населению в случае его гибели или травмирования. Это выплаты на содержание детей, пенсий по случаю утери кормильца, погребение – в случае гибели людей, расходы на лечение, профессиональное переобучение, выплаты компенсаций – в случае травмирования в результате аварий.

Оценка экологического ущерба  $P_{экол}$  производится по следующим направлениям:

- ущерб от загрязнения атмосферного воздуха;
- ущерб от загрязнения земель продуктами;
- ущерб от загрязнения водных акваторий продуктами.

Расчет платы за выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду производится по экологическим нормативным документам, например [7,8].

### Задание

На основании рассчитанных значений риска аварии делается прогноз о наиболее вероятной аварии. На основании величины индивидуального риска оценивается допустимость нахождения персонала в рассматриваемой точке территории производства. Выполняется построение графика социального риска и расчет величины материального ущерба с последующими оценками полученных данных и выявлением наиболее опасных составляющих производственного объекта.

Варианты заданий к практической работе приведены в приложении 2. Выбирать их по указанию преподавателя.

### *Пример расчета*

На производственном объекте наиболее опасным оборудованием с точки зрения возникновения аварии являются: сосуд под давлением и двустенный резервуар.

При разгерметизации сосуда под давлением возможно возникновение следующих сценариев аварии:

- пожар пролива с вероятностью 0,4, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека в рассматриваемой области территории – 0,95;
- взрыв облака ТВС с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека в рассматриваемой области территории – 0,9;
- огненный шар с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека в рассматриваемой области территории – 0,65.

При разгерметизации двустенного резервуара возможно возникновение следующих сценариев аварии:

- пожар пролива с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека в рассматриваемой области территории – 0,8;
- взрыв облака ТВС с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека в рассматриваемой области территории – 0,65;
- пожар-вспышка с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека в рассматриваемой области территории – 0,5.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,23), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с взрывом облака ТВС при разрушении сосуда под давлением, при условии, что потери в результате разрушения производственных зданий составят 25000 тыс. р., потери товарной продукции составят 300 тыс. р., экологический ущерб составил 1000 тыс. р.



Сформируем исходные данные в форме таблицы.

№ сценария	Оборудование и сценарий	Частота разгерметизации оборудования, $A_j$ , год <sup>-1</sup> *	Вероятность реализации сценарий аварии, $B_j$	Частота реализации сценария аварии, $Q_j$ , год <sup>-1</sup>	Вероятность поражения персонала в рассматриваемой области, $Q_{dj}$	Количество погибших, $N_j$ чел
1	Сосуд (пожар)	$1 \cdot 10^{-6}$	0,4	$4 \cdot 10^{-7}$	0,95	1
2	Сосуд (взрыв)	$1 \cdot 10^{-6}$	0,15	$1,5 \cdot 10^{-7}$	0,90	3
3	Сосуд (ог. шар)	$1 \cdot 10^{-6}$	0,10	$1 \cdot 10^{-7}$	0,65	2
4	Резервуар (пожар)	$1 \cdot 10^{-8}$	0,25	$2,5 \cdot 10^{-9}$	0,80	2
5	Резервуар (взрыв)	$1 \cdot 10^{-8}$	0,10	$1 \cdot 10^{-9}$	0,65	4
6	Резервуар (вспышка)	$1 \cdot 10^{-8}$	0,15	$1,5 \cdot 10^{-9}$	0,50	1

Примечание: частота разгерметизации оборудования находится по табл. 13.

Как видно из представленной выше таблицы, наиболее вероятной является авария, связанная с пожаром разлития при разгерметизации сосуда.

Потенциальный риск в рассматриваемой области территории определим по формуле (18):

$$R_{\text{пот}} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 0,95 + 1,5 \cdot 10^{-7} \cdot 0,9 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot 0,65 + 2,5 \cdot 10^{-9} \times \\ \times 0,8 + 1 \cdot 10^{-9} \cdot 0,65 + 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 = 5,8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

По условиям задачи вероятность присутствия работника в рассматриваемой области  $q = 0,23$ . Определим величину индивидуального риска по формуле (19):

$$R_{\text{инд}} = 5,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0,23 = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Величина индивидуального риска не превышает допустимую  $10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Коллективный риск определяется по формуле (20):

$$R_{\text{кол}} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 1 + 1,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot 2 + 2,5 \cdot 10^{-9} \times \\ \times 2 + 1 \cdot 10^{-9} \cdot 4 + 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ чел.} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Социальный риск представим в виде графика ступенчатой функции. При этом по оси абсцисс указывается количество погибших, по оси ординат сумма частот реализации сценариев аварии. В соответствии с исходными данными сценариями аварий, при которых гибнет не менее 1 человека, являются сценарии № 1 – 6. Сумма частот реализации таких сценариев аварии составит:

$$F(1)=4\cdot 10^{-7}+1,5\cdot 10^{-7}+1\cdot 10^{-7}+2,5\cdot 10^{-9}+1\cdot 10^{-9}+1,5\cdot 10^{-9}=6,55\cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Сценариями аварий, при которых гибнет не менее 2 человека, являются сценарии № 2–5. Сумма частот реализации составит:

$$F(2)=1,5\cdot 10^{-7}+1\cdot 10^{-7}+2,5\cdot 10^{-9}+1\cdot 10^{-9}=2,54\cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Сценариями аварий, при которых гибнет не менее 3 человека, являются сценарии № 2,5. Сумма частот реализации составит:

$$F(3)=1,5\cdot 10^{-7}+1\cdot 10^{-9}=1,51\cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Сценарием аварии, при котором гибнет не менее 4 человек, является сценарий 5. Частота реализации данного сценария составляет:

$$F(4)=1\cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}.$$

Построим ступенчатый график социального риска (рис. 5).

Для сценария аварии № 2 (взрыв облака ТВС, в результате разгерметизации сосуда под давлением) определим риск материальных потерь. Предварительно найдем величину ущерба.

Прямые потери предприятия составят:

$$П_{п.п} = 25000 + 300 = 25300 \text{ тыс. р.}$$

Затраты на локализацию и ликвидацию последствий аварий принимаем в размере 10 % от величины прямого ущерба:

$$П_{л.а}=25300 \cdot 0,1 = 2530 \text{ тыс. р.}$$

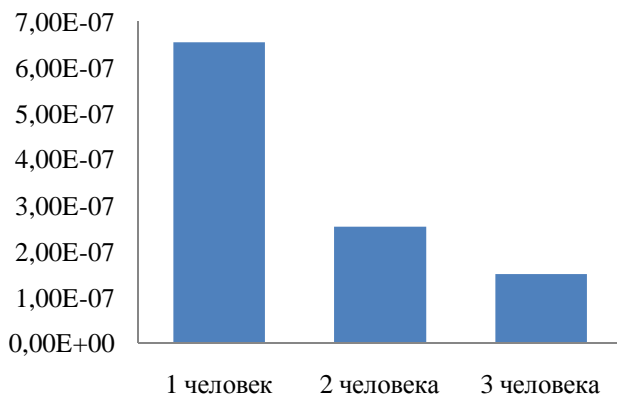


Рис. 5. Ступенчатый график социального риска

Социально-экономические потери определим исходя из количества погибших при условии, что в соответствии с законодательством величина компенсации гражданам, имеющим право в соответствии с гражданским законодательством на возмещение вреда, понесенного в случае смерти потерпевшего (кормильца), составляет 2000 тыс. р.:

$$П_{с.з} = 3 \cdot 2000 = 6000 \text{ тыс. р.}$$

Вероятный ущерб от аварии определим по формуле (21):

$$П_{\text{общ}} = 25300 + 2530 + 6000 + 1000 = 34830 \text{ тыс. р.}$$

Риск материальных потерь составит:

$$G_{\text{мат}} = 34890 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ тыс. р.} \cdot \text{год}^{-1}.$$

### Контрольные вопросы и задания

1. С какой целью с точки зрения промышленной безопасности владелец опасного объекта должен иметь резерв финансовых и материальных средств?

2. Какие составляющие определяют величину ущерба? Приведите пример по каждой составляющей.

3. Приведите примеры мероприятий по локализации аварии.
  4. Какие выплаты предусмотрены пострадавшим в результате аварии на опасном объекте?
  5. Какие составляющие входят в величину экологического ущерба? Приведите примеры по каждой составляющей.
  6. Приведите пример сценария развития аварии, связанной с разрушением оборудования со сжиженным газом.
  7. Приведите пример сценария развития аварии, связанной с разрушением оборудования с горючей жидкостью.
  8. Какие виды итоговых событий возможны при реализации аварии, связанной с разрушением газопровода с горючим газом?
  9. Какие виды итоговых событий возможны при реализации аварии, связанной с разрушением емкости с аммиаком?
  10. Какие факторы (условия) могут способствовать возникновению иницирующего события аварии?
  11. Какие основные показатели используются при оценке риска аварии?
  12. От каких факторов зависит потенциальный риск в рассматриваемой области?
  13. Что влияет на величину индивидуального риска?
  14. Какие мероприятия могут быть предусмотрены на предприятии в случае, если величина индивидуального риска превышает допустимую величину?
  15. Что определяет социальный риск и как его величина может быть отображена?
  16. Какое оборудование при прочих равных условиях будет иметь наибольшую величину частоты разгерметизации?
  17. Каким образом может быть определен материальный риск в результате возникновения аварии?
  18. Каким образом может быть выполнена оценка экологического риска?
  19. Какие негативные воздействия на окружающую природную среду необходимо учесть при оценке экологического риска в случае эксплуатации бензохранилища?
  20. Как должны соотноситься величины индивидуального риска в производственной и селитебной зоне?
- Обязательно изучение и освоение материала, изложенного в темах 8-11 приложения 1.

### ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА КАК ИСТОЧНИКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Основателем первого в мире крупномасштабного производства синтетического каучука (СК) по праву считается русский ученый С.В. Лебедев. Он впервые получил синтетический бутадиеновый каучук в 1910 г. Первой страной, наладившей масштабное производство синтетического каучука, стал СССР. В 1931 г. был построен опытный завод в Ленинграде. 7 июля 1932 г. был запущен первый промышленный завод по производству синтетического каучука – Ярославский СК-1; в этот день была получена первая в мире промышленная партия синтетического (натрий-бутадиенового) каучука. В 1932 г. в СССР строились три крупных завода по производству синтетического каучука: СК-1 в Ярославле, СК-2 в Воронеже (запущен осенью 1932 г.) и СК-3 в Ефремове (запущен в 1933 г.).

Первое место в мире по объему выпуска среди всех синтетических каучуков занимают бутадиен-стирольные каучуки. Мировые мощности рассчитаны на производство свыше 5500 тыс. т бутадиен-стирольного каучука [9]. Структура мировых мощностей по различным видам синтетических каучуков представлена ниже на рис. 6, 7. В основном (82 %) существующие мощности предназначены для производства бутадиен-стирольного каучука эмульсионной полимеризацией, для производства каучука растворным методом – около 18 %. Рассмотрим некоторые особенности этого производства.

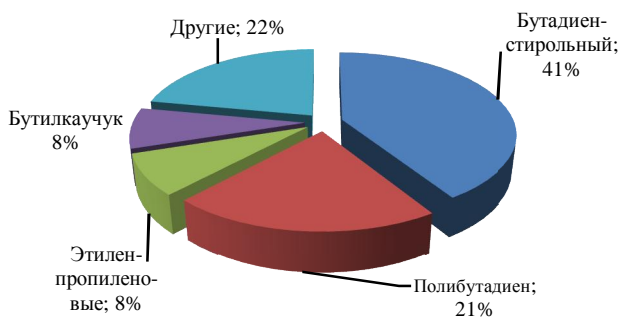


Рис. 6. Структура мощностей производства СК

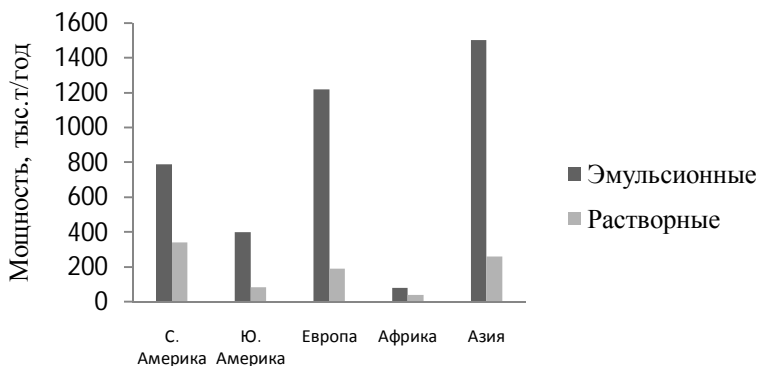


Рис. 7. Распределение мировых мощностей производства бутадиен-стирольного каучука

### 3.1. Бутадиен-стирольные каучуки эмульсионной полимеризации

Бутадиен-стирольный каучук является одним из самых распространенных промышленно выпускаемых каучуков общего назначения в широком ассортименте и большом объеме. Его доля в мировом объеме производства синтетических каучуков, с учетом бутадиен-альфа-метилстирольных каучуков, составляет около 35 % [10]. Впервые промышленное производство бутадиен-стирольных каучуков эмульсионной полимеризации было организовано в Германии в 1938 г. На данный момент в России освоено производство практически всех аналогов зарубежных каучуков, получаемых эмульсионной полимеризацией.

Бутадиен-стирольный каучук обладает отличным сочетанием функциональных свойств в различных областях применения. Этот каучук считают лучшим каучуком общего назначения благодаря отличным свойствам: высокой стойкости к истиранию и высокому проценту наполняемости. С увеличением содержания звеньев стирола в сополимере снижается эластичность каучука, ухудшается морозостойкость, но улучшаются прочностные показатели. Характерной особенностью бутадиен-стирольных каучуков является низкое сопротивление разрыву ненаполненных вулканизатов. Эти каучуки имеют более высокую температуру стеклования по сравнению с натуральным каучуком и уступают нату-

ральному каучуку по морозостойкости. Важными преимуществами бутадиен-стирольных каучуков перед натуральным каучуком являются меньшая склонность к образованию трещин, более высокая износостокость, паро- и водонепроницаемость, лучшее сопротивление тепловому, озонному и световому старению. Хорошие диэлектрические свойства имеют каучуки с высоким содержанием стирола (количество стирола в смеси мономеров 50 % масс. и выше).

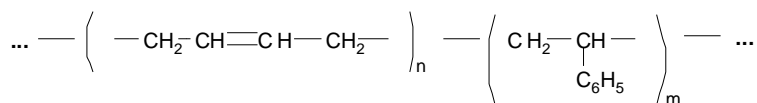
Самыми крупными потребителями и производителями бутадиен-стирольного каучука одновременно, как правило, являются производители шин. Таким образом они выстраивают вертикаль производства от базового сырья до готового изделия. Этот подход позволяет обеспечить минимальные издержки и независимость от сырьевых поставщиков.

Бутадиен-стирольные каучуки широко применяются в производстве протекторов автопокрышек, боковин шин, транспортных лент, рукавов, шприцованных и формованных изделий, изоляционных материалов, радиационностойких резин, обуви, спортивных изделий, клеев и пр.

На территории России в настоящее время бутадиен-стирольный каучук эмульсионной полимеризации выпускают следующие предприятия: АО «Воронежсинтезкаучук», ЗАО «Стерлитамакский НХЗ», ООО «Сибур-Тольятти», ПАО «Омский каучук», Воронежский филиал ФГУП «НИИСК».

Исходным сырьем для производства бутадиен-стирольных каучуков являются бутадиен-1,3 (дивинил, эритрен) и стирол (винилбензол).

Бутадиен-стирольный каучук получают сополимеризацией бутадиена со стиролом в водной эмульсии в присутствии химикатов, выполняющих функции эмульгаторов, диспергаторов, буферов, инициаторов, регуляторов. При этом образуются и сополимеры строения:



Технологический процесс производства бутадиен-стирольных каучуков эмульсионной полимеризации состоит из следующих стадий [14]:

- приготовление углеводородной и водной фазы;
- приготовление растворов вспомогательных веществ;
- эмульсионная полимеризация (синтез латекса);
- дегазация латекса;
- выделение каучука из латекса, сушка и упаковка.

Бутадиен-стирольный каучук эмульсионной полимеризации получают как при высокой температуре полимеризации (50 °С), так и при низкой (5÷10 °С). Основная масса каучуков выпускается при низкой температуре полимеризации.

Производство бутадиен-стирольного каучука в эмульсии имеет ряд специфических отличий и даже преимуществ перед каучуками получаемыми растворной полимеризацией. Это прежде всего более низкая пожаро- и взрывоопасность за счет наличия в полимеризационной системе воды в количестве от половины до двух третей объема, значительно более низкие энергозатраты, особенно на стадии дегазации, возможность легкого регулирования молекулярной массы и состава сополимера и получения каучуков – от жидкого до высокомолекулярного, более легкое регулирование температуры реакции подачей хладагентов, относительно простая схема выделения каучуков из латексов, отсутствие в рецептуре синтеза эмульсионных каучуков особо опасных, пиррофорных металлоорганических соединений, существенно меньшие требования к чистоте мономеров (прежде всего по содержанию основного продукта и примесей в исходном бутадиене) и вспомогательных продуктов (особенно инертного газа – азота).

В то же время недостатком производства бутадиен-стирольного каучука эмульсионной полимеризации являлось наличие сточных вод в количестве до 20 – 30 м<sup>3</sup> на 1 т каучука. Однако в настоящее время практически все используемые компоненты биоразложимы, и постоянно ведутся работы по сокращению объема сточных вод, применению менее токсичных компонентов и возврату сточных вод в производственный цикл.



### 3.1.1. Синтеза латекса

Принципиальная технологическая схема получения латекса для производства бутадиен-стирольного каучука представлена ниже на рис. 8.

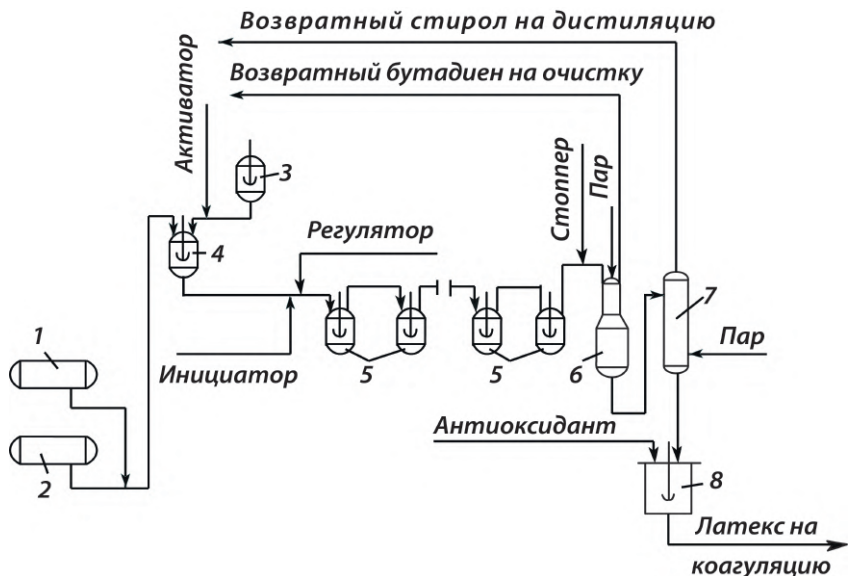


Рис. 8. Принципиальная схема получения латекса:

1 – емкость для бутадиена; 2 – емкость для стирола; 3 – аппарат для приготовления водной фазы; 4 – смеситель углеводородной и водной фаз; 5 – полимеризаторы; 6, 7 – отгонные колонны; 8 – емкость для латекса

Сополимеризация бутадиена со стиролом осуществляется в эмульсии в присутствии эмульгатора, диспергатора, буфера, инициатора, окислительно-восстановительной системы, регулятора молекулярной массы в среде обессоленной и обескислороженной (деаэрированной) воды. Эмульсия представляет собой смесь двух взаимно нерастворимых или вполне растворимых жидкостей, из которых одна (дисперсная фаза) содержится в другой (дисперсной среде) во взвешенном состоянии в виде мельчайших капель.

В качестве эмульгаторов используются калиевые или натриевые мыла диспропорционированной живичной или таловой канифоли, а также калиевые мыла жирных кислот  $C_{12} - C_{18}$  синте-

тического или растительного происхождения. Применяемые при получении каучуков эмульгаторы выполняют многофункциональную роль: стабилизируют эмульсию мономеров в водной фазе, обеспечивают агрегативную устойчивость образующихся полимерно-мономерных частиц, влияют на активность полимеризации, характер коагуляции, свойства каучуков и вулканизатов.

При получении товарных латексов и латексов-полупродуктов синтеза каучуков методом эмульсионной полимеризации для повышения агрегативной устойчивости полимеризационной системы в качестве дополнительного стабилизатора используют диспергатор НФ – лейканол. Для поддержания требуемого рН системы применяется фосфат натрия или кальцинированная сода.

Процессы сополимеризации бутадиена со стиролом, полимеризации бутадиена в эмульсии осуществляются непрерывным способом под влиянием обратимой окислительно-восстановительной системы, состоящей из железотрилонового комплекса, ронгалита и гидроперекиси.

Механизм действия окислительно-восстановительной системы заключается в следующем. При взаимодействии железотрилонового комплекса двухвалентного железа с гидроперекисью происходит образование железотрилонового комплекса трехвалентного железа и свободных радикалов гидроперекиси, вызывающих реакцию полимеризации. Образовавшийся железотрилоновой комплекс трехвалентного железа восстанавливается ронгалитом до железотрилонового комплекса двухвалентного железа, который далее вновь взаимодействует с гидроперекисью.

В процессе эмульсионной полимеризации образуются полимеры с очень высокой молекулярной массой (более миллиона). С повышением молекулярной массы увеличивается разветвленность макромолекул и начинается гелеобразование. Такие полимеры плохо перерабатываются, плохо совмещаются с ингредиентами, а подвергаясь деструкции при вальцевании, имеют низкие физико-механические свойства в изделиях. С целью уменьшения молекулярной массы полимеров и размера макромолекул процесс полимеризации проводится в присутствии регуляторов молекулярной массы. В качестве регулятора в процессе эмульсионной полимеризации применяется третичный додецилмеркаптан.

При достижении определенной глубины полимеризации процесс полимеризации обрывается подачей ингибитора – стоппера. В качестве стоппера процесса эмульсионной полимеризации применяются диэтилгидроксиламин и диметилдитиокарбамат натрия.

Получение бутадиен-стирольного каучука в больших количествах осуществляется непрерывным методом в батарее из 8-12 полимеризаторов в зависимости от их объема. Чаще всего их объем составляет 12 м<sup>3</sup>, иногда 25 м<sup>3</sup>.

Эмульсия углеводов непрерывно подается в нижнюю часть первого по ходу батареи полимеризатора, откуда методом вытеснения при постоянном перемешивании поступает в верхнюю часть данного аппарата и далее по трубопроводу в нижнюю часть второго по ходу батареи полимеризатора. Подобным образом эмульсия углеводов последовательно проходит все аппараты батареи. По мере прохождения по батарее степень превращения мономеров в полимер (конверсия мономеров) достигает необходимого предела.

После проведения полимеризации до заданной глубины, составляющей до 70 %, а иногда и больше, в латексах остаются незаполимеризованные мономеры. Их количество зависит от содержания стирола в исходной шихте и сополимере и составляет 25–35 % от суммы исходных мономеров.

Отгонка незаполимеризовавшихся мономеров из латекса проводится в две или три стадии с помощью острого пара. На первой стадии отгонки, «преддегазации», из латекса под небольшим избыточным давлением удаляются основное количество бутадиена, затем под вакуумом на двух- или трехступенчатом отгонном агрегате удаляется практически весь бутадиен и основная часть стирола, после чего на противоточной колонне дегазации из латекса происходит отгонка остаточного стирола. Возвратные мономеры после очистки возвращаются в процесс. Дегазированный латекс направляется на стадию выделения и сушки каучука.

Образующиеся на стадиях приготовления растворов, полимеризации и дегазации сточные воды могут содержать мономеры, полимер, лейканол, эмульгатор, фосфаты, железо и др. Их содержание строго регламентированного и контролируется заводскими лабораториями.

В табл. 14 представлены усредненные значения содержания вредных веществ в сточной воде стадии синтеза латекса.

Таблица 14

**Нормы содержания вредных веществ  
при синтезе латекса**

Объект анализа	Контролируемый параметр	Частота и способ контроля	Нормы и технические показатели
Сточная вода	1. Массовая концентрация каучука, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2 раза в сутки	0,8
	2. Массовая концентрация стирола, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2 раза в сутки	100
	3. Водородный показатель, ед. pH	1 раза в сутки	От 6,5 до 9,0
	4. Массовая концентрация анионных ПАВ, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1 раза в сутки	0,32
	5. Массовая концентрация суммы смоляных и жирных кислот, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1 раз в месяц	0,80
	6. Массовая концентрация железа, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1 раза в сутки	10,0

### 3.1.2. Выделение каучука из латекса

Дегазированные латексы являются высокодисперсными двухфазными системами, в которых мельчайшие частицы каучука, называемые глобулами, равномерно распределены в водной среде (серуме), содержащем незначительные количества солей и веществ, применяемых в процессах синтеза латексов.

Устойчивость данных систем к разделению фаз на каучук и серум обеспечивается наличием защитного слоя (оболочки) из одноименнозаряженных ионов на поверхности глобул каучука в латексе, не позволяющего частицам каучука, распределенным в объеме серума, сближаться на расстояния эффективного соударения, при котором происходит их слияние, приводящее к необратимому разделению латекса на каучук и серум (процесс коагуляции).

Защитный слой из одноименнозаряженных ионов (рис. 9) на поверхности глобул каучука формируется из сорбированных

углеводородной частью на гидрофобную поверхность глобул каучука молекул эмульгатора, при этом гидрофильные диссоциированные кислотные группы эмульгатора ориентируются в сторону серума, создавая отрицательно заряженный защитный слой вокруг каждой глобулы каучука в латексе. Размер защитного слоя, плотность заряда (и, соответственно, агрегативная устойчивость латекса) определяется типом и количеством эмульгатора, содержащегося в латексе.

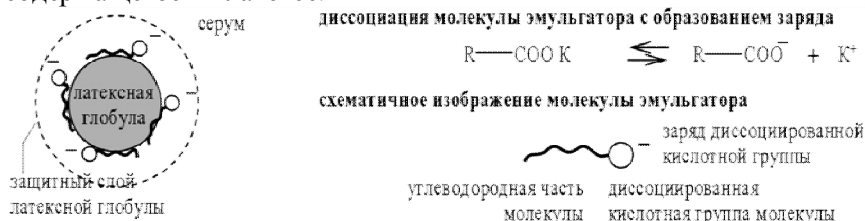


Рис. 9. Латексная глобула

Основой технологии коагуляции латексов является процесс снятия (или значительного уменьшения) защитного барьера поверхностного заряда латексных глобул, при котором силы отталкивания между одноименнозаряженными частицами исчезают, что приводит к резкому увеличению количества эффективных соударений частиц в процессе броуновского движения, их укрупнению (слиянию, слипанию) и последующему необратимому разделению дисперсной системы (латекса) на серум и крошку каучука. Схематичное изображение снятия защитного барьера латексных глобул представлено на рис. 10.

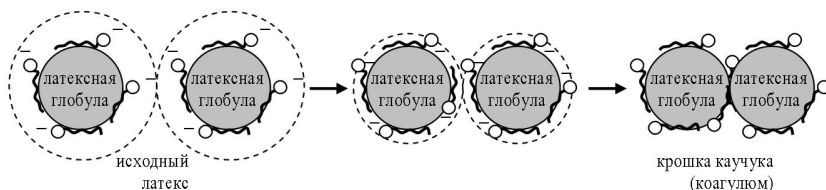


Рис. 10. Снятие защитного барьера латексных глобул

Снятие защитного барьера (нейтрализация поверхностного заряда) латексных глобул может осуществляться поэтапно или одномоментно введением в латекс (систему) различных веществ, оказывающих влияние на размеры и суммарный заряд защитного барьера латексных глобул по различным механизмам:

- введение в латекс растворов электролитов (солей), не взаимодействующих химически с  $\text{COO}^-$ -группами эмульгатора, приводит к увеличению ионной силы серума и снижению степени диссоциации молекул эмульгатора, что, в свою очередь, приводит к уменьшению эффективного радиуса защитного барьера латексных глобул за счет снижения концентрации ионизированных  $\text{COO}^-$ -групп, формирующих отрицательно заряженный электростатический барьер на поверхности латексных глобул. Уменьшение эффективного радиуса защитного барьера приводит к уменьшению расстояний взаимного сближения латексных частиц, увеличению числа эффективных столкновений и, в конечном итоге, к укрупнению латексных глобул с сохранением достаточной устойчивости без необратимого разделения латекса на каучук и серум (т.н. процесс флокуляции);

- введение в латекс растворов веществ, химически взаимодействующих с  $\text{COO}^-$ -группами эмульгатора с образованием недиссоциирующих соединений, не имеющих заряда (растворы кислот, растворы солей 2-, 3-валентных металлов, растворы органических соединений, содержащих четвертичный ион аммония или амины в кислой среде), приводит в зависимости от дозировки к частичному или полному удалению защитного барьера латексных глобул и, к флокуляции и коагуляции латекса [13].

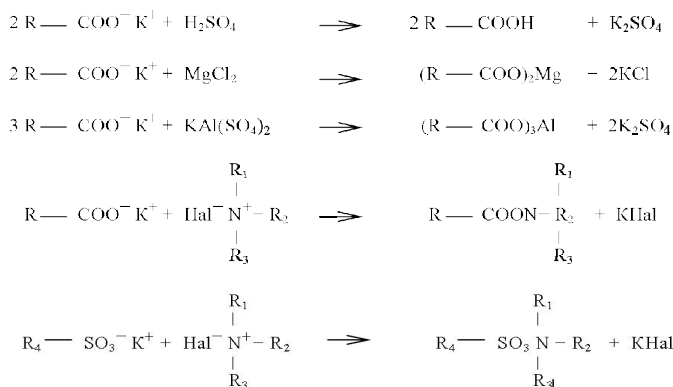
Применение азотсодержащих полиэлектролитов позволяет нейтрализовать заряд функциональных групп (сульфогруппы) содержащегося в латексе диспергатора лейканола с образованием нерастворимого комплекса, входящего в состав каучука, что резко интенсифицирует процесс коагуляции латекса.

В настоящее время наиболее распространенным является механизм выделения, заключающийся в применение рассмотренных способов по двухступенчатому варианту «флокуляция-коагуляция». На стадии флокуляции вводятся вещества, частично связывающие эмульгатор латекса в электронейтральные вещества, такие, как раствор серной кислоты, переводящий часть эмульгатора в свободные органические кислоты или азотсодержащие реагенты, связывающие эмульгатор и диспергатор латекса в недиссоциирующие комплексы.

После проведения процесса флокуляции в латексную систему вводятся растворы коагулянтов: при малосолевых вариантах – растворы солей магния (бишофита) или алюминия (с образова-

нием недиссоциирующих солей органических кислот), при бессолевом варианте – органические полимеры с четвертичным азотом (белкозин, ОМП, ВПК-402 с образованием недиссоциирующих комплексов).

Каждый из вариантов имеет собственные нормы режима и дозировки компонентов для получения крошки полимера и серума требуемого качества. В общем виде взаимодействие функциональных групп может быть представлено в виде:



Наиболее эффективным является бессолевой способ коагуляции, применение которого ведет к исключению или значительному сокращению расхода солей и практически полному связыванию биологически не разлагаемого диспергатора – лейкоанола. Нерастворимый комплекс лейкоанола и коагулянта остается в составе каучука.

Для сохранения требуемых свойств резиновых изделий в процессе их старения и эксплуатации в каучук вводится антиоксидант. При получении безмасляных каучуков антиоксидант вводится в латекс в виде дисперсии или эмульсии на стадии кондиционирования партий латекса. При получении маслonaполненных каучуков масло вместе с антиоксидантом вводится в латекс непосредственно перед коагуляцией.

Коагуляция латекса и последующая промывка крошки каучука проводится в каскаде аппаратов «мокрой группы». Для более полного использования коагулянта и серной кислоты в процессе используют циркуляцию серума.

Сушка каучуков производится в две стадии: предварительное обезвоживание и окончательная сушка. Предварительное обезвоживание каучука до влажности 5-10 % производится в отжимной машине – экспеллере. Экспеллер представляет собой горизонтальный шнек с переменным шагом винта, вращающийся в фильтр-корпусе. Непрерывное удаление влаги осуществляется нажимом шнека, вращающегося внутри цилиндра со щелями на каучукую массу. Из экспеллера крошка поступает в воздушную сушилку. Наиболее распространены типы сушилок, применяемые в промышленности для сушки каучуков в крошке: одноходовые, полуторакходовые, трехходовые и ленточные (для сушки в ленте).

Крошка равномерным слоем толщиной около 50 мм распределяется на перфорированной металлической движущейся конвейерной ленте. Сквозь слой каучука снизу вверх продувается горячий воздух. В процессе движения ленты каучук переворачивается или рыхлится. Время пребывания каучука в сушилке не более 1 ч. Температура сушки каучуков не более 120 °С. Высушенная крошка каучука подается на брикетировочный пресс, где из отмеренного количества крошки формируется брикет весом 30 кг.

Брикет проверяется на отсутствие металла на металлодетекторе, упаковывается в полиэтиленовую пленку на пленкооберточной машине и транспортером подается на склад товарной продукции. На рис. 11 приведена принципиальная технологическая схема коагуляции латексов и сушки бутадиен-стирольного каучука.

После выделения и сушки образуются воздушные выбросы и сточные воды. При выделении и сушке бутадиен-стирольных каучуков в большом количестве образуются воздушные выбросы, содержащие токсичные органические соединения, смолистые и взвешенные вещества. Поэтому выброс отработанного воздуха в атмосферу без очистки недопустим. Для целей очистки отработанный воздух из сушилок, содержащий загрязняющие вещества, подается на печи термического или каталитического дожигания органики.



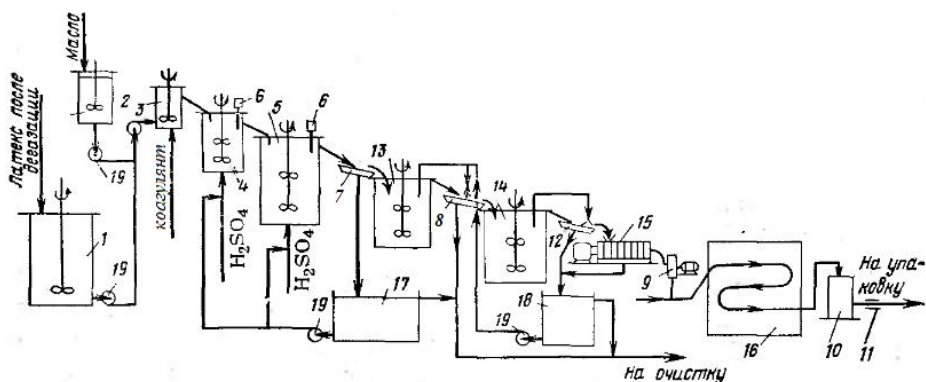


Рис.11. Принципиальная схемы выделения и сушка каучука:

1 – емкость для латекса; 2 – емкость для масла; 3,4,5 – аппараты для поэтапной коагуляции латекса; 6 – рН-метр; 7,8,12 – вибросита; 9 – дробилка; 10 – брикетировочный пресс; 11 – магнитодетектор; 13,14 – промывные емкости; 15 – отжимной пресс (экспеллер); 16 – сушилка; 17 – емкость для серума; 18 – емкость для промывной воды; 19 – центробежный насос

Образующиеся в процессе выделения каучука сточные воды поступают в химзагрязненную канализацию и направляются на очистные сооружения. Основными загрязнителями стоков являются: мелкодисперсная крошка каучука, эмульгаторы, лейконол, минеральные соли (хлориды, сульфаты), железо.

Большое количество минеральных солей в сточных водах эмульсионных каучуков влияет на процесс биологической очистки этих вод от органических загрязнителей. Нормативная величина суммарного содержания минеральных солей в биологически очищаемой воде составляет  $10 \text{ г/дм}^3$  [13].

В настоящее время ведутся работы по поиску биохимически окисляемых или менее токсичных веществ, способных заменить диспергатор – лейконол, который обладает стабильностью по отношению к процессам биохимического окисления.

**Нормы содержания вредных веществ  
при синтезе каучука**

Объект анализа	Контролируемый параметр	Частота и способ контроля	Нормы и технические показатели
Сточная вода	1. Массовая концентрация каучука, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2 раза в сутки	5,0
	2. Водородный показатель, ед. pH		От 6,5 до 9,0
	3. Массовая концентрация хлорид-ионов, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2 раза в сутки	6000
	4. Массовая концентрация сульфат-ионов, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2 раза в сутки	1800
	5. Массовая концентрация анионных ПАВ, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2 раза в сутки	10
	6. Массовая концентрация суммы смоляных и жирных кислот, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1 раз в неделю	63

Содержание перечисленных выше загрязнителей в сточных водах контролируется заводскими лабораториями. В табл. 15 представлены усредненные нормы содержания вредных веществ в сточной воде стадии выделения и сушки каучука.

### **3.2. Бутадиен-стирольные каучуки растворной полимеризации**

Сополимеры бутадиена со стиролом ( $\alpha$ -метилстиролом) являются одними из наиболее массовых каучуков общего назначения. Основное количество таких каучуков получают путем радикальной сополимеризации в эмульсии. Вместе с тем бутадиен способен к сополимеризации со стиролом по анионному механизму, поэтому имеется возможность синтеза их сополимеров в растворе с использованием литийорганических катализаторов.

Производство шин является основной сферой применения бутадиен-стирольного каучука. На мировом рынке активно растёт спрос на шины высокого класса и «зеленые» шины, что

увеличивает потребность в бутадиен-стирольном каучуке растворной полимеризации, обладающем более подходящими для выпуска данных шин свойствами, чем бутадиен-стирольный каучук эмульсионной полимеризации.

Технология синтеза полимеров в растворе более энергоёмка и сложна, чем в эмульсии, поэтому стоимость таких полимеров оказывается несколько выше, чем у эмульсионных каучуков, но выигрыш в свойствах получаемых полимеров оправдывает эти затраты.

Растворные каучуки имеют заметные преимущества по таким свойствам, как морозостойкость, эластичность, износостойкость, по сравнению с эмульсионными каучуками. Принципиальная схема стадии полимеризации при получении растворного бутадиен-стирольного каучука [16] приведена на рис. 12.

Шихта готовится смешением очищенных и осушенных стирола, бутадиена и смешанного растворителя, состоящего из циклогексана и гексановой фракции. Компоненты шихты подаются на смешение в диафрагмовый смеситель 8 из мерников 1-4, затем направляются на тонкую химическую очистку от микропримесей в аппарат с мешалкой и рубашкой 9, куда из мерника 5 подается раствор литийорганических соединений в гексановой фракции.

Шихта на полимеризацию подаётся дозировочным насосом 11. Перед полимеризатором она смешивается с раствором катализатора, который готовится из растворов литийорганического соединения и полярной добавки (рендомизера), сближающей константы сополимеризации бутадиена и стирола в гексановой фракции.

Сополимеризация происходит в батарее стандартных полимеризаторов объёмом 20 м<sup>3</sup> при последовательной непрерывной подаче шихты снизу и выводе полимеризата из верха аппаратов. В полимеризаторах поддерживается температура 55–75 °С, при этом на выходе из последнего аппарата достигается практически полная конверсия по стиrolу. Теплота, выделяющаяся при полимеризации, отводится промышленной циркуляционной водой, подаваемой в рубашки аппаратов 12.

Деактивация катализатора проводится водой. Назначение стадии деактивации каталитического комплекса заключается в обрыве реакции полимеризации при достижении заданной кон-

версии и превращении компонентов катализатора в соединения, которые не вызывают при дальнейшей обработке полимеризата вторичных процессов (деструкции и структурирования), приводящих к снижению качества каучука.

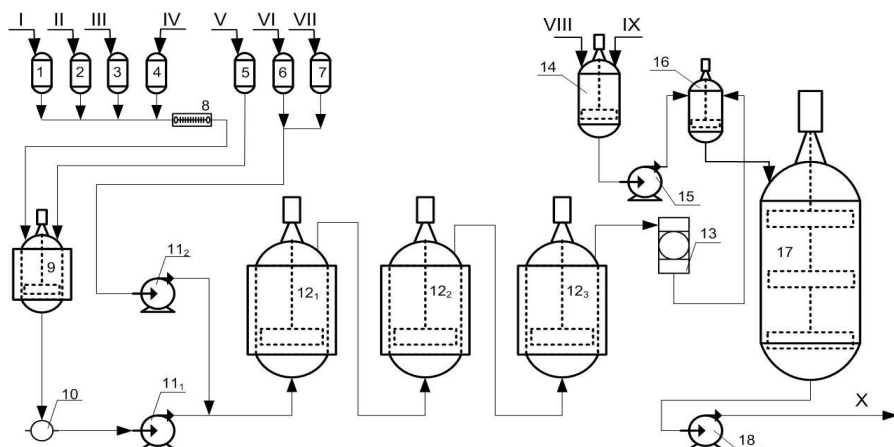


Рис. 12. Принципиальная схема стадии полимеризации:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14 - мерники; 8 - диафрагмовый смеситель; 9 - титратор; 10 - смотровой фонарь; 11<sub>1-2</sub> - дозировочные насосы; 12<sub>1-3</sub> - полимеризаторы; 13 - фильтр; 15, 18 - насосы; 16 - интенсивный смеситель; 17 - усреднитель; I - стирол; II - бутадиен; III - циклогексан; IV - гексановая фракция; V-бутиллитий; VI - дилитийполидивинил; VII - рендомизер лапрамолат натрия; VIII - промышленная вода; IX - стабилизатор; X - полимеризат на дегазацию

Одновременно с дезактивацией катализатора в полимеризат вводят раствор стабилизатора. Раствор стабилизатора готовится в аппарате 14 и дозируется на смешение с полимеризатом насосом 15. Полимеризат через фильтр 13, где отделяются нерастворимый в углеводородах полимер, подаётся в интенсивный смеситель 16 на смешение с раствором стабилизатора. Заправленный стабилизатором полимеризат после усреднения в аппарате 17 насосом 18 откачивается на водную дегазацию.

Водная дегазация полимеризата проводится в двух последовательно соединенных дегазаторах. Полимеризат из усредни-

теля подаётся в интенсивные смесители, где происходит образование водной эмульсии полимеризата. Образовавшаяся эмульсия полимеризата через паровой инжектор направляется в нижнюю часть дегазатора который представляет собой полый аппарат с мешалкой. Из верхней части дегазатора отводятся пары углеводородов и воды.

Из нижней части дегазатора выводится пульпа каучука, которая подаётся на вторую ступень дегазации. Дегазатор второй ступени также представляет собой полый аппарат с мешалкой. Пары дегазации из дегазаторов выводятся на конденсацию. Пульпа из дегазатора подаётся на концентрирование.

Водная пульпа каучука из дегазатора поступает в концентратор, где каучук отделяется от основной массы воды. Из концентратора каучук поступает в одночервячный отжимной пресс (экспеллер), где механически отжимается вода.

Крошка каучука с влажностью до 10 % масс. из экспеллера поступает в одночервячный сушильный пресс (экспандер), где каучук сжимается под давлением 5,1 МПа и нагревается до 180-200 °С за счёт теплоты, выделяющейся в результате трения каучука о поверхность шнека и корпуса. Перегретая вода, содержащаяся внутри каучука, при дросселировании от 5,1 до 0,1 МПа испаряется и разрывает каучук, который в виде крошки выбрасывается в сушильную камеру на горизонтальный вибротранспортер. В камеру и под днище вибротранспортера при помощи вентиляторов подаётся воздух, нагретый в калориферах до 110-140 °С. Насыщенный водяными парами воздух отсасывается вытяжным вентилятором и выбрасывается в атмосферу.

Высушенный каучук в виде крошки подаётся в зону охлаждения, где охлаждается до 40-50 °С и направляется на спиральный виброподъемник. При помощи виброподъемника, на котором происходят удаление воды с поверхности каучука и его охлаждение до температуры около 30 °С атмосферным воздухом, горизонтального вибротранспортера и вибропитателя крошка каучука подаётся в загрузочный бункер автоматических весов. Из бункера каучук порциями поступает в брикетировочный пресс и из него в виде брикетов массой 30 кг ленточным транспортером подаётся на машину для упаковки в полиэтиленовую плёнку. Упакованные брикеты укладывают в контейнеры и отправляют автопогрузчиками на склад товарной продукции.

Количество образующихся сточных вод в процессе производства растворного бутадиен-стирольного каучука значительно меньше по сравнению с производством эмульсионного каучука.

Сточные воды процессов получения растворных каучуков образуются на стадии водной дегазации (после разделения фаз отделяется водный конденсат, загрязненный растворителем) и на стадии выделения, в так называемый балансовый сброс попадают продукты разрушения каталитического комплекса – соединения лития, крошка полимера и другие вещества. Согласно санитарно-гигиеническим и токсикологическим исследованиям для лития установлена чрезвычайно низкая норма ПДК  $0,03 \text{ мг/дм}^3$  [17]. Обязательный для изучения материал изложен в темах 12-17 приложения 1.

### **Лабораторная работа № 1.**

#### **Определение содержания фосфат-ионов в сточной воде**

**Цель работы:** определить содержание фосфат-ионов в сточной воде производства синтетического каучука; сравнить полученное значение с предельно-допустимой концентрацией для фосфат-ионов в воде водных объектов хозяйственно питьевого и культурно-бытового водопользования.

#### **Приборы, посуда, реактивы**

1. Спектрофотометр или фотозлектроколориметр.
2. Кюветы с толщиной поглощающего слоя 20 или 50 мм.
3. Государственные стандартные образцы (ГСО) состава раствора фосфат-ионов с массовой концентрацией  $1 \text{ мг/дм}^3$ .
4. Колбы мерные, вместимостью 100,00 и 500,00  $\text{см}^3$ .
5. Градуированные пипетки, вместимостью 25,00, 50,00  $\text{см}^3$ .
6. Цилиндры, вместимостью 100–150  $\text{см}^3$ .
7. Воронки широкогорлые, узкогорлые.
8. Колбы конические.
9. Стаканы для взвешивания.
10. Бутылки из полимерного материала или стекла с притертыми или винтовыми пробками для отбора и хранения проб вместимостью 500-1000  $\text{см}^3$ .
11. Серная кислота, концентрированная.

12. Аммония молибдат, х.ч.
  13. Аскорбиновая кислота, х.ч.
  14. Калий сурьмяно-виннокислый (антимонилтартрат), х.ч.
  15. Калий марганцевокислый, х.ч.
  16. Сульфаминовая кислота, х.ч.
  17. Трилон Б, раствор с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.
- Все реактивы должны быть квалификации ч.д.а. или х.ч.

### Ход работы

Фотометрический метод определения массовой концентрации фосфат-ионов основан на их взаимодействии в кислой среде с молибдатом аммония и образованием фосфорно-молибденовой гетерополиокислоты, которая восстанавливается аскорбиновой кислотой в присутствии сурьмяно-виннокислого калия до фосфорно-молибденового комплекса, окрашенного в голубой цвет. Максимум светопоглощения длине волны  $\lambda = 690$  нм.

Диапазон измерений от 0,05 до 80,0 мг/дм<sup>3</sup>. Если массовая концентрация фосфат-ионов в анализируемой пробе превышает 1 мг/дм<sup>3</sup>, то пробу необходимо разбавлять. Мешающие влияния, обусловленные присутствием в пробе сульфидов, сероводорода, хроматов, арсенатов, нитритов и железа, устраняют специальной подготовкой пробы к анализу.

1. Подготовка к выполнению измерений. *Приготовление раствора молибдата аммония.* 3,00 г молибдата аммония помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, переносят в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой. В случае появления мути раствор следует отфильтровать. Раствор хранят в полиэтиленовой бутылке.

*Приготовление раствора аскорбиновой кислоты.* 2,16 г аскорбиновой кислоты помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, переносят в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой. Раствор хранят в холодильнике в течение 3 недель.

*Приготовление раствора антимонилтартрата калия.* 0,34 г антимонилтартрата калия помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды и осторожно

приливают 70 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты. После охлаждения, раствор доводят до метки дистиллированной водой.

*Приготовление раствора серной кислоты.* В мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> наливают 400 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и осторожно приливают 70 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты. После охлаждения, раствор доводят до метки дистиллированной водой.

*Приготовление смешанного реактива.* В колбе с притертой пробкой смешивают 125 см<sup>3</sup> раствора серной кислоты, 50 см<sup>3</sup> раствора молибдата аммония, 50 см<sup>3</sup> раствора аскорбиновой кислоты и 25 см<sup>3</sup> раствора антимоилтартрата калия.

*Приготовление раствора сульфаминовой кислоты с массовой долей 10 %.* 10 г сульфаминовой кислоты растворяют в 90 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

*Приготовление градуировочного раствора 1 с массовой концентрацией фосфат-ионов 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.* Раствор готовят из ГСО в соответствии с прилагаемой к образцу инструкцией. В 1 см<sup>3</sup> раствора должно содержаться 0,01 мг фосфат-ионов. Раствор готовят в день проведения анализа.

*Приготовление градуировочного раствора 2 с массовой концентрацией фосфат-ионов 0,001 мг/дм<sup>3</sup>.* Раствор готовят соответствующим разбавлением градуировочного раствора 1. В 1 см<sup>3</sup> раствора должно содержаться 0,001 мг фосфат-ионов. Раствор готовят в день проведения анализа.

*Построение градуировочных графиков.* Для построения градуировочных графиков необходимо приготовить образцы для градуировки с массовой концентрацией фосфат-ионов 0,05-1,0 мг/дм<sup>3</sup>. Состав и количество образцов для градуировки приведены в табл. 16. Погрешность, обусловленная процедурой приготовления образцов для градуировки, не превышает 2,5 %. Раствор из мерной колбы переносят в коническую колбу и добавляют реактивы.



Таблица 16

**Состав и число образцов для градуировки**

№ п/п	Массовая концентрация фос- фат-ионов в градуировочных растворах, мг/дм <sup>3</sup>	Аликвотная часть растворов, см <sup>3</sup> , поме- щаемых в мерную колбу вместимостью 50 см <sup>3</sup>	
		Раствор 1 с мас- совой concentra- цией 0,01 мг/см <sup>3</sup>	Раствор 2 с массо- вой концентрацией 0,001 мг/см <sup>3</sup>
1	0,00	График 1 (кювета 50 мм)	0,0
2	0,05		2,5
3	0,10		5,0
4	0,20	1,0	
5	0,30	1,5	
6	0,40	2,0	
7	0,50	2,5	
1	0,00	График 2 (кюве- ты 20 мм)	0,0
2	0,50	2,5	
3	0,60	3,0	
4	0,70	3,5	
5	0,80	4,0	
6	0,90	4,5	
7	1,00	5,0	

Анализ образцов для градуировки проводят в порядке возрастания их массовой концентрации. Для построения градуировочного графика каждую искусственную смесь необходимо фотометрировать три раза с целью исключения случайных результатов и усреднения. При построении градуировочного графика по оси ординат откладывают значения оптической плотности, а по оси абсцисс – величину концентрации вещества в мг/дм<sup>3</sup>. Устранение мешающих влияний проводится в соответствии с [11].

2. Порядок проведения измерения. К 50 см<sup>3</sup> пробы, профильтрованной на месте или в тот же день в лаборатории через плотный бумажный фильтр (синяя лента), или к меньшему объему, доведенному до 50 см<sup>3</sup> дистиллированной водой, прибавляют 5,0 см<sup>3</sup> смешанного реактива и через короткое время 0,5 см<sup>3</sup> раствора аскорбиновой кислоты. Смесь перемешивают.

Через 15 мин измеряют оптическую плотность полученного раствора при длине волны 690 нм по отношению к холостому раствору (холостой раствор готовится на дистиллированной воде с добавлением соответствующих реактивов). Содержание фосфат-ионов в мг/дм<sup>3</sup> находят по градуировочному графику.

Массовую концентрацию фосфат-ионов  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$X = C \cdot 50 / V;$$

где  $C$  - массовая концентрация фосфат-ионов в пробе, найденная по градуировочному графику мг/дм<sup>3</sup>; 50 – объем, до которого была разбавлена проба, см<sup>3</sup>;  $V$  – объем, взятый для анализа, см<sup>3</sup>.

### **Задание**

На основании полученных значений концентрации фосфат-ионов в сточной воде производства синтетического каучука делается вывод о наличии (или отсутствии) превышения предельно-допустимой концентрации и допустимости сброса стоков в водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

## **Лабораторная работа № 2.**

### **Определение содержания железа в сточной воде**

**Цель работы:** определить содержание общего железа в сточной воде производства синтетического каучука; оценить возможность сброса сточной воды на очистные сооружения с учетом нормируемых величин по содержанию загрязняющих веществ в сбрасываемой воде.

### **Приборы, посуда, реактивы**

1. Спектрофотометр или фотоэлектроколориметр, позволяющий измерять оптическую плотность при длине волны  $\lambda = 425$  и  $\lambda = 500$  нм.
2. Кюветы с толщиной поглощающего слоя 10 и 50 мм.
3. Весы лабораторные 2-го класса точности.
4. Плитка электрическая.

5. Сушильный шкаф электрический.
6. ГСО с аттестованным содержанием железа.
7. Колбы мерные, вместимостью 100,00 и 1000,00 см<sup>3</sup>.
8. Колбы конические.
9. Градуированные пипетки, вместимостью 10,00 см<sup>3</sup>.
10. Бутыли из стекла или полиэтилена с притертыми или винтовыми пробками вместимостью 250–500 см<sup>3</sup> для отбора и хранения проб.
11. Аммоний хлористый.
12. Кислота соляная.
13. Кислота азотная.
14. Кислота серная.
15. Кислота сульфосалициловая.
16. Вода дистиллированная.
17. Квасцы железоаммонийные.
18. Аммиак водный.
19. Натрий хлористый.
20. Бумага индикаторная универсальная.

Все реактивы должны быть квалификации ч.д.а. или х.ч.

### Ход работы

Фотометрический метод определения массовой концентрации общего железа основан на образовании сульфосалициловой кислотой или ее натриевой солью с солями железа окрашенных комплексных соединений, причем в слабокислой среде сульфосалициловая кислота реагирует только с солями железа (3+) (красное окрашивание), а в слабощелочной среде - с солями железа (2+) и (3+) (желтое окрашивание). Оптическую плотность окрашенного комплекса для железа общего измеряют при длине волны  $\lambda = 425$  нм, для железа (3+), при длине волны  $\lambda = 500$  нм. Настоящий метод измерений применим при содержании общего железа в анализируемой пробе в интервале от 0,1 до 10,0 мг/м<sup>3</sup>.

1. Подготовка к выполнению измерений. *Приготовление 20 %-ного раствора сульфосалициловой кислоты.* Навеску сульфосалициловой кислоты 20,0 г помещают в колбу, растворяют в 80 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

*Приготовление раствора аммиака (1:1).* Смешивают равные части аммиака концентрированного и дистиллированной воды.

*Приготовление раствора хлорида аммония.* Навеску хлорида аммония 107 г помещают в мерную колбу вместимостью 1000 см<sup>3</sup>, растворяют в дистиллированной воде и доводят до метки дистиллированной водой. Срок хранения - 1 неделя.

*Приготовление основного раствора железа из ГСО с аттестованным содержанием.* Раствор готовят в соответствии с прилагаемой к образцу инструкцией. 1 дм<sup>3</sup> раствора должен содержать 100 мг железа. Срок хранения – 1 месяц.

*Приготовление основного стандартного раствора из соли железа.* Навеску железоаммонийных квасцов 0,8634 г помещают в мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 2 см<sup>3</sup> концентрированной соляной кислоты и доводят дистиллированной водой до метки. В 1 дм<sup>3</sup> раствора содержится 100 мг железа. Срок хранения – 1 месяц.

*Приготовление рабочего стандартного раствора из основного стандартного раствора.* Рабочий стандартный раствор готовят в день проведения анализа разбавлением основного стандартного раствора в 10 раз дистиллированной водой. В 1 дм<sup>3</sup> раствора содержится 10 мг железа.

*Приготовление рабочего раствора железа.* Рабочий раствор готовят в день проведения анализа разбавлением основного раствора в 10 раз дистиллированной водой. В 1 дм<sup>3</sup> раствора содержится 10 мг железа.

*Построение градуировочного графика.* Для построения градуировочного графика необходимо приготовить образцы для градуировки с массовой концентрацией железа от 0,1 до 10,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Состав и количество образцов для построения градуировочных графиков приведены в табл. 17. Погрешность, обусловленная процедурой приготовления образцов для градуировки, не превышает 2,5 %.

Таблица 17

**Состав и количество образцов для градуировки**

Номер образца	Массовая концентрация ионов железа в градуировочных растворах в мг/дм <sup>3</sup>	Аликвотная часть раствора (см <sup>3</sup> ), помещаемая в мерную колбу на 100 см <sup>3</sup>	
		Рабочий раствор с концентрацией 10 мг/дм <sup>3</sup> (градуиров. график 1)	Основной раствор с концентрацией 100 мг/дм <sup>3</sup> (градуиров. график 2)
1	0,00	0,00	
2	0,10	1,00	
3	0,25	2,50	
4	0,50	5,00	
5	0,75	7,50	
6	1,00	10,00	1,00
7	2,50		2,50
8	5,00		5,00
9	7,50		7,50
10	10,00		10,00

Анализ образцов для градуировки проводят в порядке возрастания их концентрации. Для построения градуировочного графика каждую искусственную смесь необходимо фотометрировать 3 раза с целью исключения случайных результатов и усреднения данных. При построении градуировочного графика по оси ординат откладывают значения оптической плотности, а по оси абсцисс – величину концентрации вещества в мг/дм<sup>3</sup>. Устранение мешающих влияний проводится в соответствии с [12].

2. Порядок проведения измерения. Если в обработке пробы нет необходимости, то к отобранному объему (100 см<sup>3</sup> и менее) добавляют 0,5 см<sup>3</sup> азотной кислоты концентрированной и упаривают раствор до 1/3 объема.

Полученный раствор с концентрацией железа от 0,1 до 10,0 мг/дм<sup>3</sup> фильтруют через фильтр «белая лента» в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup>, приливают 2,0 см<sup>3</sup> аммония хлористого, 2,0 см<sup>3</sup> сульфосалициловой кислоты, 2,0 см<sup>3</sup> аммиака, pH раствора должен составлять 7 – 8 (по индикаторной бумаге). Доводят до метки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 5 мин до развития окраски. Оптическую плотность полученного раствора измеряют при длине волны

$\lambda = 425$  нм в кювете с длиной поглощающего слоя 50 или 10 мм по отношению к холостому раствору, проведенному с дистиллированной водой через весь ход анализа. По градуировочному графику находят содержание железа общего.

Содержание железа рассчитывают по формуле

$$X = \frac{C \cdot 100}{V},$$

где  $X$  - содержание железа, мг/дм<sup>3</sup>;  $C$  - концентрация железа, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>; 100 - объем, до которого была разбавлена проба, см<sup>3</sup>;  $V$  - объем, взятый для анализа, см<sup>3</sup>.

### **Задание**

На основании полученных значений концентрации общего железа в сточной воде производства синтетического каучука делается вывод о наличии (или отсутствии) превышения нормированной величины содержания железа в стоках и допустимости их сброса на очистные сооружения.

## **Лабораторная работа № 3.**

### **Определение содержания сульфат-ионов в сточной воде**

**Цель работы:** определить содержание сульфат-ионов в сточной воде производства синтетического каучука; сравнить полученное значение с предельно допустимой концентрацией для сульфат-ионов в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

### **Приборы, посуда, реактивы**

1. Прибор для фотометрического анализа (фотометр, фотоэлектроколориметр или спектрофотометр), позволяющий измерять оптическую плотность в диапазоне 600-670 нм в кюветах с толщиной поглощающего слоя 30 и 50 мм.

2. Весы лабораторные общего назначения (например, ВЛР-200, ВЛА-200).

3. Колбы мерные вместимостью 100, 50, 25 см<sup>3</sup> 2-го класса точности.

4. Пипетки с одной отметкой 2-го класса точности вместимостью 5, 10, 25, 50 см<sup>3</sup>.
  5. Пипетки градуированные 2-го класса точности вместимостью 1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup>.
  6. Государственный стандартный образец (ГСО) состава раствора сульфат-иона (1 мг/см<sup>3</sup>).
  7. Вода дистиллированная.
  8. Барий хлористый, ч.д.а.
  9. Глицерин, ч.д.а.
  10. Кислота борная, х.ч
  11. Кислота соляная, х.ч.
  12. Фильтры обеззоленные «синяя лента».
  13. Колбы конические вместимостью 25, 100, 500, 1000 см<sup>3</sup>.
  14. Воронки лабораторные.
  15. Бутылки стеклянные и полиэтиленовые для хранения вспомогательных растворов, а также для хранения и транспортировки проб.
- Все реактивы должны быть квалификации ч.д.а. или х.ч.

### Ход работы

Метод измерения массовой концентрации сульфат-иона основан на образовании стабилизированной суспензии сульфата бария в солянокислой среде с последующим измерением светорассеяния в направлении падающего луча (в единицах оптической плотности).

Диапазон измеряемых концентраций сульфат-ионов от 10 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. При более высокой концентрации сульфат-ионов (до 10000 мг/дм<sup>3</sup>) допускается разбавление проб дистиллированной водой. Мешающее влияние карбонатов и гидрокарбонатов устраняют соляной кислотой (в составе осадительной смеси).

1. Подготовка к выполнению измерений. *Приготовление осадительной смеси.* 60 г хлорида бария и 30 г борной кислоты растворяют при нагревании в 500-600 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и охлаждают. Приливают 200 см<sup>3</sup> глицерина, 50 см<sup>3</sup> концентрированной соляной кислоты, разбавляют дистиллированной водой до 1000 см<sup>3</sup>, перемешивают и оставляют на 2-3 дня. Затем приготовленный раствор декантируют с осадка.

*Рабочий раствор сульфат-иона с массовой концентрацией  $100 \text{ мг/дм}^3$ .* В мерную колбу вместимостью  $50 \text{ см}^3$  помещают  $5 \text{ см}^3$  ГСО состава раствора сульфат-иона (массовая концентрация  $1 \text{ мг/см}^3$ ), разбавляют до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Срок хранения полученного раствора – 3 месяца.

*Примечание:* при использовании ГСО с концентрацией сульфат-иона  $10 \text{ мг/см}^3$  необходимо приготовить промежуточный раствор с концентрацией  $1 \text{ мг/см}^3$ , разбавляя в мерной колбе  $5 \text{ см}^3$  раствора ГСО до  $50 \text{ см}^3$  дистиллированной водой.

*Приготовление градуировочных растворов.* В шесть мерных колб вместимостью  $50 \text{ см}^3$  помещают по  $20 \text{ см}^3$  осадительного раствора и затем в пять из них приливают по каплям 2,0; 4,0; 6,0; 8,0;  $10,0 \text{ см}^3$  рабочего раствора сульфат-иона с концентрацией  $100 \text{ мг/дм}^3$ , что соответствует его содержанию 0,2; 0,4; 0,6; 0,8;  $1,0 \text{ мг}$  в  $50 \text{ см}^3$ , и затем содержимое всех колб (включая колбу, в которую сульфат-ион не добавляли) разбавляют до метки дистиллированной водой. Растворы перемешивают в течение 30 с и через 5-10 мин измеряют оптическую плотность каждого раствора относительно раствора, приготовленного без сульфат-ионов.

*Примечание:* измерения для каждого раствора должны производиться строго в одно и то же время после добавления раствора сульфат-ионов.

*Построение градуировочного графика.* Через 5-10 мин. после приготовления растворов измеряют оптическую плотность (не менее пяти отсчетов) полученных растворов при длине волны 600–670 нм в зависимости от спектральных характеристик светофильтра, входящего в комплект прибора. При использовании спектрофотометров измерения производят при длине волны 650 нм. Толщина поглощающего слоя – 30 или 50 мм, раствор сравнения - первый градуировочный раствор (без сульфат-иона).

Вычисляют среднее арифметическое полученных значений оптической плотности и строят градуировочный график в координатах оптическая плотность – содержание сульфат-ионов в растворах градуировочной серии, мг.

2. Порядок проведения измерения. Пробу сточной воды фильтруют через фильтр «синяя лента», отбрасывая первые пор-



ции фильтрата. Затем анализируют две аликвотные порции воды. Содержание сульфат-ионов в аликвотной порции должно составлять 0,2-1,5 мг, желательно 0,5-1,5 мг. В три мерные колбы вместимостью 50 см<sup>3</sup> помещают по 20 см<sup>3</sup> осадительной смеси, затем в две из них по каплям вносят 1-20 см<sup>3</sup> анализируемой пробы. Содержимое всех колб быстро доводят до метки дистиллированной водой, перемешивают в течение 30 с и через 5-10 мин (точное значение времени выдержки должно быть таким же, как и при приготовлении градуировочных растворов) измеряют оптическую плотность растворов проб относительно раствора, приготовленного без введения пробы. Условия измерения оптической плотности те же, что и при построении градуировочной зависимости.

Вычисляют среднее арифметическое полученных значений оптической плотности для каждого из двух растворов проб и находят при помощи градуировочной зависимости содержание сульфат-ионов в отобранной аликвотной порции анализируемой пробы воды, мг.

*Примечание:* если содержание сульфат-ионов в аликвотной порции пробы оказывается менее 0,2 мг или более 1,5 мг, то анализ повторяют, изменив аликвотную порцию.

Массовую концентрацию сульфата вычисляют по формуле

$$X = 1000 Q/V,$$

где  $X$  – массовая концентрация сульфат-ионов в пробе, мг/дм<sup>3</sup>;  $Q$  – содержание сульфат-ионов в аликвотной порции пробы, найденное по градуировочному графику, мг;  $V$  – объем аликвотной порции пробы, см<sup>3</sup>.

### **Задание**

На основании полученных значений концентрации сульфат-ионов в сточной воде производства синтетического каучука делается вывод о наличии (или отсутствии) превышения предельно-допустимой концентрации и допустимости сброса стоков в водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

## Лабораторная работа № 4.

### Определение содержания хлорид-ионов в сточной воде

**Цель работы:** определить содержание хлорид-ионов в сточной воде производства синтетического каучука; оценить возможность сброса сточной воды на очистные сооружения с учетом нормируемых величин по содержанию загрязняющих веществ в сбрасываемой воде.

### Приборы, посуда, реактивы

1. Весы лабораторные 2-го класса точности.
2. рН-метр любой марки.
3. ГСО с аттестованным содержанием хлорид-иона.
4. Плитка электрическая.
5. Сушильный шкаф электрический.
6. Штатив лабораторный.
7. Колбы конические.
8. Колбы мерные, вместимостью 100,00 и 1000,00 см<sup>3</sup>.
9. Градуированные пипетки, вместимостью 5,0 и 10,0 см<sup>3</sup>.
10. Цилиндры мерные.
11. Бюретки лабораторные.
12. Воронки.
13. Пробирки.
14. Стаканчики для взвешивания.
15. Слянки из темного стекла для хранения реактивов.
16. Бутыли из стекла или полиэтилена с притертыми или винтовыми пробками для отбора и хранения проб емкостью 500 - 1000 см<sup>3</sup>.
17. Ртуть (II) азотнокислая.
18. Натрия гидроксид.
19. Натрий хлористый или стандарт-титр NaCl .
20. Натрий фосфорнокислый.
21. Азотная кислота.
22. Перекись водорода.
23. Спирт этиловый ректифицированный технический.
24. Дифенилкарбазон.
25. Бромфеноловый синий.

26. Серебро азотнокислое.
27. Уголь активированный.
28. Вода дистиллированная.
29. Бумага индикаторная универсальная.
30. Фильтры обеззоленные.

Все реактивы, должны быть квалификации ч. д. а. или х.ч.

### Ход работы

Меркуриметрический метод определения массовой концентрации хлорид-ионов основан на взаимодействии хлорид-ионов с ионами ртути (II) с образованием малодиссоциированного соединения хлорида ртути.

Избыток ионов ртути (II) образует с индикатором дифенилкарбазоном в кислой среде ( $\text{pH} = 2,5 \pm 0,2$ ) окрашенное в фиолетовый цвет комплексное соединение, при появлении которого прекращают титрование.

Резкость перехода окраски индикатора в значительной мере зависит от соблюдения правильного значения  $\text{pH}$  раствора. Точное установление  $\text{pH}$  предусмотрено в ходе определения использованием смешанного индикатора и азотной кислоты. Величину  $\text{pH}$  определяют с помощью  $\text{pH}$ -метра.

Титриметрическую методику количественного химического анализа проб природных и очищенных сточных вод используют для определения хлорид-ионов при массовой концентрации от 10 до 100  $\text{мг/дм}^3$  меркуриметрическим методом.

Если массовая концентрация хлорид-ионов в анализируемой пробе превышает верхнюю границу, то допускается разбавление пробы таким образом, чтобы концентрация хлорид-ионов соответствовала регламентированному диапазону.

Если массовая концентрация хлорид-ионов в анализируемой пробе ниже минимально определяемой по методике концентрации, то допускается концентрирование выпариванием.

1. Подготовка к выполнению измерений. *Приготовление раствора натрия хлористого.* 2,9222 г хлористого натрия, предварительно высушенного при 105 °С, помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, переносят в мерную колбу на 1000  $\text{см}^3$  и доводят до метки дистиллиро-

ванной водой. Допускается приготовление раствора хлористого натрия из стандарт-титра (фиксанала).

*Приготовление раствора азотной кислоты.* 12,7 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 1000 см<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой.

*Приготовление смешанного индикатора.* 0,5 г дифенилкарбазона и 0,05 г бромфенолового синего помещают в стакан, растворяют в 5 - 10 см<sup>3</sup> 96 %-ного этилового спирта, переносят в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup> и доводят до метки 96 %-ным этиловым спиртом. Хранят в склянке из темного стекла в течение месяца.

*Приготовление раствора гидроксида натрия.* 4,0 г гидроксида натрия помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, после охлаждения раствор переносят в мерную колбу на 1000 см<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой.

*Приготовление 5 %-ного раствора натрия фосфорнокислого.* 5 г натрия фосфорнокислого помещают в коническую колбу и растворяют в 95 см<sup>3</sup> дистиллированной воды.

*Приготовление раствора азотнокислого серебра.* 0,1699 г азотнокислого серебра помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, переносят в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой.

*Приготовление раствора нитрата ртути (II).* 8,12 г Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> или 8,57 г Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O или 8,34 г Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·0,5H<sub>2</sub>O помещают в стакан, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, приливают 1 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты, помещают в мерную колбу на 1000 см<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой.

Установление точной концентрации раствора нитрата ртути по раствору хлористого натрия. В коническую колбу для титрования наливают 90 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, приливают 10 см<sup>3</sup> раствора хлористого натрия перемешивают, добавляют 0,3 см<sup>3</sup> смешанного индикатора, вводят по каплям раствор азотной кислоты до перехода окраски от синей к желтой, дополни-

тельно приливают 1 см<sup>3</sup> раствора азотной кислоты (для установления рН = 2,5) и титруют раствором нитрата ртути (II) до изменения желтой окраски на фиолетовую. Для точного определения концентрации раствора нитрата ртути необходимо провести три параллельных определения.

2. Порядок проведения измерения. Устранение мешающих влияний проводится в соответствии с [19].

*Предварительное измерение.* Для правильного выбора аликвотной части перед началом анализа проводят качественное определение массовой концентрации хлорид-ионов. Аликвотную часть анализируемой пробы объемом 5,0 см<sup>3</sup> помещают в пробирку вместимостью 10 см<sup>3</sup>, подкисляют 1-2 каплями раствора азотной кислоты, прибавляют 3-5 капель раствора азотнокислого серебра и взбалтывают. По количеству осадка устанавливают аликвотную часть пробы, необходимую для проведения анализа согласно табл. 18.

Таблица 18

#### Определение объема пробы

Характеристика осадка	Объем аликвотной части пробы, см <sup>3</sup>
Большой хлопьевидный осадок	1 – 5
Сильная муть	10
Слабая муть	20 – 50
Опалесценция	50 – 100

*Основное измерение.* Отмеряют достаточный для измерения объем профильтрованной и обработанной при необходимости анализируемой воды, переносят в коническую колбу для титрования, доводят, если необходимо, объем до 100,0 см<sup>3</sup> дистиллированной водой, добавляют 0,3 см<sup>3</sup> смешанного индикатора. Если анализируемый раствор окрашивается в желтый цвет, то добавляют по каплям раствор гидроксида натрия до перехода желтой окраски в синюю, затем вводят по каплям раствор азотной кислоты до желтого окрашивания раствора, дополнительно приливают 1 см<sup>3</sup> раствора азотной кислоты (анализируемый раствор должен иметь рН = 2,5±0,2) и титруют раствором азотнокислой ртути до фиолетового окрашивания.

Если после добавления смешанного индикатора анализируемая проба окрашивается в синий цвет, то, исключив добавление раствора гидроксида натрия, добавляют по каплям раствор азотной кислоты и далее, как указано выше.

Холостое измерение проводят со 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, проводя ее через весь ход анализа. При анализе проб воды выполняют не менее двух параллельных определений.

Расчет точной концентрации нитрата ртути:

$$C = \frac{0,05 \cdot 10}{V},$$

где 10 - аликвотная часть раствора NaCl, см<sup>3</sup>;  $C$  - концентрация раствора азотнокислой ртути, мг/дм<sup>3</sup>;  $V$  - объем раствора Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, пошедший на титрование раствора хлористого натрия, см<sup>3</sup>; 0,05 - нормальность раствора хлористого натрия.

Содержание хлорид-ионов  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$X = \frac{(V_n - V_0) \cdot C \cdot 35,45 \cdot 1000}{V},$$

где  $V_n$  - объем раствора азотнокислой ртути, пошедший на титрование анализируемой пробы, см<sup>3</sup>;  $V_0$  - объем раствора азотнокислой ртути, пошедший на титрование холостой пробы, см<sup>3</sup>;  $C$  - концентрация раствора азотнокислой ртути; 35,45 - молярная масса эквивалента хлорида иона;  $V$  - объем пробы, взятой на анализ, см<sup>3</sup>.

### Задание

На основании полученных значений концентрации хлорида-иона в сточной воде производства синтетического каучука делается вывод о наличии (или отсутствии) превышения нормированной величины содержания хлорид-иона в стоках и допустимости их сброса на очистные сооружения.

## Лабораторная работа № 5.

### Определение содержания анионных ПАВ в сточной воде

**Цель работы:** определить содержание анионных ПАВ в сточной воде производства синтетического каучука; оценить возможность сброса сточной воды на очистные сооружения с учетом нормируемых величин по содержанию загрязняющих веществ в сбрасываемой воде.

### Приборы, посуда, реактивы

1. Весы лабораторные 2-го класса точности.
2. Фотоэлектроколориметр или спектрофотометр любого типа, позволяющий измерять оптическую плотность при  $\lambda = 650$  нм.
3. Весы лабораторные специального класса точности с ценой деления не более 0,1 мг.
4. Градуированные пипетки, вместимостью 5,0 и 10,0 см<sup>3</sup>.
5. Колбы мерные, вместимостью 100,00 и 1000,00 см<sup>3</sup>.
6. Цилиндры мерные.
7. Кюветы с толщиной оптического слоя 30 мм.
8. Воронки мерные.
9. Воронки делительные.
10. Пробирки.
11. Стаканы.
12. Бумага универсальная индикаторная.
13. Государственный стандартный образец (ГСО) состава анионных ПАВ или ГСО состава раствора анионных ПАВ.
14. Вода дистиллированная.
15. Калий фосфорнокислый однозамещенный.
16. Натрия додецилсульфат.
17. Натрия гидроксид.
18. Метиленовый синий.
19. Хлороформ.

Все реактивы, должны быть квалификации ч. д. а. или х.ч.

## Ход работы

Фотометрический метод определения массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ основан на образовании окрашенного соединения, экстрагируемого хлороформом, при взаимодействии анионоактивных веществ с метиленовым синим. Оптическую плотность измеряют при длине волны 650 нм в кюветах с толщиной оптического слоя 30 мм.

1. Подготовка к выполнению измерения. *Приготовление нейтрального раствора метиленового синего.* На аналитических весах взвешивают 0,35 г метиленового синего, навеску помещают в мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, растворяют в дистиллированной воде и доводят объем раствора до метки дистиллированной водой. Хранят в таре из темного стекла не более 6 месяцев.

*Приготовление кислого раствора метиленового синего.* На аналитических весах взвешивают 0,35 г метиленового синего, навеску помещают в мерную колбу вместимостью 1 дм<sup>3</sup>, растворяют в дистиллированной воде (примерно 0,5 дм<sup>3</sup>), добавляют 6,5 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты и доводят объем раствора до метки дистиллированной водой. Хранят в таре из темного стекла не более 6 месяцев.

*Приготовление фосфатного буферного раствора.* На аналитических весах взвешивают 16,3308 г калия фосфорнокислого однозамещенного и растворяют в 1200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. На аналитических весах взвешивают 5,04 г гидроксида натрия, растворяют в 630 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Оба раствора смешивают. Срок хранения 3 месяца.

*Приготовление градуировочных растворов АПАВ.* Приготовление из ГСО 3 основного градуировочного раствора с массовой концентрацией АПАВ 0,1 мг/см<sup>3</sup>. Раствор готовят в соответствии с прилагаемой к образцу инструкцией. 1 см<sup>3</sup> раствора должен содержать 0,1 мг АПАВ. Срок хранения 1 месяц при температуре 3 - 5 °С в склянке с притертой пробкой.

*Приготовление рабочего раствора АПАВ с массовой концентрацией 0,001 мг/см<sup>3</sup>.* Пипеткой отбирают 5 см<sup>3</sup> основного раствора АПАВ, помещают в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> и доводят дистиллированной водой до метки. Раствор готовят непосредственно перед проведением анализа.



*Построение градуировочного графика.* Для построения градуировочного графика необходимо приготовить образцы для градуировки с массовой концентрацией АПАВ 0,01 – 0,25 мг/дм<sup>3</sup>. Состав и количество образцов для градуировки для построения градуировочных кривых приведены в табл. 19.

Таблица 19

**Состав и количество образцов для градуировки**

№ образца	Объем рабочего градуировочного раствора с $C = 0,001 \text{ мг/см}^3$ , помещаемого в мерную колбу на $100,0 \text{ см}^3$	Массовая концентрация мг/дм <sup>3</sup>
1	0,0	0,00
2	1,0	0,01
3	2,0	0,02
4	5,0	0,05
5	10,0	0,10
6	15,0	0,15
7	20,0	0,20
8	25,0	0,25

2. Порядок проведения измерения. Устранение мешающих влияний проводится в соответствии с [14].

100 см<sup>3</sup> пробы или меньший ее объем, содержащий 0,01 - 0,25 мг/дм<sup>3</sup> АПАВ, доведенный до 100 см<sup>3</sup> дистиллированной водой, помещают в делительную воронку вместимостью 250 см<sup>3</sup>, прибавляют 10 см<sup>3</sup> фосфатного буферного (рН = 10) раствора, 5 см<sup>3</sup> раствора метиленового синего (нейтрального). Содержимое воронки перемешивают и оставляют на 15 мин. Затем добавляют 8 см<sup>3</sup> хлороформа, смесь энергично встряхивают в течение 1 мин и дают постоять 1 мин до полного разделения слоев. Затем сливают хлороформный экстракт в такую же делительную воронку, в которую предварительно наливают 110 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и 5 см<sup>3</sup> кислого раствора метиленового синего. В первую воронку добавляют 5 см<sup>3</sup> хлороформа, взбалтывают в течение 1 мин и хлороформный экстракт также сливают во вторую делительную воронку. Третью экстракцию проводят аналогичным способом с 4 см<sup>3</sup> хлороформа. Затем содержимое второй воронки встряхивают в течение 1 мин и оставляют до разделения слоев. Экстракт сливают в пробирку через воронку с кусочком ваты для отделения мути и измеряют оптическую плотность при длине волны  $\lambda = 650 \text{ нм}$  (красный светофильтр) в кюветах с толщиной

оптического слоя 30 мм. Раствором сравнения служит хлороформ.

Массовую концентрацию АПАВ,  $X$ , мг/дм<sup>3</sup>, в пробах рассчитывают по формуле

$$X = \frac{a \cdot 100}{V},$$

где  $a$  - массовая концентрация анионных поверхностно-активных веществ, найденная по градуировочному графику, мг/дм<sup>3</sup>; 100 - объем, до которого доводится проба, см<sup>3</sup>;  $V$  - объем пробы, взятый для анализа, см<sup>3</sup>.

### **Задание**

На основании полученных значений концентрации анионных ПАВ в сточной воде производства синтетического каучука делается вывод о наличии (или отсутствии) превышения нормированной величины содержания ПАВ в стоках и допустимости их сброса на очистные сооружения.

### **Лабораторная работа № 6.**

#### **Определение содержания ионов лития в сточной воде**

**Цель работы:** определить содержание ионов лития в сточной воде производства синтетического каучука; сравнить полученное значение с предельно допустимой концентрацией для ионов лития в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

#### **Посуда, приборы и реактивы**

1. Анализатор пламенно-фотометрический. (Подключение анализатора к электрической сети, проверку на герметичность и вывод на рабочий режим выполняют в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации анализатора.)

2. Колбы мерные, вместимостью 50,0 см<sup>3</sup>, 100,0 см<sup>3</sup>, 500,0 см<sup>3</sup>, 1000,0 см<sup>3</sup>.

3. Градуированные пипетки, вместимостью 5,0 и 10,0 см<sup>3</sup>.

4. Вода для лабораторного анализа.

5. Баня водяная любого типа.

6. Чашка выпарительная.
  7. Кастрюля выпарительная.
  8. Цилиндры.
  9. Пропан воздушно-газовая смесь.
  10. Воздух.
  11. Государственный стандартный образец состава водного раствора ионов лития с аттестованным значением  $1,00 \text{ г/дм}^3$ .
  12. Фильтр «синяя лента».
  13. Хлористый калий с массовой долей 10 % масс.
  14. Стандарт-титр кислоты соляной молярной концентрацией  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ .
- Все реактивы, должны быть квалификации ч. д. а. или х.ч.

### Ход работы

Метод основан на непосредственной пламенной фотометрии пробы воды на анализаторе пламенно-фотометрическом при распылении анализируемого раствора в пламени газовой горелки.

Раствор, содержащий исследуемый элемент, в виде аэрозоля вводится в пламя газовой горелки. Эмиссионное излучение элементов разлагается в спектр оптической системой с использованием дифракционной решетки. Спектральное излучение регистрируется приемником на фотодиодной линейке.

1. Подготовка к выполнению измерения. *Раствор соляной кислоты молярной концентрацией  $0,1 \text{ моль/дм}^3$* . В мерную колбу вместимостью  $1000 \text{ см}^3$  вносят стандарт-титр соляной кислоты молярной концентрацией  $0,1 \text{ моль/дм}^3$  и объем доводят до метки бидистиллированной водой. Раствор устойчив в течение 3 месяцев.

*Раствор соляной кислоты молярной концентрацией  $0,01 \text{ моль/дм}^3$* . В мерную колбу вместимостью  $500 \text{ см}^3$  вносят раствор соляной кислоты молярной концентрацией  $0,1 \text{ моль/дм}^3$  и объем доводят до метки бидистиллированной водой. Используют свежеприготовленный раствор.

*Исходный раствор № 1 с массовой концентрацией ионов лития 100 мг/дм<sup>3</sup>. В мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup> вносят пипеткой 5 см<sup>3</sup> государственного стандартного образца состава водного раствора ионов лития с массовой концентрацией 0,1 г/дм<sup>3</sup> и объем до метки доводят раствором соляной кислоты молярной концентрации 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.*

*Исходный раствор № 2 с массовой концентрацией ионов лития 70 мг/дм<sup>3</sup>. Исходный раствор № 2 готовят аналогично основной смеси № 1, внося пипеткой 7 см<sup>3</sup> государственного стандартного образца состава водного раствора ионов лития с массовой концентрацией 1,00 г/дм<sup>3</sup> в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup>. Массовую концентрацию ионов лития в исходных растворах при условиях, поддерживаемых в лабораторном помещении, в котором проводится градуировка,  $C_{ис}$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле*

$$C_{ис} = V_{Б, n} \cdot 1000 / V_{К, n},$$

где  $V_{Б, n}$  - объем раствора ионов лития, введенного в колбу, см<sup>3</sup>;  $V_{К, n}$  - вместимость колбы, см<sup>3</sup>; 1000 - массовая концентрация ионов лития, мг/дм<sup>3</sup>;  $n$  - индекс, обозначающий номер исходного раствора ( $n = 1, 2$ ).

Образцы для градуировки готовят в мерных колбах вместимостью 50 или 100 см<sup>3</sup>, внося пипетками растворы № 1 и 2, доводя объем до метки бидистиллированной водой. Готовят в соответствии с табл. 20.

Таблица 20

**Порядок приготовления образцов для градуировки**

Номер ОГ	1'	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем исходного раствора № 1, см <sup>3</sup>	0,5	0,5	1,0	2,5	5,0	10,0	20,0	—	50,0
Объем исходного раствора № 2, см <sup>3</sup>	—	—	—	—	—	—	—	50	—
Объем мерной колбы, см <sup>3</sup>	100	50	50	50	50	50	50	50	50
Массовая концентрация ионов лития в ОГ, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0	40,0	70,0	100,0

Массовую концентрацию ионов лития в ОГ  $C_{ог}$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$C_{ог} = C_{ис,п} \cdot V_{ис,i} / V_{к,},$$

где  $C_{ог}$  - массовая концентрация ионов лития в ОГ, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{ис}$  - массовая концентрация ионов лития в исходной смеси, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_{ис}$  - объем исходной смеси, введенной в колбу, см<sup>3</sup>;  $V_{к}$  - вместимость колбы, см<sup>3</sup>;  $i$  - индекс, обозначающий номер ОГ ( $i = 1..8$ );  $n$  - индекс, обозначающий номер исходной смеси ( $n = 1, 2$ ). ОГ используют в день приготовления.

2. Порядок проведения измерения. *Измерение массовой концентрации лития в пробе.* Пробы фильтруют через фильтр синяя лента. Для устранения соединений натрия, мешающих определению, добавляют хлористый калий с массовой долей 10 % из расчета 1 см<sup>3</sup> на 100 см<sup>3</sup> пробы. После чего пробу продолжают анализировать на анализаторе жидкости. Измерения следует выполнять с замера **нуля** (холостой пробы) и периодически следует проверять точность фиксации нуля.

### Задание

На основании полученных значений концентрации ионов лития в сточной воде производства синтетического каучука делается вывод о наличии (или отсутствии) превышения предельно допустимой концентрации и допустимости сброса стоков в водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

### Контрольные вопросы и задания

1. Какие мономеры используются при производстве бутадиен-стирольного каучука? Укажите их основные свойства с точки зрения взрывопожароопасности и токсичности.
2. Перечислите основные стадии производства бутадиен-стирольного каучука эмульсионной полимеризации.
3. Опишите каков механизм действия окислительно-восстановительной системы, используемой при синтезе латекса?
4. К чему может привести отсутствие регулятора в системе при синтезе латекса?

5. Приведите схематичное изображение движения продуктов в батарее полимеризаторов.
6. Опишите процесс дегазации латекса.
7. Какие вещества выбрасываются в воздух рабочей зоны со стадии синтеза латекса?
8. Как осуществляется их контроль в атмосфере?
9. В чем заключается отличие флокуляции от коагуляции?
10. Приведите примеры взаимодействия функциональных групп при малосолевом и бессолевом способе коагуляции.
11. Какой способ коагуляции является более выгодным с экологической точки зрения?
12. Какие компоненты поступают в сточные воды на стадии выделения каучука?
13. Допустимо ли превышение предельно допустимой концентрации непосредственно в месте сброса в заводскую сеть?
14. Предложите способы контроля стирола в сточной воде.
15. Какие мероприятия могут быть предложены в случае если определено, что предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества превышает допустимую?
16. Содержание метанола в воде хозяйственно-питьевого назначения определено на уровне  $10 \text{ мг/дм}^3$ . Допустимо ли данное содержание вещества?
17. Содержание аммиака в воде водоема рыбохозяйственного значения определено на уровне  $0,01 \text{ мг/дм}^3$ . Допустимо ли данное содержание вещества?
18. Укажите преимущества по свойствам каучука, полученного растворной полимеризацией.
19. С какой целью в процессе получения каучука в растворе используют соединения лития?
20. Каким образом литий попадает в сточные воды?
21. На каком принципе основана методика определения литий-ионов в сточной воде производства синтетического каучука?
22. Укажите основные преимущества способа получения каучука в эмульсии перед растворной полимеризацией.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фурсова, И. Уроки трагедии [Текст] / И. Фурсова // Гудок. – 2004. № 100
2. Чек-лис по результатам расследования аварии на ОАО «Омский каучук» [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/чек-лист\\_омский\\_каучук\\_\(06.03.2014\\_с\\_изменениями\).doc](http://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/чек-лист_омский_каучук_(06.03.2014_с_изменениями).doc)
3. Чек-лист по результатам расследования аварии на ОАО «Ачинский НПЗ Восточная нефтяная компания» [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/чек-лист\\_Ачинский\\_НПЗ\\_\(15.06.2014\).doc](http://gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/чек-лист_Ачинский_НПЗ_(15.06.2014).doc)
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Серия 09. Выпуск 37. – 3-е изд., испр. и доп. – М. Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. – 132 с.
5. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». Серия 27. Выпуск 11. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. – 130 с.
6. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. - № 30 (Ч.1). – Ст. 3579.
7. Постановление Правительства РФ от 28 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» // Собрание актов Президента и Правительства РФ. – 1992. - № 10. – С. 726.
8. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и под-

земные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления» // Рос. газ. - № 120. – 2003. – 21 июн.

9. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства [Текст]: монография/ В.Н. Папков, Э.М. Ривин, Е.В. Блинов. – Воронеж, 2015, - 315 с.

10. Гусев, Ю.К. Каучуки эмульсионной полимеризации, состояние производств в Российской Федерации и научно-исследовательские работы Воронежского филиала ФГУП НИИСК [Текст] / Ю.К. Гусев, В.Н. Папков // Каучук и резина. – 2009. - № 2. – С. 2-9.

11. Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония. ПНД Ф 14.1:2.4.112-97

12. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. ПНД Ф 14.1:2.50-96.

13. Куликов, Е.П. Охрана окружающей среды при производстве и переработке мономеров и эластомеров. [Текст] / Е.П. Куликов, А.Е. Шевченко, А.В. Гусев, А.В. Рачинский. – Воронеж: Центр.- Чернозем. кн. изд-во, 2001. – 320 с.

14. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлорид-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод меркуриметрическим методом. ПНД Ф 14.1:2.111-97

15. Методика измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в питьевых, поверхностных и сточных водах экстракционно-фотометрическим методом. ПНД Ф 14.1:2.4.15-95

16. Кирпичников, П.А. Альбом технологических схем основных производств промышленности синтетического каучука [Текст]: учеб. пособие для вузов. / П.А. Кирпичников, В.В. Береснев, Л.М. Попова – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.

17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. - М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 154 с.



## Необходимые теоретические сведения.

### Тема 1.

**Актуальные проблемы защиты окружающей среды. Основные опасности: химические загрязнения воздуха, почвы, воды: пожары, взрывы, выбросы опасных химических веществ из оборудования и трубопроводов. Характеристика степени опасности (материальные и людские потери). Основные направления для соблюдения требований безопасности: промышленная, пожарная, экологическая безопасность**

Развитие промышленности в XX в., особенно во второй его половине, неизбежно повлекло за собой увеличение количества аварий на производственных объектах, что в свою очередь показало неподготовленность эксплуатирующих компаний к локализации и ликвидации последствий аварий, отсутствие государственной политики и стратегии в управлении безопасностью на промышленных объектах.

К авариям, связанным со значительными жертвами среди населения и экологическим загрязнением окружающей среды, потребовавшим пересмотра сложившихся основ обеспечения безопасности на крупных промышленных объектах, в первую очередь, относятся следующие.

Выброс лишь около 2 кг диоксина при взрыве в июле 1976 г. на химическом заводе в итальянском городе Севезо привел к заражению территории площадью 17 км<sup>2</sup> и к необходимости эвакуации из этой зоны 1000 человек. Выброшенный продукт содержал до 7000 смертельных доз. Зараженные сельскохозяйственные угодья не использовались в течение нескольких лет.

В ночь 3 декабря 1984 г. утечка метилизоцианата (далее - МИЦ) стала причиной катастрофы в Бхопале (Индия), унесшей 3 тысячи жизней и приведшей к заболеванию более 200 тысяч человек. В результате выброса около 43 т МИЦ и продуктов его неполного разложения была заражена территория, охваченная газовым облаком длиной около 5 км.

Осознание произошедших аварий и масштабов их последствий привело в 1982 г. к появлению «Директивы по Севезо» с поправками, которая положила начало законодательству в области безопасности в промышленности и на транспорте стран ЕЭС – выявлению и учету риска аварий на предприятиях уже при разработке производственных процессов, при проектировании, внедрении средств и методов защиты от аварий и планировании мероприятий в случаях возникновения чрезвычайных ситуаций. Итогом принятия данного документа стало снижение аварийности в 4÷8 раз.

Загрязнение окружающей среды в результате деятельности промышленных предприятий происходит как при нормальном протекании технологического процесса (согласованные выбросы, сбросы), так и в случае возникновения аварийных ситуаций.

По данным за 2015 г. в России от стационарных источников предприятий было выброшено в атмосферу 17295,7 тыс. т загрязняющих веществ.

Наибольшей вклад в загрязнение вносят следующие виды экономической деятельности:

- добыча полезных ископаемых - 27,5 %;
- обрабатывающие производства - 34,5 %, в т.ч.
- производство кокса и нефтепродуктов - 3,5 %;
- химическое производство - 2,1 %;
- производство прочих неметаллических минеральных продуктов - 2,3 %;
- металлургическое производство - 23,1 %;
- производство и распределение электроэнергии, газа и воды - 21,2 %;
- транспорт и связь - 10,9 %.

Основными загрязняющими веществами являются: оксид углерода, диоксид серы, оксид азота, углеводороды, пыль. Наибольшую опасность представляют: диоксины, пестициды, тяжелые металлы.

Так, тетрахлордифенилоксан  $C_{12}H_4Cl_4O_2$  – глобальный экотоксикант, действующий по нескольким направлениям сильнее многих аварийно химически опасных веществ (АХОВ).

Стоит отметить влияние сбросов промышленных предприятий на гидросферу. Около 400 контролируемых водоемов имеют загрязнения по отдельным компонентам, превышающие величину 10 предельно допустимых концентраций (ПДК).

Хотя вклад современных химических предприятий в общее загрязнение окружающей среды менее значителен, чем, например, от объектов добычи полезных ископаемых или объектов энергетики, аварии на таких предприятиях ведут к значительному материальному и экологическому ущербу.

В современной России одна из наиболее крупных аварий произошла в 2014 г. на Ачинском НПЗ. При разгерметизации горизонтального участка шлемового трубопровода колонны деэтаннизации, вызванной низкотемпературной сероводородной коррозией в присутствии хлористого водорода, произошел выброс смеси углеводородов. Возникла загазованность территории, позже приведшая к образованию облака парогазовой смеси с его последующим взрывом и пожаром.

В июне 2015 г. в 3 км от села Липяги (Воронежская область) произошел прорыв магистрального аммиакопровода Тольятти - Одесса. Были эвакуированы 770 местных жителей. На следующий день после аварии ПДК аммиака в 150 м от места утечки была превышена в 29 раз. Выброс привел к серьезному загрязнению воздуха, окрестной почвы и водных источников. Был нанесен непоправимый вред местной флоре и фауне – погибли сельскохозяйственные посевы и лес, а в реке Сухой Карачан всплыли тысячи мертвых рыб.

Для исключения подобного рода аварий эксплуатирующие организации должны соблюдать требования безопасности: промышленной, пожарной и экологической.

Промышленная безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий.

Требования промышленной безопасности - условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, содержащиеся в Федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», других федеральных законах, принимаемых в соответствии с ними нормативных правовых актах Президента Российской Федерации, нормативных правовых актах Правительства Российской Федерации, а также федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности.

Пожарная безопасность – состояние защищенности населения, объектов народного хозяйства и иного назначения, а также окружающей природной среды от опасных факторов и воздействий пожара.

Требования пожарной безопасности – специальные условия социального и (или) технического характера, установленные в целях обеспечения пожарной безопасности законодательством Российской Федерации, нормативными документами или уполномоченным государственным органом.

Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий.

## **Тема 2.**

### **Роль мониторинга окружающей среды и состояния основных опасных производственных объектов**

В общем под понятием мониторинг (от англ. monitor - наблюдать) понимается процесс наблюдений и регистрации параметров объекта.

Мониторинг окружающей среды – комплексная система долгосрочных наблюдений, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов.

Он осуществляется на стационарных станциях наблюдения, при маршрутных исследованиях, дистанционными методами: авиационными и космическими. О степени антропогенного воздействия можно напрямую судить по состоянию загрязнения атмосферы, снижению плодородности почв, запасов и количества пресной воды. Мониторинг позволяет прогнозировать или смягчать вредные воздействия на природу.

Необходимость мониторинга постоянно растет. Ведь в мире ежегодно производят 30 тыс. химических веществ в количестве более 1 т конкретного вещества. Периодически возникают аварийные ситуации, связанные с разлитием нефтепродуктов по поверхности почвы и водных объектов.

Различают следующие уровни мониторинга: детальный (в пределах небольших территорий); локальный (район или го-

род); региональный (несколько районов или областей); национальный (в пределах страны); глобальный.

В 1975 г. И.П.Герасимов предложил различать три ступени (вида, направления) мониторинга: биоэкологический (санитарно-гигиенический), геосистемный (природно-хозяйственный) и биосферный (глобальный).

Объектами санитарно-гигиенического мониторинга являются: атмосфера (приземный слой), поверхностные и подземные воды, почва, уровень радиации, электромагнитные и акустические поля, стоки (промышленные, бытовые, сельскохозяйственные), газовые выбросы и др.

Объектами природно-хозяйственного мониторинга являются: состояние популяций животных и растений, урожайность, состояние природных компонентов, состояние лесных экосистем и их нарушения (пожары и пр.) и др.

Различаются такие подсистемы экологического мониторинга, как: геофизический мониторинг (анализ данных по загрязнению, мутности атмосферы, исследующий метеорологические и гидрологические данные среды, а также изучающий элементы неживой составляющей биосферы, в том числе и объекты, созданные человеком); климатический мониторинг (охватывает ту часть биосферы, которая влияет на формирование климата); биологический мониторинг (основан на наблюдении за реакцией живых организмов на загрязнение окружающей среды); мониторинг здоровья населения (система мероприятий по наблюдению, анализу, оценке и прогнозу состояния физического здоровья населения).

Первым шагом в направлении создания системы мониторинга окружающей среды стала конференция ООН по охране окружающей среды в Стокгольме в 1972 г. Одним из важных решений Стокгольмской конференции была рекомендация по созданию глобальной системы мониторинга окружающей среды. В 1974 г. в Найроби была образована межправительственная комиссия по системе глобального мониторинга, разработана первая схема организации мониторинга антропогенных загрязнителей. Тогда же был уточнен список наиболее опасных загрязнителей для учета их при организации мониторинга. Загрязнители оценивались по различным критериям, в т. ч. по воздействию на здоровье человека; влиянию на климат или экосистемы; склонности к

разрушению природной среды; способности накапливаться в пищевых цепях; возможности химической трансформации во вторичные токсические или мутагенные вещества и другим.

В России основоположником данной системы, сформировавшим научные основы мониторинга, был Ю.А. Израэль, в те годы председатель Государственного комитета по гидрометеорологии. В настоящий момент в нашей стране мониторинг за состоянием окружающей среды осуществляется Росгидрометом в 284 городах. Эксплуатируется 684 станции и 1928 пунктов контроля водных объектов. Росгидромет - федеральный орган исполнительной власти, находящийся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии РФ, осуществляющий функции по управлению государственным имуществом и оказанию государственных услуг в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, мониторинга окружающей природной среды, её загрязнения, по государственному надзору за проведением работ по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы.

Основные функции Росгидромета:

- государственный надзор за проведением работ по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы на территории России;
- лицензирование отдельных видов деятельности;
- государственный учет поверхностных вод и ведение государственного водного кадастра в части поверхностных водных объектов;
- ведение Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды, её загрязнении;
- формирование и обеспечение функционирования государственной наблюдательной сети, в том числе организация и прекращение деятельности стационарных и подвижных пунктов наблюдений, определение их местоположения;
- государственный мониторинг атмосферного воздуха.

### Тема 3.

**Характеристика используемых в промышленности опасных веществ. Классы опасных веществ. Понятия предельно допустимых концентраций в воздухе, в воде различного назначения. Понятие селитебной зоны и общие сведения о нормировании расстояния от жилой зоны до промышленных объектов. Классы опасности предприятий по экологическим характеристикам**

Экологическая безопасность достигается при использовании огромного перечня документов различного уровня. Эти нормативные документы включают в себя:

- нормативно-правовую документацию международного уровня, например, Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте,
- законодательные и нормативно-правовые акты федерального уровня по общим вопросам экологической безопасности, например, Федеральный закон «Об охране окружающей среды»;
- нормативные материалы по землепользованию, включая вопросы изъятия земельных ресурсов, рекультивации нарушенных земель, сохранение плодородного слоя почв и др., например, «Земельный кодекс Российской Федерации»;
- нормативные материалы по охране атмосферного воздуха, качеству атмосферного воздуха и предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ, размеры санитарно-защитных зон и зон влияния и др., например, Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха»;
- нормативные материалы по охране поверхностных водоемов и подземных вод, включая вредные воздействия на водные объекты, качеству подземных и поверхностных вод, изъятию водных ресурсов и др., например, «Водный кодекс Российской Федерации»;
- документы по охране почвы и недр, например, Закон РФ «О недрах»;
- документы по обращению с отходами (классификация, транспортировка, складирование и хранение, утилизация и обезвреживание, захоронение отходов), например, Федеральный закон «Об отходах производства и потребления»;

- акты по охране животного и растительного мира, включая требования к особо охраняемым территориям и объектам, например, Федеральный закон «О животном мире»;

- нормативно-правовую документацию по охране здоровья производственного персонала и населения, вопросы социальной защиты, включая профилактические и оздоровительные мероприятия, вопросы медико-экологической реабилитации населения и др., например, Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»;

- документацию по государственному экологическому и производственному мониторингу, включая организацию и средства контроля окружающей природной среды и др., например, Постановление Правительства РФ «О государственном экологическом мониторинге»;

- нормативные документы по плате за негативное воздействие на окружающую среду (например, Постановление Правительства РФ «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия») и управлению охраной природы и проведение экологического аудита.

Экологическая безопасность в большей степени, чем другие сферы регулирования (безопасность в строительстве, промышленная, санитарная и даже пожарная безопасность) подвержена контролю различных регуляторов (Ростехнадзора, Росприроднадзора и Роспотребнадзора).

По степени воздействия на организм вредные вещества, используемые в промышленности, подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;

- 2-й - вещества высокоопасные;

- 3-й - вещества умеренно опасные;

- 4-й - вещества малоопасные.

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей:

- предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны,  $\text{мг/м}^3$ ,

- средняя смертельная доза при введении в желудок,  $\text{мг/кг}$ ,

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу,  $\text{мг/кг}$ ,



- средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м<sup>3</sup>,
- коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО),
- зона острого действия,
- зона хронического действия.

Наиболее важными и часто используемыми показателями при описании опасности вредного вещества являются первые четыре из перечисленных выше показателей.

В общем под ПДК понимается такая максимальная концентрация химических элементов и их соединений в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени на организм человека не вызывает патологических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны - концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Средняя смертельная доза при введении в желудок - доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном введении в желудок.

Средняя смертельная концентрация в воздухе - концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % животных при двух-четырёхчасовом ингаляционном воздействии.

Средняя смертельная доза при нанесении на кожу - доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном нанесении на кожу.

Согласно санитарно-гигиеническим нормам класс опасности продуктов определяется четырьмя нормативными экологическими документами, характеризующими предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны, в воздухе селитебной (жилой) зоны, в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и в воде водоемов рыбохозяйственного значения.

С постоянным развитием химических производств появляются все больше новых веществ, для которых могут быть установлены ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) путем расчета по физико-химическим свойствам или путем интерполяций и экстраполяций в рядах, близких по строению соединений, или по показателям острой опасности.

Практика проектирования и эксплуатации опасных производственных объектов в Российской Федерации показывает, что инспектирующие органы ориентируются в подавляющем большинстве случаев на ПДК в воздухе рабочей зоны и жилой (сели-тебной) зоны, игнорируя прочие показатели.

Классы опасности одного и того же вещества по различным критериям классификации могут существенно отличаться друг от друга. Например: класс опасности метанола в воздухе рабочей зоны и в воздухе жилой зоны - 3, в воде водных объектов хозяй-ственно-питьевого и культурно-бытового водопользования - 2, в воде водоемов рыбохозяйственного значения - 4.

Нередко недостаточно обоснованные требования санитар-но-гигиенических нормативов не только сказываются на увели-чении стоимости объекта, но и создают совершенно неверную картину его влияния на окружающую среду.

Так широко используемый в производстве синтетических каучуков, полистирола, пластика АБС и др. стирол (производство которого в СССР и РФ началось с Воронежского завода СК) счита-лся весьма опасным продуктом, а собранные статические дан-ные легли в основу разработку десятков диссертаций на соиска-ние ученых степеней. При этом максимальная разовая предельно-допустимая концентрация (далее - ПДКр.з) стирола в воздухе ра-бочей зоны согласно составляет  $30 \text{ мг/м}^3$ , среднесменная –  $10 \text{ мг/м}^3$  и данный продукт относится к веществам 3-го класса опасности. Но в зарубежных публикациях даже упоминаний о подобной опасности стирола не выявлено.

За эти же годы оценка другого мономера промышленности СК бугадиена прошла диаметрально противоположный путь – от малоопасного продукта до явного канцерогена. Однако ПДКр.з. бу-гадиена по-прежнему составляет  $100 \text{ мг/м}^3$ , а класс опасности - 4.

Терефталевая (1,4 - бензолдикарбоновая) кислота - основ-ной мономер для синтеза полиэтилентерефталата (ПЭТФ) – со-гласно ТУ и паспорту безопасности является чрезвычайно опас-

ным продуктом, однако приведенные в этих материалах характеристики (кроме ПДКр.з.) свидетельствуют, что ее можно отнести к продуктам 3-го класса опасности. Согласно зарубежным данным терефталевая кислота охарактеризована как вещество всего лишь раздражающего действия.

Одним из важнейших санитарно-гигиенических нормативов является СанПиН по санитарно-защитным зонам (далее по тексту - СЗЗ) - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

Для промышленных объектов и производств, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека, в зависимости от мощности, условий эксплуатации, характера и количества выделяемых в окружающую среду загрязняющих веществ, создаваемого шума, вибрации и других вредных физических факторов, а также с учетом предусматриваемых мер по уменьшению неблагоприятного влияния их на среду обитания и здоровье человека в соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон:

- промышленные объекты и производства 1-го класса - 1000 м (например, производство искусственного и синтетического каучука);
- промышленные объекты и производства 2-го класса - 500 м (например, производство серной кислоты, олеума, сернистого газа);
- промышленные объекты и производства 3-го класса - 300 м (например, производство шин и резинотехнических изделий);
- промышленные объекты и производства четвертого класса - 100 м (например, производство глицерина);
- промышленные объекты и производства пятого класса - 50 м (например, производство углекислоты и «сухого льда»).

В СЗЗ не допускается размещать: жилую застройку, включая отдельные жилые дома, ландшафтно-рекреационные зоны, зоны отдыха, территории курортов, санаториев и домов отдыха, территории садоводческих товариществ и коттеджной застройки, коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных

участков, а также другие территории с нормируемыми показателями качества среды обитания; спортивные сооружения, детские площадки, образовательные и детские учреждения, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения общего пользования.

Кроме того, в СЗЗ и на территории объектов других отраслей промышленности не допускается размещать объекты по производству лекарственных веществ, лекарственных средств и (или) лекарственных форм, склады сырья и полупродуктов для фармацевтических предприятий; объекты пищевых отраслей промышленности, оптовые склады продовольственного сырья и пищевых продуктов, комплексы водопроводных сооружений для подготовки и хранения питьевой воды, которые могут повлиять на качество продукции.

Одной из неточностей указанного выше СанПиН является следующее. В п. 2.2 СанПиН сказано, что необходима разработка проекта СЗЗ в 2 стадии: предварительного проекта СЗЗ с проведением необходимых расчетов загрязнения воздуха и физического воздействия на людей вредных иных факторов (шум, вибрация и др.) и окончательного проекта, составляемого на основании проведения натурных наблюдений и измерений для подтверждения первоначально принятых расчетных параметров.

Если вдруг в результате исследований в натуре выявится несоответствие данных по реальным загрязнениям первоначально принятым в проекте, маловероятной представляется реальность закрытия недавно введенного в эксплуатацию объекта.

Ярким примером отсутствия взаимодействия между различными службами обеспечения экологической безопасности, является наличие в приложении к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», касающегося отнесения производственного объекта к категории ОПО, следующих веществ: высокотоксичные; токсичные; опасные для окружающей среды в водных объектах. В то же время во всех экологических нормативах, да и во многих документах по промышленной безопасности, используются классы опасности вредных веществ.

За основу отнесения опасного вещества к одному из указанных выше видов принята среднесмертельная доза (концентрация) при воздействии на живой организм.

Смертельные концентрации веществ применительно к человеку не определены, а о некоторых из них можно с большой степенью приближения судить по литературным данным, которые получены в результате экспериментов на животных (мыши, крысы, свинки и др.) с учетом пересчета массы.

Эту ошибку или неточность легко можно было устранить, исключив из законов федеральной власти ссылки на смертельные концентрации опасных веществ, заменив их значениями ПДК.

#### **Тема 4.**

### **Классы опасности предприятий по Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Смысл классификации**

Основным нормативно-правовым актом, определяющим основные требования промышленной безопасности в России, является Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Опасными производственными объектами являются предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, на которых:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества следующих видов: воспламеняющиеся вещества, окисляющие вещества, горючие вещества, взрывчатые вещества, токсичные вещества, высокотоксичные вещества, вещества, представляющие опасность для окружающей среды;

2) используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа;

3) используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 кг и более;

5) ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россып-

ных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;

б) осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию.

Федеральным законом от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» предусмотрено разделение ОПО на четыре класса опасности: 1-й класс опасности – ОПО чрезвычайно высокой опасности; 2-й класс опасности – ОПО высокой опасности; 3-й класс опасности – ОПО средней опасности; 4-й класс опасности – ОПО низкой опасности. Критерии отнесения ОПО к тому или иному классу опасности установлены в приложении 2 к данному федеральному закону.

Классы ОПО, на которых обращаются опасные вещества, устанавливаются исходя из количества опасного вещества или опасных веществ, которые одновременно находятся или могут находиться на опасном производственном объекте. Предусмотрено выделение отдельных индивидуальных веществ (аммиак, нитрит аммония, акрилонитрил, хлор, оксид этилена, цианистый водород, фтористый водород, сернистый водород, диоксид серы, триоксид серы, алкилы свинца, фосген, метилизоцианат), определяющих класс опасности ОПО и групп опасных веществ: воспламеняющиеся и горючие газы; горючие жидкости, находящиеся на товарно-сырьевых складах и базах; горючие жидкости, используемые в технологическом процессе или транспортируемые по магистральному трубопроводу; токсичные вещества; высокотоксичные вещества; окисляющие вещества; взрывчатые вещества; вещества, представляющие опасность для окружающей среды.

При этом, для объектов по хранению химического оружия, объектов по уничтожению химического оружия и ОПО спецхимии устанавливается 1-й класс опасности. Для ОПО бурения и добычи нефти, газа и газового конденсата – 2-4-й классы опасности, определяемый в зависимости от содержания в продукции се-

ководорода. Для газораспределительных станций, сетей газораспределения и сетей газопотребления – 2-3-й классы опасности в зависимости от давления в сети.

Для ОПО, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа, устанавливаются 3-4-й классы опасности.

Для ОПО, на которых используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, устанавливаются 3-4-й классы опасности.

Для ОПО, на которых получают, транспортируют, используют расплавы черных и цветных металлов, устанавливаются 2-3-й классы опасности в зависимости от количества расплава.

Для ОПО, на которых ведутся горные работы и работы по обогащению полезных ископаемых, устанавливаются 1-4-й классы опасности. Так для угольных шахт применяется 1-й класс опасности, для объектов переработки угля (горючих сланцев) – 2-й класс опасности.

Для ОПО, на которых осуществляется хранение или переработка растительного сырья, устанавливаются 3-4-й классы опасности.

Чем выше класс опасности ОПО, тем более жесткие требования промышленной безопасности предъявляют к объекту.

Основные отличительные требования, предъявляемые к объектам 1-2-го класса опасности, заключаются в следующем:

- на объектах 1-го класса опасности устанавливается режим постоянного государственного надзора;

- необходимость организации системы управления промышленной безопасностью и обеспечение ее функционирования;

- необходимость разработки декларации промышленной безопасности (ДПБ) для объектов, на которые обращаются опасные вещества, в количествах, определенных приложением к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

- более жесткие требования при проектировании (например - увеличенные коэффициенты запаса прочности при разработке строительной части);

- проектная документация таких объектов обязана проходить государственную экспертизу;

- проведение плановых проверок с периодичностью не чаще чем один раз в год.

## **Тема 5.**

### **Характеристика опасных веществ в аспекте взрывопожароопасности. Понятия сжиженного газа, легковоспламеняющихся жидкостей, горючих жидкостей, взрывоопасных пылей. Опасные аэрозоли**

При определении пожаровзрывоопасности веществ и материалов различают:

- газы – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25 °С и давлении 101,3 кПа превышает 101,3 кПа;

- жидкости – вещества, давление насыщенных паров которых при температуре 25 °С и давлении 101,3 кПа меньше 101,3 кПа. К жидкостям относят также твердые плавящиеся вещества, температура плавления или каплепадения которых меньше 50 °С;

- твердые вещества и материалы - индивидуальные вещества и их смесевые композиции с температурой плавления или каплепадения больше 50 °С, а также вещества, не имеющие температуру плавления (например, древесина, ткани и т.п.);

- пыли - диспергированные твердые вещества и материалы с размером частиц менее 850 мкм.

Основные показатели, характеризующие пожаровзрывоопасности веществ и материалов.

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. Данный показатель характерен в основном для жидкостей. Различают температуру вспышки в закрытом и открытом тигле. Температура вспышки в открытом тигле в результате рассеивания части паров всегда выше, чем в закрытом.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при



воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества.

Нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени – минимальное (максимальное) содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой, при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

Наиболее полное определение сжиженного газа, горючей жидкости, легковоспламеняющейся жидкости представлены в «Правилах устройства электроустановок».

Сжиженный газ – газ, который при температуре окружающей среды ниже 20 °С, или давлении выше 100 кПа, или при совместном действии обоих этих условий обращается в жидкость.

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) – продукты переработки попутного нефтяного газа и газов нефтеперерабатывающих заводов, являющиеся углеводородами, которые при нормальных условиях находятся в газообразном состоянии, а при относительно небольшом повышении давления (без снижения температуры) переходят в жидкое состояние.

СУГ предназначены для использования в качестве топлива и сырья для органического синтеза. Основными СУГ являются пропан, бутан, изобутан.

Хранение СУГ в резервуарах осуществляется следующими способами:

- под давлением при температуре не выше 50 °С и при давлении насыщенных паров, соответствующем температурным условиям наружного воздуха;
- изотермическим, при постоянной температуре, обеспечивающей избыточное давление насыщенных паров в резервуаре, близкое к атмосферному давлению 4,9-6,8 кПа;
- полуизотермическим, когда среда внутри резервуара соответствует изотермическим условиям хранения, а резервуар рассчитан на хранение при давлении.

Горючая жидкость – жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61 °С.

Легковоспламеняющаяся жидкость – горючая жидкость, с температурой вспышки не более 61 °С в закрытом тигле или 66 °С в открытом.

Так например для нефтепродукта, чем он легче, тем лучше испаряется, тем ниже его температура вспышки. Бензиновые фракции имеют отрицательные температуры вспышки (до минус 40 °С), керосиновые – в пределах 28-60 °С, дизельное топливо 50-80 °С, масляные фракции 130-325 °С.

По классификации ЛВЖ делятся на 3 разряда:

- особо опасные (температура вспышки в закрытом тигле меньше минус 18 °С): ацетон, бензин, эфиры;
- постоянно опасные (температура вспышки в закрытом тигле от минус 18 до 23 °С): бензол, этанол, этилацетат;
- опасные при повышенной температуре воздуха (температуры вспышки в закрытом тигле от 23 до 61 °С): уайт-спирт, керосин, скипидар и др.

Аэрозоль – дисперсная система, состоящая из взвешенных в дисперсной среде взвешенных частиц. Горючие пыли и горючие аэрозоли относятся к взрывоопасным, если их нижний концентрационный предел воспламенения не превышает 65 г/м<sup>3</sup>.

## **Тема 6.**

### **Общие характеристики основных методов расчета взрывоопасности и токсичности**

Согласно требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» технологическую схему производства следует делить на отдельные технологические блоки.

Под технологическим блоком понимается аппарат или группа (с минимальным числом) аппаратов, которые в заданное время могут быть отключены (изолированы) от технологической системы (выведены из технологической схемы) без опасных изменений режима, приводящих к развитию аварии в смежной аппаратуре или системе.

Технологический блок характеризуется энергетическим потенциалом взрывоопасности  $E$  (кДж), который определяется

полной энергией сгорания парогазовой фазы, находящейся в блоке, с учетом величины работы ее адиабатического расширения, а также величины энергии полного сгорания испарившейся жидкости с максимально возможной площади ее пролива.

При этом принимается, что:

- при аварийной разгерметизации аппарата происходит его полное раскрытие (разрушение);
- площадь пролива жидкости определяется исходя из конструктивных решений зданий или площадки наружной установки;
- время испарения составляет не менее 15 мин и не более 60 мин.

На основании результатов расчета энергетического потенциала взрывоопасности определяется общая масса горючих газов (паров) облака парогазового облака  $m$ , приведенная к единой удельной энергии сгорания, равной 46000 кДж/кг,

$$m = \frac{E}{4,6 \cdot 10^4}.$$

Также определяется относительный энергетический потенциал взрывоопасности  $Q_в$  технологического блока

$$Q_в = \frac{1}{16,534} \sqrt[3]{E}.$$

Категория взрывоопасности технологического блока устанавливается по расчетным значениям относительных энергетических потенциалов  $Q_в$  и приведенной массе парогазовой среды  $m$ .

Показатели категорий взрывоопасности технологических блоков

Категория взрывоопасности	$Q_в$	$m$ , кг
1	$> 37$	$> 5000$
2	$27 - 37$	$2000 - 5000$
3	$< 27$	$< 2000$

При этом в случае если обращающиеся в технологическом блоке опасные вещества относятся к токсичным, высокотоксичным веществам, проектная организация имеет право, при обосновании, повысить категорию взрывоопасности блока.

В зависимости от рассчитанной категории взрывоопасности технологического блока к нему могут быть предъявлены различные требования промышленной безопасности, касающиеся в частности: автоматизированной системы управления технологическим процессом и системы противоаварийной защиты, системы энергообеспечения объекта, технологического оборудования и трубопроводов и др.

В целях обоснования безопасного размещения установок, зданий, сооружений на территории взрывопожароопасного производственного объекта следует проанализировать риск взрыва парогазовой смеси, облака топливно-воздушной смеси (ТВС), образующихся при возникновении аварийной ситуации, а также зоны распространения поражающего фактора взрыва – ударной волны.

В общем под взрывом понимается быстрое преобразование веществ (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу.

Расчеты размеров зон поражения следует проводить по одной из двух методик.

1) Методика оценки зон поражения, основанная на «тротиловом эквиваленте» взрыва опасных веществ. Данная методика применяется при расчетах зон поражения при взрывах твердых и жидких химически нестабильных соединений, а также для приближенного расчета последствий взрыва ТВС внутри замкнутых объемов (помещений).

Этот метод характеризуется учетом общей массы горючих газов и паров, находимой при определении категории взрывоопасности блока. Основу данной методики составляют эмпирические формулы, позволяющие установить ориентировочные размеры зон с определенной величиной избыточного давления во фронте ударной волны, полученные при анализе данных о последствиях взрывов авиационных бомб во время авианалетов на Великобританию во время Второй мировой войны.

2) Методика, учитывающая тип взрывного превращения (детонация/дефлаграция) при воспламенении ТВС. Данная методика применяется при расчетах зон поражения при взрывах ТВС на наружных установках.

При использовании методики, учитывающей тип взрывного превращения, масса горючего вещества, способного участвовать во взрыве, определяется путем интегрирования концентрации выброшенного при аварии горючего вещества по пространству, ограниченному поверхностями верхнего и нижнего концентрационного предела распространения пламени.

$$m_{\tau} = \iiint_{\Sigma_{\text{н.к.пр}} < V < \Sigma_{\text{в.к.пр}}} c(x, y, z, t_0) dx dy dz .$$

Как правило, для определения массы горючего вещества, способного участвовать во взрыве, используют различные компьютерные программы (например – ТОКСИ).

По результатам расчета при использовании любой из методик, с учетом штатного расписания и сменности персонала, можно оценить количества погибших и пострадавших, а также степень разрушения зданий и сооружений, попавших в зоны поражения.

Фактически, первой методикой, появившейся в России, и используемой для оценки последствий выбросов химически опасных веществ, является РД 52.04.253-90 «Методика прогнозирования масштабов заражения сильно действующими ядовитыми веществами (СДЯВ) при авариях (разрушения) на химически опасных объектах и транспорте». Методика применяется для прогнозирования масштабов зон заражения при авариях на химически опасных объектах и распространяется на случай выброса АХОВ (ранее – СДЯВ) в газообразном, парообразном или аэрозольном состоянии.

Масштабы заражения в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния опасных веществ рассчитываются для первичного и вторичного облаков: для сжиженных газов - отдельно для первичного и вторичного; для сжатых газов - только для первичного; для жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды, – только для вторичного.

При расчетах учитывается общее количество АХОВ на объекте (расчет ведется по его содержанию в аппарате самого большого объема), характер разлива (свободное разлитие, разлитие в обваловку (поддон), метеоусловия (вертикальная устойчи-

вость атмосферы, скорость ветра). В результате расчета определяются глубины зоны заражения, площадь зон фактического и возможного заражения.

Эта методика легла в основу различных вариантов методик расчета зон загазованности, включая и программу ТОКСИ. Наиболее современная методика, позволяющая детально оценить зоны заражения при авариях на химически опасных объектах, утверждена приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 г. № 158 - Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ»

Санкт-Петербургская организация «Интеграл» по прямому заказу Госгидромета разработала несколько программ серии «ЭКОЛОГ» для расчета распространения вредных веществ в атмосфере – для открытой местности, кварталов жилой застройки.

## **Тема 7.**

### **Понятия декларации промышленной и пожарной безопасности. Их содержание и значение**

Декларация промышленной безопасности – документ, отражающий масштабы и характер опасностей опасного производственного объекта и меры по обеспечению промышленной безопасности и готовности к действиям к чрезвычайным ситуациям техногенного характера.

Разработка декларации промышленной безопасности предполагает всестороннюю оценку риска аварии и связанной с ней угрозы; анализ достаточности принятых мер по предупреждению аварий, по обеспечению готовности организации к эксплуатации ОПО в соответствии с требованиями промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на ОПО; разработку мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба, нанесенного в случае аварии на ОПО.

Декларации промышленной безопасности разрабатываются для объектов 1-го и 2-го классов опасности, на которых обращаются опасные вещества, в количествах, определенных приложением к Федеральному закону «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Кроме того, декларации промышленной безопасности могут разрабатываться для предприятий 3-го класса опасности, но расположенных на землях особо охраняемых природных территорий, континентальном шельфе РФ, во внутренних морских водах, в территориальном море или прилегающей зоне РФ, на искусственном земельном участке, созданном на водном объекте федеральной собственности. Это связано с тем, что в силу особых условий природопользования таким объектам присваивается более высокий класс опасности.

Декларация промышленной безопасности разрабатывается в составе проектной документации на строительство, реконструкцию ОПО, а также документации на техническое перевооружение, консервацию, ликвидацию ОПО.

Декларация промышленной безопасности находящегося в эксплуатации ОПО разрабатывается вновь:

- в случае истечения 10 лет со дня внесения в реестр;
- в случае изменения технологических процессов на ОПО либо увеличения более чем на 20 % количества опасных веществ, которые находятся или могут находиться на объекте;
- в случае изменения требований промышленной безопасности;
- по предписанию Ростехнадзора в случае выявления несоответствия сведений, содержащихся в декларации промышленной безопасности, сведениям, полученным в ходе осуществления федерального государственного надзора в области промышленной безопасности.

Декларация промышленной безопасности, разрабатываемая в составе документации на техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию ОПО, и декларация промышленной безопасности, разрабатываемая вновь, проходят экспертизу промышленной безопасности в установленном порядке. Проектная документация на строительство, реконструкцию ОПО, содержащая декларацию промышленной безопасности, подлежит экспертизе в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности (государственная экспертиза).

Порядок оформления декларации промышленной безопасности определяется РД-03-14-2005 «Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений». В данном до-

кументе четко указана структура декларации промышленной безопасности, перечень включаемых в нее сведений, прописаны четкие требования к оформлению.

Декларация промышленной безопасности включает непосредственно саму декларацию, а также приложения к ней: приложение 1 – Расчетно-пояснительная записка, приложение 2 – Информационный лист.

Декларация пожарной безопасности – форма оценки соответствия, содержащая информацию о мерах пожарной безопасности, направленных на обеспечение на объекте защиты нормативного значения пожарного риска.

Необходимость разработки декларации пожарной безопасности определяется требованиями ст. 6 и 64 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Форма и порядок регистрации декларации пожарной безопасности определяется Приказом МЧС РФ от 24.02.2009 г. № 91.

По сути, декларации пожарной безопасности должна содержать сведения о соответствии объекта пожарным нормам, предусмотрена ли система пожарной сигнализации, соответствуют ли нормам эвакуационные выходы, произведен ли инструктаж персонала и т. д.

Для новых объектов такой документ включает в себя лишь перечень нормативов в области пожарной безопасности с подтверждением их выполнения в проекте. Для действующих объектов в декларацию пожарной безопасности включают: оценку пожарного риска, оценку возможного ущерба имуществу третьих лиц от пожара и перечень нормативных документов.

Оценка пожарных рисков включает в себя расчет вероятности возникновения пожаров, вероятности безопасной эвакуации людей, оценку воздействия пожара на людей и меры, принимаемые для снижения частоты пожаров и их последствий.

Индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать  $10^{-6}$  в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке.

Декларация не согласовывается, а лишь регистрируется органом МЧС РФ, но отказ регистрации может иметь место. Так, например, если декларация пожарной безопасности не соответ-



ует форме упомянутого выше приказа МЧС РФ № 91; не приложен отчет по оценке пожарного риска; имеются некорректные сведения, либо отсутствует подпись разработчика, либо отсутствует прошивка и печать.

## **Тема 8.**

### **Понятие риска. Индивидуальный, социальный, коллективный риск. Нормируемые величины рисков**

В общем виде под риском понимается сочетание вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий. Риском часто называют событие, способное принести убыток или ущерб, характеристику ситуации с неопределенным исходом или наличием неблагоприятных последствий.

Существует множество классификаций рисков, начиная от экологических рисков и заканчивая финансовыми рисками. Для исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных неблагоприятных событий используют анализ риска. Различают качественный и количественный анализ риска.

В практике проектирования и эксплуатации производственных объектов для оценки риска аварии используются следующие показатели риска: индивидуальный риск, потенциальный риск, коллективный риск, социальный риск.

Индивидуальный риск – ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии.

Потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) – частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке на площадке ОПО и прилегающей территории.

Коллективный риск (или ожидаемые людские потери) – ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени.

Социальный риск (или риск поражения группы людей) – зависимость частоты возникновения сценариев аварий  $F$ , в которых пострадало на определенном уровне не менее  $N$  человек, от этого числа  $N$ . Характеризует социальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации совокупности сценариев аварии и представляется в виде соответствующей  $F/N$ -кривой.

Единых общепринятых величин допустимого риска для персонала на опасных производственных объектах нет, и вряд ли их установление возможно ввиду многообразия производств.

В то же время величины пожарного риска законодательно закреплены. Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и на территориях производственных объектов не должна превышать  $10^{-6}$  в год. Для тех объектов, на которых данная величина не может быть достигнута, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до  $10^{-4}$  в год. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в жилой зоне вблизи объекта, не должна превышать  $10^{-8}$  в год. Величина социального риска в данном случае не должна превышать  $10^{-7}$  в год. Закон, таким образом, предусматривает, что эксплуатация производственных объектов недопустима при значении индивидуального пожарного риска больше  $1 \cdot 10^{-6}$  или социального пожарного риска больше  $1 \cdot 10^{-5}$ . Однако закон разрешает эксплуатацию технологических процессов при промежуточных значениях риска. При этом должны быть предусмотрены: меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска; средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите.

Анализ риска аварий рекомендуется проводить при разработке:

- проектной документации на строительство или реконструкцию ОПО;
- документации на техническое перевооружение, капитальный ремонт, консервацию и ликвидацию ОПО;
- декларации промышленной безопасности ОПО;
- обоснования безопасности ОПО;

- плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО;

- плана мероприятий по снижению риска аварий и других документов в составе документационного обеспечения систем управления промышленной безопасностью.

Общий алгоритм анализа риска включает:

- планирование и организация работ по анализу риска;
- идентификацию опасностей;
- оценку риска;
- разработку (корректировку) мер по снижению риска.

По данным Ростехнадзора, за 2015 г. фоновый риск аварии на объектах нефтегазового комплекса оценивается как:

- $1,1 \cdot 10^{-3}$  - для объектов нефтедобычи;
- $3,8 \cdot 10^{-3}$  - для объектов нефтепереработки, нефтехимии;
- $2,4 \cdot 10^{-3}$  - для объектов магистрального трубопроводного

транспорта;

- $0,4 \cdot 10^{-3}$  - для газовых сетей.

Фоновый риск гибели на предприятиях нефтедобычи, нефтепереработки, нефтехимии в 2015 г. составил:

- $4,2 \cdot 10^{-5}$  - для объектов нефтедобычи;
- $2,86 \cdot 10^{-4}$  - для объектов нефтепереработки, нефтехимии.

Для сравнения индивидуальный риск гибели россиянина в пожаре достигал в 2005-2009 гг.  $1,22 \cdot 10^{-4}$  (1/год), а в ДТП -  $3,12 \cdot 10^{-4}$  (1/год).

По данным Минтруда РФ, ежегодно имеет место при несчастных случаях поражение до 200 тыс. человек: 20 тыс. гибнут, 5 тыс. – инвалиды. Прямые потери от возмещения потерь ~ 4 млрд р.

Ниже приводятся данные статистики США по индивидуальному риску гибели от различных факторов:

- автотранспорт  $3 \cdot 10^{-4}$ ;
- падения  $9 \cdot 10^{-5}$ ;
- пожар  $4 \cdot 10^{-5}$ ;
- утопление  $3 \cdot 10^{-5}$ ;
- отравление  $2 \cdot 10^{-5}$ ;
- огнестрел  $1 \cdot 10^{-5}$ ;
- станки  $1 \cdot 10^{-5}$ ;
- водный транспорт  $9 \cdot 10^{-6}$ ;
- воздушный транспорт  $9 \cdot 10^{-6}$ ;

- падающие предметы  $6 \cdot 10^{-6}$ ;
- электроток  $6 \cdot 10^{-6}$ ;
- железные дороги  $4 \cdot 10^{-7}$ ;
- молния  $5 \cdot 10^{-7}$ ;
- атомная энергия  $2 \cdot 10^{-10}$ ;
- все прочие  $4 \cdot 10^{-5}$ ;
- общий риск  $6 \cdot 10^{-4}$ .

## Тема 9

### Характеристика основных мероприятий по обеспечению требований нормативной базы

Под понятием «нормативная (нормативно-правовая) база» понимается совокупность официально изданных документов, принятых в определенной форме правотворческим органом. При проектировании, строительстве и эксплуатации производственных объектов имеющие отношение к этим процессам организации и предприятия сталкиваются с нормативной документацией по вопросам промышленной, пожарной и экологической безопасности, определяющей правовые, социальные и экономические основы безопасности и направленной на предупреждение аварий и обеспечение готовности эксплуатирующих организаций к локализации и ликвидации последствий аварий. Эти документы включают законы Российской Федерации, указы Президента РФ, постановления Правительства РФ, руководящие нормативы Таможенного Союза, нормативные акты отдельных министерств и ведомств, отраслевые нормы, правила и методические указания.

Основные мероприятия по обеспечению требований нормативных документов при проектировании, строительстве и эксплуатации производств.

1. Выдерживание основных требований по разрывам от жилой (селитебной) зоны. В случае если такие разрывы не выдержаны, требуется реализация компенсационных мероприятий (вплоть до отселения жителей жилой зоны). Разрывы в основном определяются противопожарными требованиями и требованиям экологической безопасности в части организации СЗЗ.

2. Обеспечение комплекса мер по защите работающего персонала с учетом характера опасностей, имеющих место на предприятии: оборудование всех производственных помещений

системами вентиляции с необходимой кратностью воздухообмена, соблюдение требований по защите от шума, вибрации, излучений, обеспечение персонала средствами индивидуальной защиты, льготы, нормирование продолжительности рабочего дня, организация медицинского обслуживания, наличие аварийно-спасательных формирований и др.

3. Обеспечение комплекса мер по защите населения жилой зоны: контроль за деятельностью предприятия со стороны всех заинтересованных сторон, наличие сил и средств быстрого реагирования, организация эвакуационных мероприятий работающих и населения (при необходимости), средства связи и оповещения на всех уровнях и т. д.

Постановлением Правительства РФ от 24.12.2015 г. № 1418 утверждено «Положение о государственном надзоре в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на осуществление федерального государственного надзора, является МЧС РФ. Государственный надзор осуществляется посредством проведения плановых и внеплановых, документальных и выездных проверок.

4. Комплекс антитеррористических мероприятий, включая технические силы и средства охраны, системы технической защиты, организационные мероприятия.

Непосредственно на производственных объектах должны предусматриваться мероприятия по обеспечению требований нормативной базы. Для снижения вероятности возникновения взрыва и минимизации возможных последствий на взрывоопасных производствах реализуются следующие мероприятия:

- рациональная планировка объектов предприятия;
- расположение объектов на генплане предприятия таким образом, чтобы обеспечить эффективное проветривание и исключить застойные зоны возможного скопления взрывопожароопасных газов и паров;
- вынос зданий административно-бытового назначения из зон возможного воздействия ударной волны;
- расположение объектов на генплане с обеспечением исключения возможности «эффекта домино»;
- устройство в обоснованных случаях взрывозащищенных операторных (т.н. «бункерного типа»);

- использование предохранительных (легкосбрасываемых) конструкций;
- ограничение поверхности разлива взрывопожароопасных жидкостей при авариях;
- максимальный вынос технологического оборудования на наружные установки;
- выбор материалов и устройство твердых поверхностей таким образом, чтобы минимизировать скорость испарения при возможных разливах и т.д.

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, в значительной степени, совпадающие с перечисленными выше, дополняются организацией пожаротушения и противопожарной автоматики и сигнализации.

Экологическая безопасность в основном обеспечивается за счет применения передовых технологий с наименьшим уровнем воздействия на окружающую среду, строительства очистных сооружений, утверждения проектов предельно допустимых выбросов (сбросов), платы за выбросы (сбросы) и размещение отходов и др.

## **Тема 10.**

### **Перечень основных документов по промышленной безопасности**

Промышленная безопасность как новая отрасль права в Российском Законодательстве образовалась в конце 90-х гг. прошлого века. Основопологающим законодательным актом в области промышленной безопасности является Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

В период с 1997 по 2016 г. в данный Федеральный закон 23 раза вносились различные изменения и дополнения. Некоторые из них не носили концептуального характера, а некоторые существенно изменили его содержание.

Основопологающими следует считать изменения, внесенные Федеральным законом от 04.03.2013 г. № 22-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», отдельные законодательные акты Российской Федерации и о признании утратившим

силу подпункта 114 пункта 1 статьи 333.33 части второй Налогового кодекса Российской Федерации».

На основании данных изменений было введено деление ОПО на 4 класса опасности. Кроме того, введено такое понятие как «обоснование безопасности – документ, содержащий сведения о результатах оценки риска аварии на опасном производственном объекте и связанной с ней угрозы, условия безопасной эксплуатации опасного производственного объекта, требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации опасного производственного объекта». Обоснование безопасности может быть разработано в случае необходимости отступления от требований промышленной безопасности, установленных федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности, если таких требований недостаточно и (или) они не установлены.

Правовое регулирование в области промышленной безопасности до 2013 г. осуществлялось разработанными в 90-е годы прошлого века и в большинстве своем актуализированными в начале XXI в. правилами безопасности (ПБ). Правила безопасности распространялись на большинство сфер промышленной безопасности, начиная с установок по разделению воздуха и заканчивая факельными установками. С конца 2012 г. началась еще одна волна актуализации ПБ. Часть из них были переведены в разряд так называемых федеральных норм и правил в области промышленной безопасности.

Основополагающими для взрывоопасных производств являются Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Структура данного нормативно-правового акта включает следующие разделы: общие положения и общие требования, требования к обеспечению взрывобезопасности технологических процессов, специфические требования безопасности к отдельным типовым технологическим процессам, требования безопасности к аппаратурному обеспечению технологических процессов, требования к системам контроля, управления, сигнализации и противоаварийной автоматической защиты, требования к электрообеспечению и электрооборудованию взрывоопасных технологических

систем, требования к системам отопления и вентиляции взрывопожароопасных производств, требования к системам водопровода и канализации взрывопожароопасных производств, защита персонала от травмирования, обслуживание и ремонт технологического оборудования и трубопроводов. Также документ содержит приложения, касающиеся: анализа опасностей технологических процессов, определения категорий взрывоопасности технологических блоков, расчета последствий взрыва и критериев взрывоустойчивости зданий.

Проектирование, строительство, эксплуатация химически опасных производственных объектов (объекты, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются токсичные, высокотоксичные и представляющие опасность для окружающей среды химически опасные вещества) ведутся с учетом Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности химически опасных производственных объектов».

В дополнение к федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности разрабатываются различные руководства по безопасности (например: по оценке последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей, по обоснованию взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрыве топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах), разъясняющие отдельные положения и требования федеральных норм и правил, и не являющиеся нормативно-правовыми актами (носят рекомендательный характер).

## **Тема 11.**

### **Перечень основных документов по пожарной и экологической безопасности**

Основным отечественным документом в области пожарной безопасности является в настоящее время Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Этот закон дополняется сводами правил, касающихся различных аспектов защиты национальной экономики от пожаров. В соответствии с частью 1 статьи 6 указанного выше Федерального закона пожарная безопасность на объекте считается обеспеченной, если выполняется одно из условий:



- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании», и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом;

- в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании», и нормативными документами по пожарной безопасности.

Вкратце, с небольшими комментариями I раздел Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» содержит:

- классификацию пожаров;
- показатели и классификацию пожаровзрывоопасности и пожарной опасности веществ и материалов (обращает на себя внимание тот факт, что один и тот же термин в документах МЧС РФ и Ростехнадзора именуется по-разному: пожаровзрывоопасность и взрывопожароопасность);

- показатели пожаровзрывоопасности и пожарной опасности и классификацию по пожаровзрывоопасности и пожарной опасности технологических сред;

- классификацию пожароопасных и взрывоопасных зон. Классификация пожароопасных зон (классы П-I, П-IIa и П-III), следующая в развитии Правил устройства электроустановок (ПУЭ), определяет требования к электроустановкам, размещаемым в пожароопасных помещениях и вне их.

Классификация взрывоопасных зон, следующая в рамках адаптации отечественных норм к зарубежным (зоны класса 0, 1 и 2 - в отличие от классов В-1, В-1a, В-1б и В-1г по ПУЭ), определяет требования к выбору электрооборудования и устройству электроустановок, эксплуатация которых должна быть безопасной в присутствии газовых смесей обращающихся продуктов. Указанное разночтение в наименованиях взрывоопасных зон нежелательно само по себе и неизбежно вызывает сложности, в оформлении технической документации как минимум;

- классификацию электрооборудования по пожаровзрывоопасности и пожарной опасности;

- классификацию наружных установок по пожарной опасности. Он выглядит так:

АН - повышенная взрывопожароопасность;

БН - взрывопожароопасность;

ВН - пожароопасность;

ГН - умеренная пожароопасность;

ДН - пониженная пожароопасность;

- классификацию зданий, сооружений строений и помещений по пожарной и взрывопожарной опасности. Указанная классификация фактически аналогична предыдущей, различие заключается только в обозначении категории пожаровзрывоопасности (А, Б, В, Г, Д);

- пожарно-техническую классификацию зданий, сооружений и пожарных отсеков. Она предназначена для установления требований противопожарной защиты конструкций зданий, конструкций элементов и частей зданий в зависимости от их огнестойкости и/или класса конструктивной и функциональной пожарной опасности;

- классификацию пожарной техники и средств пожаротушения;

- системы предотвращения пожаров и противопожарной защиты.

Этим перечнем исчерпываются перечисленные в разделе I общие принципы обеспечения пожарной безопасности. Остальные разделы федерального закона содержат требования к проектированию, строительству и эксплуатации поселений и городских округов, зданий и сооружений; требования пожарной безопасности к производственным объектам; требования пожарной безопасности к пожарной технике; требования пожарной безопасности к продукции общего назначения.

Свод правил, разработанные с целью дополнения и расширения требований Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», содержат требования к эвакуационным путям; требования по обеспечению огнестойкости объектов защиты; требования к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям; требования к автоматическим установкам сигнализации и пожаротушения; требования к электрооборудованию; требования к системам ото-

пления, вентиляции и кондиционирования; требования к наружным и внутренним источникам противопожарного водоснабжения; требования к огнетушителям; требования к местам дислокации подразделений пожарной охраны; требования по определению категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Своды правил являются нормативными документами в области пожарной безопасности добровольного применения.

Не стоит забывать о таком нормативно-правовом акте, как «Правила противопожарного режима в РФ», содержащем требования пожарной безопасности, устанавливающие правила поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий, зданий, сооружений, помещений организаций и других объектов (далее - объекты) в целях обеспечения пожарной безопасности. Данный документ применяется наравне с Федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Экологическая безопасность является одной из ведущих составляющих национальной безопасности, это совокупность природных, технических, социальных и прочих условий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности проживающего на данной территории населения и устойчивые состояния экосистемы.

Фактически критерием экологической безопасности является качество жизни и состояние здоровья населения. Экологическая безопасность включает процесс обеспечения защищенности жизненно важных интересов личности, общества природы, государства и человечества в целом от реальных и потенциальных угроз, создаваемых естественным или антропогенным воздействиями. Поэтому с политической точки зрения экологическая безопасность – деятельность государств и отдельных лиц, а с экономической – это совокупность законодательных, управленческих, технических, медицинских и биологических мер по обеспечению устойчивого развития, обеспечивающая минимум негативного воздействия на природу и человека – при достаточном развитии индустрии, сельского хозяйства, транспорта и коммуникаций.

Посягательства на экологическую безопасность – преступны. Они включают в себя:

- загрязнение атмосферы;

- загрязнение вод;
- загрязнение морей и океанов;
- недопустимые нарушения на континентальном шельфе;
- почву земель;
- нарушение в использовании недр;
- незаконную охоту и добычу животных и растений;
- уничтожение лесов;
- нарушения режимов охраняемых территорий и т. д., вплоть до загрязнений космоса.

Как говорилось ранее, экологическая безопасность регулируется широким спектром нормативных документов:

- международного уровня, адаптированных в РФ;
- федерального уровня;
- по охране атмосферного воздуха, воды и почвы;
- по обращению с отходами;
- по охране животного и растительного мира;
- по социальной защите.

## **Тема 12.**

### **Основные направления развития экологического регулирования в РФ**

Основные направления развития экологического регулирования в РФ.

1. Кодификация (упорядочивание) законодательства в области охраны окружающей среды. Как указано ранее, в настоящее время в РФ действует большое количество нормативных правовых актов, регулирующих отношения в области охраны окружающей среды, принятых в разное время разными ведомствами. В системе регулирования накопилось множество нестыковок и противоречий, устранить которые невозможно за счет принятия (изменения) отдельных законов или подзаконных актов.

Охрана окружающей среды давно превратилась в самостоятельную сферу государственного регулирования, требующую кодификации по аналогии с тем, как это в свое время было, например, с налоговым законодательством (1 кодекс - 1 регулятор).

2. Организация 1 регулятора в области охраны окружающей среды и минимизация количества разрешительной документации с сокращением срока ее выдачи. Государственное регули-

рование в области окружающей среды осуществляется 14 ведомствами, которые самостоятельно издают нормативные правовые акты, устанавливают нормативы, выдают разрешения (лицензии), согласовывают документацию, проводят проверки, выдают предписания, привлекают нарушителей к ответственности и др. При этом ни одно из ведомств не обладает полномочиями, которые позволили бы регулировать систему в целом.

Предприятия должны повторно обращаться за разрешениями каждый раз, когда происходит изменение технологического процесса, например, даже в случае снижения объемов загрязнения. В результате с учетом всех согласований фактические сроки получения нового разрешения могут превышать 200 – 250 дней.

3. Пересмотр экологического нормирования на основе ПДК. В основе действующего экологического нормирования вместо нормативов качества окружающей среды используются санитарно-гигиенические и рыбохозяйственные нормативы на основе ПДК химических веществ / уровней физических воздействий/. Соответственно нормативы допустимого воздействия на окружающую среду для конкретных предприятий устанавливаются на основе ПДК. Общее количество ПДК превышает 5000.

ПДК носят абсолютный характер, т. е. разработаны в соответствии с концепцией «нулевого риска» для здоровья человека и природной среды. ПДК должны соблюдаться всеми предприятиями вне зависимости от отрасли, региона или фоновое состояние окружающей среды. Многие ПДК недостижимы даже при применении наилучших (доступных) технологий.

Исключение фонового загрязнения как элемента нормирования, например, приводит к ситуации, когда сбросы предприятия в реку должны быть многократно чище, чем вода, изъятая ранее из этой же реки для производственных нужд.

Нормативы допустимого воздействия для российских предприятий зачастую значительно жестче, чем для предприятий – аналогов за рубежом, что наряду с избыточными административными барьерами снижает конкурентоспособность российских предприятий.

Таким образом, в будущем выглядит целесообразной поэтапная реализация следующих мер в части пересмотра экологического нормирования:

- введение региональных нормативов качества окружающей среды;
- дифференцированные нормативы допустимого воздействия с учетом баланса не только экологических и гигиенических, но и технологических (отраслевых), социальных и экономических факторов;
- нормативы не строже, чем в странах ЕС и Северной Америки;
- исключение ПДК из экологического нормирования для предприятий, использующих наилучшие доступные технологии.

4. Пересмотр системы платежей за негативное воздействие на окружающую среду.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) фактически превратилась в налог («обезличенные» платежи за выбросы, сбросы, отходы целиком поступают в бюджет: 20 % - в федеральный, по 40 % - региональный и местные бюджеты). При этом, «налогооблагаемой базой» является объем (масса) загрязнения, поступающего в окружающую среду. Тем самым, получается порядок: с точки зрения бюджета, чем больше загрязнения, тем лучше.

На практике возникает противоречие между усилиями предприятий по снижению загрязнения и, соответственно, платы за НВОС (уже учтенной в бюджете), и усилиями государства при компенсации «выпадающих доходов» бюджета.

Среднее промышленное предприятие должно контролировать до 100 загрязняющих веществ. При этом в расчете платы за НВОС всего 3-4 вещества зачастую дают 99 % платы за НВОС.

В качестве мер, позволяющих повысить эффективность работы системы платежей за негативное воздействие на окружающую среду, представляется целесообразным внедрение следующих изменений:

- направление платежей за НВОС в специальные бюджетные фонды, средства которых целевым образом должны расходоваться на финансирование мероприятий по охране окружающей среды (как это было реализовано до 2002 г.);
- установление отраслевых перечней приоритетных (маркерных) нормируемых веществ, используемых для расчета платы за НВОС.

5. Гармонизация требований к документации и отчетности в области охраны окружающей среды. Российские предприятия, реализующие продукцию на внешних рынках и привлекающие международное финансирование, фактически вынуждены параллельно вести 3 вида документации и отчетности: согласно российскому законодательству (например, перечень мероприятий по охране окружающей среды, производственный экологический контроль и т. п.), стандартам банков (ESIA/ESAP и др.) и потребителей продукции (ISO 14001 и др.).

Отдельно стоит сказать о Федеральном законе от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в ФЗ «Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты РФ».

Данный закон предусматривает целый ряд существенных изменений природоохранного законодательства, в т. ч. введение:

1) понятия наилучших доступных технологий (НДТ), которые должны отвечать следующим критериям:

– наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции;

– экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;

– применение ресурсо-энергосберегательных методов;

– внедрение на двух и более промышленных объектах.

2) технологического нормирования на основе НТД (в дополнение к действующему санитарно - гигиеническому и экологическому нормированию на основе ПДК);

3) IV категорий объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду: объекты, оказывающие значительное воздействие и относящиеся к областям применения НТД (I категория), умеренное воздействие (II категория), незначительное воздействие (III категория), минимальное воздействие (IV категория);

4) государственного учета объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду;

5) экологического мониторинга с использованием автоматических средств измерения и учета выбросов (сбросов), а также технических средств фиксации и передачи информации в государственный фонд данных государственного экологического мониторинга;

6) комплексного экологического решения (КЭР) для предприятий, имеющих объекты I категории (взамен действующих отдельных разрешений на выбросы, сбросы, размещение отходов); материалы, обосновывающие получение КЭР, будут подлежать государственной экологической экспертизе;

7) программ повышения экологической эффективности (ППЭЭ) (объекты I категории) и плана мероприятий по охране окружающей среды (ПМООС) (объекты II и III категории); срок реализации ПМООС/ППЭЭ не может превышать 7 лет (14 лет для градообразующих предприятий);

8) коэффициентов к ставкам платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС) (при этом, закон не освобождает от обязанности по возмещению вреда, причинного окружающей среде в результате производственной деятельности, и от ответственности за нарушение природоохранного законодательства);

9) информационно-технических справочников НДТ (отраслевых и общего действия), на основании которых будут выдаваться КЭР, утверждаться ПМООС/ППЭЭ, рассчитываться плата за НВОС и т.п.; справочники должны учитывать имеющиеся в РФ технологии, оборудование, сырье, а также климатические, социально-экономические особенности РФ;

10) мер государственной поддержки предприятий, переходящих на НДТ (зачет инвестиций при расчете платы за НВОС, налоговые льготы, ускоренная амортизация и т. п.).

В целом принятие данного Федерального закона имеет в большой степени положительное значение и направлено на развитие в РФ наиболее современных технологий с наименьшим уровнем НВОС. Выполнено категорирование объектов, оказывающих НВОС, с различными требованиями в части государственного надзора и ведения отчетности.

Тем не менее, отдельные положения Федерального закона от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в ФЗ «Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты РФ» логично было бы уточнить (пересмотреть).

1. Фактический переходный период для реализации требований данного закона составляет 3-4 года. Но поскольку в такие сроки перестроить промышленность невозможно, она рискует оказаться в числе нарушителей экологического законодательства.



В условиях недоступности финансовых ресурсов и технологий для перехода на НДТ из-за различных причин (экономический кризис, санкции) целесообразно пойти по пути временного моратория на ужесточение условий ведения бизнеса, в т.ч. путем увеличения переходного периода, например 10-15 лет.

2. Для исключения двойного нормирования освободить предприятия, переходящие на НДТ, от нормирования и платежей на основе ПДК, включая сопутствующие требования (СЗЗ и т.п.).

3. Предприятия, попадающие в перечень из 300 объектов, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы в РФ составляет 60 %, должны будут получать КЭР с 1 января 2019 г. по 31 декабря 2022 г., остальные – до 1 января 2025 г. Для построенных в настоящее время предприятий ситуация может сложиться так, что они были спроектированы и построены по одним нормам (действующим), а выдача разрешений на эксплуатацию будет выдаваться по другим, более жестким нормам (которые пока не разработаны). Это приведет к тому, что законно построенный современный производственный объект рискует оказаться в числе нарушителей экологического законодательства.

Целесообразно выдавать новые КЭР для промышленных объектов, получившим положительное заключение государственной экспертизы и разрешение на строительство в настоящее время (например: с 1 января 2015 г.), по результатам проведенной государственной экспертизы проектной документации.

4. Исключить крупнотоннажные отходы (вскрышу, хвосты обогащения, солеотвалы) из технологических нормативов на единицу продукции. Ввиду того что образование отходов обусловлено технологическим процессом и удельные показатели отходов, как правило, являются постоянными величинами, введение нормативов отходов на единицу продукции и платежей в условиях, когда снижение объемов образования отходов технологически невозможно, с точки зрения экологии не будет иметь практического смысла и фактически превратится в дополнительный налог, не имеющий аналогов в мире.

### **Тема 13.**

#### **Общая характеристика основных направлений совершенствования нормативной базы.**

#### **Краткие сведения об основных различиях российской нормативной базы по промышленной, пожарной, экологической безопасности от передовых зарубежных норм**

Постоянное совершенствование технологических процессов, внедрение нового оборудования, повышение уровня автоматизации и механизации требуют одновременного развития нормативной базы. Необходимость постоянного анализа этого взаимодействия сопровождается и необходимостью статистического учета и тщательного рассмотрения причин и следствий аварий. Расследование любой аварии обычно начинается с рассмотрения проектной документации и продолжается анализом внутренней документации самого предприятия – технологических регламентов, рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности, других материалов.

Хотя такой анализ применительно к аварийному объекту уже запоздал, он все же позволяет экспертно выявить не только причины самих аварий, но и возможные недоработки нормативной базы. Количественный анализ несостоявшихся или нереализованных требований норм возможен только экспертным путем, что, безусловно, опирается на фактические результаты расследования причин и динамики развития аварий.

Здесь в полной мере применим принцип «практика - критерий истины». Нормы – это живой организм, составная часть непрерывного развития общества.

Немаловажным фактором является взаимодействие ведомств, имеющих непосредственное отношение к разработке, рассмотрению и согласованию нормативной документации, а позже - к контролю деятельности ОПО. Это прежде всего относится к деятельности Ростехнадзора, противопожарной службы МЧС РФ и службы Главного санитарного врача РФ. Безусловно, трактовка всех нормируемых показателей различными специалистами (проектировщиками, разработчиками технологических процессов, эксплуатационным персоналом, экспертами проектной документации и контрольными службами, а также в необхо-

димых пределах и страховыми службами) должна быть однозначной, причем все нормируемые показатели должны иметь ясный физико-химический, механический и технический смысл, отражать характерные свойства, влияющие на работу технологической системы и включенного в нее оборудования. Поэтому в целях нормирования общих указаний бывает недостаточно, а требуется определить диапазон значений, верхнюю и/или нижнюю границу показателей, в пределах которых техническое решение можно считать приемлемым.

Взаимодействие между разработчиком норм и другими заинтересованными сторонами должно строиться на четкой адресности и оперативности ответов на различные запросы.

Не стоит забывать и о участии населения в формировании нормативной базы. И если непосредственно на сами нормативные требования население вряд ли способно повлиять, то оказать влияние на проектную документацию, учитывающую те или иные положения норм, вполне возможно.

В России учет мнения населения при подготовке к началу строительства того или иного объекта может реализоваться через общественные слушания. Общественные слушания являются одним из видов общественной экологической экспертизы, которая организуется по инициативе общественных организаций (объединений) и граждан, органов местного самоуправления.

Общественные слушания являются двухсторонним процессом, в котором участвуют общественность и заказчик объекта воздействий на окружающую среду. Основным недостатком общественных слушаний считают их позднюю организацию, когда разработана проектная, а иногда и рабочей документации уже завершена, с большими финансовыми и трудовыми затратами. В силу этого, не вынося решений об остановке проекта, общественные слушания в подавляющем большинстве случаев или формально подтверждают основные проектные решения или приводят к «косметической» доработке проекта.

В случае реальной заинтересованности населения узнать возможные последствия реализации проекта, оценить его влияние на окружающую природную среду и население, ознакомиться с перспективой хозяйственной деятельности предприятия такие общественные слушания могут вполне оправдать себя.

В последние годы развивается такое направление совершенствования отечественных норм, как гармонизация с зарубежными. Так например, внедряются иностранные методики и программы расчета последствий аварий на ОПО, происходит актуализация классификации взрывоопасных зон по аналогии с европейской, изменяются некоторые подходы в области обеспечения взрывобезопасности объектов и др. Это позволяет иностранным проектировщикам говорить с российскими на одном техническом языке.

Тем не менее, при сохраняющейся тенденции на гармонизацию отечественных и зарубежных норм, между ними имеется ряд существенных отличий. Некоторые из них, за исключением связанных с экологической нормативной базой, которые были рассмотрены в предыдущей теме, представлены ниже.

1. По промышленной безопасности - оценка зон поражения в результате взрывов на ОПО. Согласно американским стандартам собственник предприятия может выбрать как метод оценки расположения зданий и сооружений либо подход, основанный на оценке последствий, либо подход, основанный на оценке рисков.

В первом случае для каждого здания принимается во внимание воздействие наихудшего вероятного события, независимо от его периодичности. Данный подход, основанный на оценке последствий наихудшего вероятного события, может привести к получению слишком больших ударных нагрузок, приспособить под которые защищаемые здания будет невозможно или очень дорого. Такой подход фактически используется крайне редко.

Во втором случае во внимание принимаются последствия и периодичность всех вероятных сценариев взрыва, воздействующих на строительные конструкции здания. Обычно принимается наиболее достоверное событие - утечка продукта через отверстие 100 мм<sup>2</sup>. Такой размер отверстия охватывает статистическое большинство утечек продуктов – около 75 % , зафиксированных в общей базе данных.

В отечественной практике наиболее часто применяется как раз подход, при котором учитывается полное разрушение аппарата (блока). Хотя в последнее время в различные нормативные документы стали включать сведения о частотах разгерметизации оборудования и рекомендовать в расчетах учитывать наиболее

вероятный сценарий аварий, окончательного перехода на использование подхода, связанного с оценкой риска, не произошло.

2. По промышленной безопасности – система страхования. В США страхование промышленных предприятий является обязательным. Собственник опасного производства заинтересован в страховке своего имущества и ответственности на случай инцидента. В России обязательно страхуется только ответственность перед третьими лицами. Величина страховых взносов в США значительно и напрямую зависит от выбранного уровня приемлемого риска, качества системы управления безопасностью на предприятии и применяемых инженерно-технических решений. Со своей стороны страховщик уделяет очень большое внимание детальнейшему аудиту всех систем предприятия, в результате чего даже самая мелкая техническая неисправность или организационный просчет ведут к росту страховых премий или вообще отказу от заключения сделки.

Фактически такой подход охватывает все различные подходы к обеспечению спектра безопасности в целом: от взрывов, пожаров, экологических аварий, природных аномалий. Он способствует тому, что предприятие уделяет значительное внимание предупреждению аварий, внедряет более совершенные системы контроля и автоматизации процесса для максимального исключения человеческой ошибки. Такой механизм позволяет американской отрасли, по сути самой контролирующей свою деятельность, в целом справляться с задачей обеспечения безопасности. При этом, применяемая в США страховая система, в виду своей строгости, не требует издания законов и подзаконных актов на уровне первых лиц государства.

3. По пожарной безопасности – противопожарные разрывы как внутри производств, так и между производствами и жилыми зданиями, объектами социальной инфраструктуры и т.д. Основным отличием отечественных требований по противопожарным разрывам от требований зарубежных документов, является то, что в российских нормах расстояние между объектами устанавливается в целом без рассмотрения отдельной составляющей единицы (аппарата, оборудования), например, от склада до соседних объектов в зависимости от общей вместимости склада, в то время, как в иностранных нормах учитывается максимальная вместимость единицы оборудования, будь то технологическая емкость с ЛВЖ или резервуар хранения СУГ.

**Тема 14.**  
**Сведения об организации проектирования**  
**производственных объектов. Состав проектной**  
**документации, стадии проектирования,**  
**система лицензирования**

Следует различать проектную, рабочую и конструкторскую документацию. Конструкторская документация используется предприятиями для производства каких-либо изделий. Она включает в себя комплекс текстовых и графических материалов, регламентируемый ГОСТ: сборочный и габаритный чертежи, чертежи отдельных деталей, техническое описание, спецификации, ведомости, пояснительную записку. В ее составе может быть учтены патенты и т.н. ноу-хау. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) определяет виды и комплектность этих документов.

В отличие от конструкторской документации проектная документация – это комплект, раскрывающий смысл проекта предприятия, здания, сооружения и обосновывающий цель и причину его реализации: архитектурные, конструктивные, технологические, инженерно – технические и др. решения, соответствующие нормативным требованиям, воплощаемые в т. н. рабочую документацию (по которой строится и монтируется объект, а после ввода – осуществляется его эксплуатация).

Проектная документация выполняется при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов.

Предшествовать процессу выполнения проектной документации может разработка технико-экономического обоснования инвестиций (ТЭОИ, ТЭО) – документа, обосновывающего необходимость и экономическую целесообразность строительства данного объекта. В настоящее время ТЭОИ не является обязательным к разработке документом и может быть выполнено по желанию заказчика.

Состав проектной документации определен п. 12 статьи 48 Градостроительного кодекса РФ и включает в себя следующие разделы:

- 1) пояснительная записка;
  - 2) схема планировочной организации земельного участка, выполненная в соответствии с градостроительным планом земельного участка
  - 3) архитектурные решения;
  - 4) конструктивные и объемно-планировочные решения;
  - 5) сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений;
  - 6) проект организации строительства объектов капитального строительства;
  - 7) проект организации работ по сносу или демонтажу объектов капитального строительства, их частей (при необходимости);
  - 8) перечень мероприятий по охране окружающей среды;
  - 9) перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности;
  - 10) перечень мероприятий по обеспечению доступа инвалидов
  - 11) требования к обеспечению безопасной эксплуатации объектов капитального строительства;
  - 12) мета на строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объектов капитального строительства
  - 13) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений, сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов
  - 14) иная документация при необходимости (декларация промышленной безопасности, перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и др.)
- Проектная документация линейных объектов (магистральные трубопроводы, автодороги, линии электропередач и др.) включает следующие разделы: пояснительную записку; проект полосы отвода; технологические и конструктивные решения линейного объекта; здания, строения и сооружения, входящие в инфраструктуру линейного объекта; проект организации строительства; проект организации работ по сносу (демонтажу) линейного объекта; мероприятия по охране окружающей среды; мероприятия по обеспечению пожарной безопасности; смета на строительство.

Состав и содержание разделов проектной документации, в т.ч. применительно и к линейным объектам, определены Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Подготовке проектной документации предшествуют инженерные изыскания - изучение природных условий и факторов техногенного воздействия в целях рационального и безопасного использования территорий и земельных участков в их пределах. Не допускаются подготовка и реализация проектной документации без выполнения соответствующих инженерных изысканий.

На основании согласованной и утвержденной проектной документации разрабатывается рабочая документация. Рабочая документация - совокупность текстовых и графических документов, обеспечивающих реализацию принятых в утвержденной проектной документации технических решений объекта капитального строительства, необходимых для производства строительных и монтажных работ, обеспечения строительства оборудованием, изделиями и материалами и (или) изготовления строительных изделий.

Оформление проектной и рабочей документации осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 21.1101-2013 «СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации». Как правило, разрабатывать проектную документацию могут индивидуальные предприниматели или юридические лица (проектные организации), имеющие выданные саморегулируемой организацией свидетельства о допуске к работам, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. Перечень таких работ определен Минрегионом РФ.

Основными целями саморегулируемых организаций являются:

- предупреждение причинения вреда жизни или здоровью физических лиц, имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений, объектам культурного наследия вследствие недостатков работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства и выполняются членами саморегулируемых организаций;
- повышение качества выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования,



строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства.

Проектные организации в большинстве случаев специализируются на определенной области проектирования:

- проектирование жилых (гражданских) объектов и части объектов вспомогательной инфраструктуры производственных объектов;

- проектирование отраслевых объектов, в т.ч.:

- химии, нефтехимии, нефтегазопереработки;

- металлургии;

- энергетики;

- магистрального транспорта;

- угольной промышленности и т. д.

Специалисты организаций, занимающиеся проектированием ОПО, должны проходить аттестацию в органах Ростехнадзора. Применительно к ОПО также существуют такие виды документации, как: документация на техническое перевооружение, документация на консервацию и ликвидацию.

Под техническим перевооружением понимаются приводящие к изменению технологического процесса на ОПО внедрение новой технологии, автоматизация ОПО или его отдельных частей, модернизация или замена применяемых на ОПО технических устройств. Документация на техническое перевооружение, как правило, разрабатывается в виде рабочей документации с дополнением ее пояснительной запиской, отражающей все принципиальные решения. Также в состав документации на техническое перевооружение может быть включена декларация промышленной безопасности.

При выводе ОПО в длительный останов (консервация) или при его ликвидации разрабатывается документация на консервацию / ликвидацию ОПО, отражающая комплекс организационных и технических мер, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность при остановке (ликвидации) объекта.

В процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта, технического перевооружения, консервации и ликвидации ОПО организации, разработавшие соответствующую документацию, в установленном порядке осуществляют авторский надзор.

В настоящее время распространено так называемое проектирование «под ключ», когда одна организация выполняет полный спектр проектных работ, начиная от изысканий и заканчивая сдачей готового объекта заказчику. В некоторых случаях это может быть иностранная организация, которая ввиду отсутствия необходимых разрешительных документов, нанимает на субподряд российскую фирму для доведения проекта до требований отечественных норм.

## **Тема 15.**

### **Основные особенности согласования и утверждения проектной документации**

Первым этапом проектирования, часто начинающегося еще до выбора заказчиком проектной организации, служит составление задания на проектирование (технического задания). Задание на проектирование содержит основные технические решения, которые должны быть предусмотрены в проекте, и необходимые для работы проектировщика исходные данные для проектирования. В настоящее время, когда проектировщик выбирается на конкурсной (тендерной) основе, техническое задание готовят службы заказчика.

Как правило, проектные решения должны по ходу проектирования согласовываться заказчиком (иногда не единожды). К рассмотрению предварительных решений и окончательного варианта документации могут привлекаться специалисты, соответствующие назначению проекта. Многим проектным работам предшествуют длительные обследования на площадке проектируемого объекта.

Применительно к ОПО в последнее время все больше внедряется такой инструмент анализа и оценки проектных решений с точки зрения безопасности, как метод анализа опасности и работоспособности (в иностранной практике – HAZOP). Для его реализации формируется рабочая группа, состоящая из представителей заказчика, проектировщиков по отдельным разделам проекта (технология, автоматизация и др.). При необходимости в состав группы могут включаться специалисты экспертных организаций, надзорных органов.

Применение данного метода предпочтительно на промежуточных и завершающих стадиях разработки проекта, на которых прорабатываются основные конструктивные и технологические решения. Этим методом исследуются опасности отказов технических устройств, отклонений технологических параметров (температуры, давления, состава материальной среды) от регламентных режимов.

Согласованная проектная документация на строительство, реконструкцию объекта, как правило, совместно с результатами инженерных изысканий, проходит государственную или негосударственную экспертизу. Государственной экспертизе подлежит документация на строительство, реконструкцию особо опасных, технически сложных и уникальных объектов.

К особо опасным и технически сложным объектам относятся: объекты использования атомной энергии; гидротехнические сооружения первого и второго классов; ОПО 1-го и 2-го классов опасности, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества; ОПО, на которых получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 кг и более; ОПО, на которых ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых, метрополитены и др.

К уникальным объектам относятся объекты, в проектной документации которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик: высота более чем 100 м; пролеты более чем 100 м; наличие консоли более чем 20 м; заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м.

Заказчик по своему выбору направляет проектную документацию и результаты инженерных изысканий на государственную экспертизу или негосударственную экспертизу, за исключением случаев, в которых обязательна государственная экспертиза.

Из приведенных выше сведений следует, что проектная документация на строительство, реконструкцию ОПО может подлежать как государственной, так и негосударственной экспертизе.

Документация на техническое перевооружение ОПО, документация на консервацию и ликвидацию ОПО подлежит экспертизе промышленной безопасности.

Отдельно стоит сказать о сметной документации. Сметы являются обязательными к разработке и проходят экспертизу (государственную/негосударственную) в случае если объект строительства финансируется за счет средств различных бюджетов. Для определения сметной стоимости строительства объекта составляется сметная документация, состоящая из локальных смет, локальных сметных расчетов, объектных смет, объектных сметных расчетов, сметных расчетов на отдельные виды затрат, сводных сметных расчетов стоимости строительства (ремонта), сводок затрат и др.

Локальные сметы относятся к первичным сметным документам и составляются на отдельные виды работ и затрат по зданиям и сооружениям или по общеплощадочным работам на основе объемов, определившихся при разработке рабочей документации.

Локальные сметные расчеты составляются в случаях, когда объемы работ и размеры затрат окончательно не определены и подлежат уточнению на основании рабочей документации, или в случаях, когда объемы работ, характер и методы их выполнения не могут быть достаточно точно определены при проектировании и уточняются в процессе строительства.

Объектные сметы объединяют в своем составе на объект в целом данные из локальных смет и относятся к сметным документам, на основе которых формируются договорные цены на объекты. Объектные сметные расчеты объединяют в своем составе на объект в целом данные из локальных сметных расчетов и локальных смет и подлежат уточнению, как правило, на основе рабочей документации.

Расценки на строительные (ремонтные) работы, монтаж оборудования и пусконаладочные работы по уровню применения подразделяются на федеральные единичные расценки (ФЕР), территориальные единичные расценки (ТЕР) и отраслевые единичные расценки (ОЕР).

Сборники ФЕР содержат полный набор расценок по видам работ, выполняемым на территории Российской Федерации, и разрабатываются в основном уровне цен для 1-го базового района (Московской области). В сборники ТЕР включаются единичные расценки, привязанные к местным условиям строительства, которые применяются при строительстве в пределах территории административного образования Российской Федерации (региона). Сборники ОЕР разрабатываются для специализированных видов строительства (энергетическое, транспортное, водохозяйственное, горнокапитальное, газопроводы, связь, отдельные виды промышленных объектов и т.п.).

### **Тема 16.**

#### **Организация на действующих предприятиях служб контроля основных требований промышленной и экологической безопасности.**

##### **Характеристика требований к объектам службы.**

##### **Сведения об организации служб аналитического контроля на действующих опасных производственных объектах химической, нефтехимической и нефтегазоперерабатывающей промышленности**

На крупных предприятиях могут создаваться службы промышленной безопасности, возглавляемые заместителем первого руководителя, и экологической безопасности (иногда эти службы объединены). Эти службы курируют правильность оформления проектной документации на стадии ее разработки и внутриобъектовой (внутризаводской) документации в процессе эксплуатации: технологических регламентов на производство продукции, инструкций по промышленной безопасности, планов мероприятий по локализации и ликвидации аварий, деклараций промышленной безопасности, томов ПДВ и др. материалов (в т.ч. учитывать сроки их обновления).

Служба промышленной безопасности обязана организовывать и осуществлять производственный контроль за соблюдением требований промышленной безопасности, направлять сведения об организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности в письменной форме либо в форме электронного документа в Ростехнадзор или его

территориальные органы ежегодно до 1 апреля соответствующего календарного года.

Организации, эксплуатирующие ОПО 1-го или 2-го класса опасности, обязаны создать системы управления промышленной безопасностью и обеспечивать их функционирование.

Системы управления промышленной безопасностью обеспечивают:

- определение целей и задач организаций, эксплуатирующих ОПО, в области промышленной безопасности, информирование общественности о данных целях и задачах;
- идентификацию, анализ и прогнозирование риска аварий на ОПО и связанных с такими авариями угроз;
- планирование и реализацию мер по снижению риска аварий на ОПО, в том числе при выполнении работ или оказании услуг на ОПО сторонними организациями либо индивидуальными предпринимателями;
- координацию работ по предупреждению аварий и инцидентов на ОПО;
- осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности;
- безопасность опытного применения технических устройств на ОПО;
- своевременную корректировку мер по снижению риска аварий на ОПО;
- участие работников организаций, эксплуатирующих ОПО, в разработке и реализации мер по снижению риска аварий на ОПО;
- информационное обеспечение осуществления деятельности в области промышленной безопасности.

Организации, эксплуатирующие ОПО, обязаны заключать с профессиональными аварийно-спасательными службами или с профессиональными аварийно-спасательными формированиями договоры на обслуживание, а в некоторых случаях создавать собственные.

На ОПО 1-го и 2-го классов опасности, а также на ОПО 3-го класса опасности, отнесенных в установленном порядке к категориям по гражданской обороне, создают и поддерживают в состоянии готовности нештатные аварийно-спасательные формирования из числа работников.

Пожарная безопасность ОПО обеспечивается за счет заключения договоров с пожарными частями, а на некоторых крупных предприятиях вопрос пожарной охраны решается путем создания самостоятельной пожарной части (для обеспечения нормативного времени прибытия пожарной команды на объект в случае пожара).

Аналитический контроль на производственных объектах осуществляется двумя видами лабораторий:

- центральная заводская лаборатория (ЦЗЛ) или даже управление научно-исследовательскими и опытными работами (УНИОР);

- службы, входящие в состав отдела технического контроля. Данными службами может осуществляться контроль входящего исходного сырья и товарной продукции.

Особое внимание при реализации аналитического контроля уделяется пробоотборным устройствам. Основные требования, предъявляемые к ним: герметичность, прочность, легкость, простота в эксплуатации. Особенно это касается пробоотборников для СУГ, ЛВЖ, ГЖ, продуктов 1-го и 2-го классов опасности. Определенные требования по промышленной и пожарной безопасности предъявляются к местам (помещениям) хранения проб.

В настоящее время во многих схемах сложных технологических процессов установлены поточные анализаторы (часто – хроматографы, плотномеры и др.). Показания этих приборов позволяют по программам осуществлять автоматическое управление процессом. При этом значение ручных методов контроля постоянно снижается, а значение качества программирования резко растет.

Также в обязанности служб аналитического контроля входит анализ воздуха рабочей среды на содержание в нем вредных веществ. Для сокращения количества ручных анализов и в то же время постоянного контроля загазованности по предельно допустимой концентрации и нижнему концентрационному пределу распространения пламени на предприятиях в местах возможного выделения вредных и взрывоопасных газов и паров предусматриваются средства автоматического газового контроля и анализа с сигнализацией, срабатывающей при достижении предельно допустимых величин, и с выдачей сигналов в систему противоаварийной автоматической защиты. Все случаи загазованности должны регистрироваться приборами с автоматической записью и документироваться.

## **Тема 17.**

**История возникновения и развития аналитической химии как средства связи широкого спектра химических технологий и наук всех направлений с окружающей средой.**

**Краткая история различных методов анализа в увязке с различными направлениями химической науки и техники**

Аналитическая химия – первооснова всей химии, двигатель развития всех химических наук. Многие применяемые в ней приёмы относятся к эпохе алхимии, одной из главных задач которой было определение состава различных природных веществ и изучение процессов их взаимных превращений.

В первой половине XVII в. англо-ирландский химик Роберт Бойль ввел термин химический анализ. Самостоятельной наукой аналитическая химия стала лишь после работ М. В. Ломоносова, открывшего закон сохранения масс, позволивший ввести количественный учет при химических процессах. То есть до середины XIX в. исследования в основном были направлены на познание химического состава веществ, открытие новых веществ и их комбинаций.

С середины XIX в. стали развиваться органическая химия, физическая химия, затем химическая технология. К концу XX в. аналитическая химия стала междисциплинарной наукой, самым тесным образом связанной с физикой, математикой, информатикой, биологией, генетикой, медициной, экологией. С развитием программирования аналитическая химия стала не отделима от компьютерных технологий.

Таким образом был пройден путь от органолептики и взвешивания через применение качественных реакций (гравиметрия, титриметрия), методов потенциометрии, полярографии, спектроскопии, фотометрии к хроматографии, масс-спектрометрии, иммуноанализу, рентгеноסקопии, резонансным методам.

Гравиметрия заключается в выделении определяемого вещества с помощью реакции осаждения в чистом виде и его взвешивании.



Титриметрия – метод, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для реакции с определяемым веществом. Среди титриметрических методов анализа выделяют: протолитометрию (кислотно-основное титрование), редоксиметрию (окислительно-восстановительное титрование), комплексометрию и осадительное титрование.

Потенциометрия основана на измерении электродвижущих сил обратимых гальванических элементов и применяется для определения концентрации ионов в растворе.

Полярография – электрохимический метод качественного и количественного анализа, основанный на измерении предельно диффузионного тока.

Спектроскопия – раздел физики, изучающий электромагнитные излучения, начало которому фактически положил Исаак Ньютон в 1666 г., разложив солнечный свет в спектр.

Фотометрия включает спектрофотометрию, фотоколориметрию и визуальную фотометрию. Фотометрия основана на поглощении электромагнитного излучения анализируемым веществом.

Хроматография – метод разделения и определения состава смеси, основанный на разной степени поглощения компонентов в смеси движущейся фазы и неподвижной фазы. Выделяют следующие виды хроматографии: адсорбционная, ионообменная, бумажная, тонкослойная, гель-фильтрационная и аффинная (последний метод основан на химических реакциях).

Иммуноанализ – полуколичественный метод определения содержания веществ в очень низких концентрациях. Основа метода – реакция «антиген-антитело». Антитела – растворимые молекулы белков. Антиген – высокомолекулярное соединение, способное связываться с антителом. Разновидности иммуноанализа: радиоиммунный анализ, хемилюминесцентный анализ, иммуноферментный анализ. Области применения: медицина, биология, ветеринария.

Резонансные методы исследования (ядерный гамма-резонанс или эффект Мессбауэра) основаны на том, что подвергая вещество периодическому внешнему воздействию с различными частотами по оптимальному «отклику» системы, наступающему при резонансе, выделяют характерные собственные частоты молекул, атомов и.т.д. Метод широко используется при отработках новых технологий в широком интервале температур при получении металлических и керамических материалов.

Термин «резонанс» – частотно-избирательный отклик системы на периодическое внешнее воздействие. При совпадении частоты колебаний внешнего воздействия резко возрастает амплитуда собственных колебаний.

На основе представленных выше формулировок можно проследить как с развитием науки и техники усложнялись методы химического анализа.

Само понятие современной химической технологии невозможно представить без аналитической химии.

## Варианты заданий к практической работе № 1

### Вариант 1

На нефтехимическом предприятии происходит полное разрушение отгонной колонны с **пропиленом** объемом  $3170 \text{ м}^3$ . В результате выброса газовой фазы, мгновенного вскипания и испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит около 10 % продукта, содержащегося в аппарате. На расстоянии 200 м от эпицентра взрыва располагается складское кирпичное здание, в котором находятся 5 человек обслуживающего персонала. Оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- аппарат на 20 % заполнен жидкостью, на 80 % – газом; давление - 1,8 МПа, температурные условия соответствуют давлению паров;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – среднезагроможденное.

### Вариант 2

На складе СУГ происходит полное разрушение шарового резервуара для хранения **бутадиена** объемом  $600 \text{ м}^3$ . В результате выброса газовой фазы, мгновенного вскипания и испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит 10 % продукта, содержащегося в резервуаре. На расстоянии 200 м от взрыва располагается промышленное здание цеха с легким каркасом, в котором находятся 10 человек обслуживающего персонала. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- резервуар на 80 % заполнен жидкостью, на 20 % - газом; давление – 0,3 МПа; температурные условия соответствуют давлению паров;

- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – среднезагроможденное.

### Вариант 3

На заводе по производству синтетического каучука происходит полное разрушение ректификационной колонны с **бутиленом** объемом 200 м<sup>3</sup>. В результате выброса газовой фазы, мгновенного вскипания и испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит 10 % продукта, содержащегося в колонне. На расстоянии 200 м от эпицентра взрыва располагается железобетонное монолитное здание операторной, в которой находятся 4 человека. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- колонна на 10 % заполнена жидкостью, на 90 % - газом; давление – 1,2 МПа, температурные условия соответствуют давлению паров;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – сильнозагроможденное.

### Вариант 4

На газодобывающем предприятии происходит полное разрушение сепаратора газа - **метана** объемом 80 м<sup>3</sup>. Во взрывоопасное облако переходит все количество продукта, содержащегося в аппарате. На расстоянии 25 м от эпицентра взрыва расположено одноэтажное складское здание с металлическим каркасом, в котором находятся 3 человека. Оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений

При расчете принять:

- сепаратор на 100 % заполнен газом; давление – 1,0 МПа, температура – 25 °С;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – среднезагроможденное.

### Вариант 5

На нефтеперерабатывающем предприятии происходит полное разрушение резервуара с легковоспламеняющейся жидкостью (**бензин**) объемом  $5000 \text{ м}^3$ . В результате испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит 0,5 % продукта, содержащегося в резервуаре. На расстоянии 500 м от эпицентра взрыва располагается одноэтажное складское здание с металлическим каркасом, в котором находятся 6 человек обслуживающего персонала. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- резервуар на 100 % заполнен жидкостью, температура –  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – среднезагроможденное.

### Вариант 6

На складе химического предприятия происходит полное разрушение резервуара с легковоспламеняющейся жидкостью (**метанол**) объемом  $20000 \text{ м}^3$ . В результате испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит 3 % продукта, содержащегося в резервуаре. На расстоянии 500 м от эпицентра взрыва располагается здание котельной, в которой находятся 3 человека обслуживающего персонала. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- резервуар на 100 % заполнен жидкостью, температура –  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – слабозагроможденное.

### Вариант 7

На нефтехимическом предприятии происходит полное разрушение емкости с **акрилонитрил** объемом  $100 \text{ м}^3$ . В результате испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит  $3 \cdot 10^{-2} \%$  продукта, содержащего в емкости. Взрыв произошел на расстоянии 20 м от кирпичного здания операторной, в котором находятся 3 человека обслуживающего персонала. Оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- емкость на 85 % заполнена жидкостью, газовую фазу при расчете не учитывать, температура –  $40^\circ\text{C}$ ;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства - сильнозагроможденное

### Вариант 8

На химическом предприятии происходит полное разрушение цистерны с **бензолом** объемом  $72,5 \text{ м}^3$ . В результате испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит  $5 \cdot 10^{-2} \%$  продукта, содержащегося в цистерне. На расстоянии 20 м от эпицентра взрыва располагается промышленное здание цеха с легким каркасом, в котором находятся 5 человека обслуживающего персонала. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- цистерна на 100 % жидкостью, температура –  $25^\circ\text{C}$ ;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – сильнозагроможденное.

### Вариант 9

На химическом предприятии происходит полное разрушение цистерны с **сероуглеродом** объемом  $72,5 \text{ м}^3$ . В результате испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит  $6 \cdot 10^{-2} \%$  продукта, содержащегося в цистерне. На расстоянии 50 м от эпицентра взрыва располагается одноэтажное складское зда-

ние с металлическим каркасом, в которой находятся 5 человек обслуживающего персонала. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- резервуар на 90 % заполнен жидкостью, газовую фазу при расчете не учитывать, температура – 25 °С;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – слабозагроможденное.

### Вариант 10

При транспортировке автоцистерны объемом 25 м<sup>3</sup>, содержащей **сжиженный пропана**, произошло ее полное разрушение. В результате мгновенного вскипания и испарения из пролива во взрывоопасное облако переходит все топливо, находящееся в цистерне. На расстоянии 50 м от аварии расположено кирпичное здание цеха, в котором находятся 18 человек обслуживающего персонала. Требуется оценить избыточное давление, импульс на указанном расстоянии; степень разрушения здания и возможное количество пострадавших с использованием пробит-функции и табличных значений.

При расчете принять:

- автоцистерна на 100 % жидким пропаном, давление 1,6 МПа, температурные условия соответствуют давлению паров;
- концентрация горючего вещества в облаке равна стехиометрической;
- вид окружающего пространства – слабозагроможденное.

## Варианты заданий к практической работе № 2

### Вариант 1

На химическом предприятии ясной ночью при температуре 0 °С и скорости ветра 3 м/с происходит полное разрушение емкости с жидким хлором объемом 25 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ – свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 5 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 100

человек, 70 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 2**

На нефтеперерабатывающем предприятии днем (сплошная облачность) при температуре воздуха 0 °С и скорости ветра 5 м/с, происходит выброс газа - сероводорода объемом 3500 м<sup>3</sup>. На расстоянии 100 м от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается производственное здание, в котором находятся 20 человек персонала (обеспеченность противогазами 50 %). Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 3**

На нефтехимическом предприятии вечером (при сплошной облачности) при температуре 20 °С и скорости ветра 7 м/с происходит разрушение емкости с окисью этилена объемом 20 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ – свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 1,5 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 50 человек, 30 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 4**

На химическом предприятии ночью (сплошная облачность) при температуре воздуха 20 °С и скорость ветра 1 м/с происходит полное разрушение изотермического хранилища жидкого аммиака объемом 600 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ – свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 4 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 200 человек, 50 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны



поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 5**

На химическом предприятии ясным днем при температуре 20 °С и скорости ветра 5 м/с происходит полное разрушение емкости с концентрированной соляной кислотой объемом 40 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ – свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 1 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается административный корпус, в котором находятся 40 человек персонала (обеспеченность противогазами 40 %). Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 6**

На предприятии по производству синтетического каучука ясным днем при температуре 20 °С и скорости ветра 1 м/с происходит полное разрушение цистерны с акрилонитрилом объемом 72,5 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ – свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 1 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 100 человек, 50 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 7**

На обрабатывающем предприятии ясной ночью при температуре 0 °С и скорости ветра 2 м/с происходит полное разрушение цистерны с сероуглеродом объемом 72,5 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ – свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 1 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 300 человек, 20 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объ-

екту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 8**

На предприятии по производству серной кислоты ясным днем при температуре 0 °С и скорости ветра 1 м/с происходит выброс газа – сернистого ангидрида объемом 30000 м<sup>3</sup>. На расстоянии 250 м от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается производственное здание, в котором находятся 30 человек персонала (обеспеченность противогазами 60 %). Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 9**

На газоперерабатывающем предприятии утром (при сплошной облачности) при температуре 20 °С и скорости ветра 7 м/с происходит полная разгерметизация емкости с метилмеркаптаном объемом 25 м<sup>3</sup> (заполнение 100 %). Разлитие АХОВ - свободно на подстилающей поверхности. На расстоянии 2 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 100 человек, 30 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### **Вариант 10**

На химическом предприятии ясным вечером при температуре 20 °С и скорости ветра 1 м/с происходит выброс газа – фосгена объемом 200 м<sup>3</sup>. На расстоянии 0,5 км от места аварии по направлению движения облака АХОВ располагается поселение с количеством жителей 500 человек, 20 % из которых находятся в зданиях в момент аварии. Определить глубину зоны поражения, площадь зоны фактического заражения, время подхода зараженного облака к объекту, возможные потери людей в зоне заражения при времени от начала аварии 4 ч.

### Варианты заданий к практической работе № 3

#### Вариант 1

Наиболее опасное оборудование:

- сосуд под давлением, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>;
- резервуар, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Возможные сценарии аварии при разрушении сосуда:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,8;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,95;
- **огненный шар** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,7.

Возможные сценарии аварии при разрушении резервуара:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,3, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,6;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,3.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,23), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график)

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с взрывом облака ТВС при разрушении сосуда под давлением, при условии что потери в результате разрушения производственных зданий составят 12000 тыс. р., потери товарной продукции составят 700 тыс. р., экологический ущерб составил 500 тыс. р.

## Вариант 2

Наиболее опасное оборудование:

- химический реактор, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>;
- сосуд под давлением, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>.

Возможные сценарии аварии при разрушении химического реактора:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,5, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,9;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,3.

Возможные сценарии аварии при разрушении сосуда под давлением:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,8;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,85;
- **огненный шар** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,1), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с пожаром пролива при разрушении химического реактора, при условии что потери в результате повреждения технических устройств составят 6000 тыс. р., потери товарной продукции составят 1000 тыс. р., экологический ущерб составит 700 тыс. р.

### Вариант 3

Наиболее опасное оборудование:

- цистерна, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>;
- резервуар, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Возможные сценарии аварии при разрушении цистерны:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,4, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,95;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,05, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,85;
- **токсическое поражение** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5.

Возможные сценарии аварии при разрушении резервуара:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,8;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,3.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,1), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным со взрывом облака ТВС при разрушении резервуара, при условии что потери в результате разрушения сооружений предприятия составят 9000 тыс. р., потери товарной продукции составят 500 тыс. р., экологический ущерб составил 1000 тыс. р.

## Вариант 4

Наиболее опасное оборудование:

- цистерна, частота разгерметизации которого составляет  $5 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup>;
- подземный резервуар, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>.

Возможные сценарии аварии при разрушении цистерны:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,3, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,9;
- **огненный шар** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,65.

Возможные сценарии аварии при разрушении подземного резервуара:

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,65;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5;
- **токсическое поражение** с вероятностью 0,4, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,23), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с образованием огненного шара при разрушении цистерны, при условии что потери в результате порчи имущества третьих лиц составят 5000 тыс. р., потери товарной продукции составят 100 тыс. р., экологический ущерб составит 600 тыс. р.

## Вариант 5

Наиболее опасное оборудование:

- сосуд под давлением, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ ;
- технологический аппарат, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Возможные сценарии аварии при разрушении сосуда:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 5, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,9;
- **огненный шар** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,6.

Возможные сценарии аварии при разрушении технологического аппарата:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,8;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,6;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,23), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с взрывом облака ТВС при разрушении сосуда под давлением, при условии что потери в результате разрушения производственных зданий составят 20000 тыс. р., потери товарной продукции составят 300 тыс. р., экологический ущерб составит 1000 тыс. р.

## Вариант 6

Наиболее опасное оборудование:

- насос, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ;
- резервуар, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Возможные сценарии аварии при разрушении насоса:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,8;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,45.

Возможные сценарии аварии при разрушении резервуара :

- **пожар пролива** с вероятностью 0,3, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,85;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,9;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,55.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,1), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с пожаром-вспышкой при разрушении резервуара, при условии что потери в результате повреждения технологического составят 1000 тыс. р., потери товарной продукции составят 200 тыс. р., экологический ущерб составил 400 тыс. р.



## Вариант 7

Наиболее опасное оборудование:

- резервуар двустенный, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>;

- резервуар одностенный, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Возможные сценарии аварии при разрушении двустенного резервуара:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,3, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,65;

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,8;

- **огненный шар** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,55.

Возможные сценарии аварии при разрушении одностенного резервуара:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,4, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5;

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,85;

- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,1), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с взрывом облака ТВС при разрушении двустенного резервуара, при условии что потери в результате разрушения производственных зданий составят 15000 тыс. р., потери товарной продукции составят 1500 тыс. р., экологический ущерб составил 1200 тыс. р.

## Вариант 8

Наиболее опасное оборудование:

- насос, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ;
- цистерна под атмосферным давлением, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Возможные сценарии аварии при разрушении насоса:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,4, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,7;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,05, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,3, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,6.

Возможные сценарии аварии при разрушении цистерны:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,4, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,6;
- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,7;
- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,23), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным со взрывом облака ТВС при разрушении цистерны, при условии что потери в результате повреждения имущества третьих лиц 5000 тыс. р., потери товарной продукции составят 50 тыс. р., экологический ущерб составит 150 тыс. р.

## Вариант 9

Наиболее опасное оборудование:

- химический реактор, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ;
- технологический аппарат, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ .

Возможные сценарии аварии при разрушении химического реактора:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,6, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,6;

- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,25, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,5.

Возможные сценарии аварии при разрушении технологического аппарата:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,3, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,85;

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,7;

- **огненный шар** с вероятностью 0,1, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,55.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,1), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным с пожаром пролива при разрушении химического реактора, при условии что потери в результате повреждения технических устройств составят 3500 тыс. р., потери товарной продукции составят 7500 тыс. р., экологический ущерб составит 300 тыс. р.

## Вариант 10

Наиболее опасное оборудование:

- насос, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>;
- резервуар одностенный, частота разгерметизации которого составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Возможные сценарии аварии при разрушении насоса:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,5, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,75;

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,05, при этом ожидаемое количество погибших – 3, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,7;

- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,55.

Возможные сценарии аварии при разрушении одностенного резервуара:

- **пожар пролива** с вероятностью 0,35, при этом ожидаемое количество погибших – 2, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,65;

- **взрыв облака ТВС** с вероятностью 0,15, при этом ожидаемое количество погибших – 4, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,7;

- **пожар-вспышка** с вероятностью 0,2, при этом ожидаемое количество погибших – 1, условная вероятность поражения человека (для определения потенциального риска) – 0,85.

Определить потенциальный риск, индивидуальный риск (при условии вероятности присутствия работника в данной области 0,23), коллективный риск, социальный риск (построить ступенчатый график).

Рассчитать материальный риск для сценария аварии, связанным со взрывом облака ТВС при разрушении резервуара, при условии что потери в результате повреждения имущества третьих лиц 2500 тыс. р., потери товарной продукции составят 500 тыс. р., экологический ущерб составит 750 тыс. р.

Учебное издание

КУЧМЕНКО Татьяна Анатольевна  
РАЗУВАЕВ Виталий Валерьевич  
РИВИН Эрвин Михайлович

**СОВРЕМЕННАЯ ХИМИЯ  
И ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
(Теория и практика)**

Подписано в печать 07.02.2019. Формат 60х84 1/16.  
Усл. печ. л. 10,0. Тираж 50 экз. Заказ С-10.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»  
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)  
Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»  
Адрес университета и отдела полиграфии:  
394036, Воронеж, пр. Революции, 19