

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Кафедра разработки и эксплуатации месторождений  
трудноизвлекаемых углеводородов*

**Г.Р. ГАНИЕВА, А.Р. ГИМАЕВА, И.И. МАННАНОВ**

**ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ**

**Учебно-методическое пособие**

**Казань – 2024**

Ганиева Г.Р., Гимаева А.Р., И.И. Маннанов

Ганиева Г.Р. Основы надежности при строительстве и эксплуатации газонефтепроводов: учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине «Гидравлика и гидромеханика нефти и газа» и для написания дипломной работы для раздела Охрана труда и Промышленная безопасность для бакалавров по направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело / Г.Р. Ганиева, А.Р. Гимаева., И.И. Маннанов – Казань: Казанский федеральный университет, 2024. – 78 с. (Изд.2 -е, перераб.)

Учебно-методическое пособие предназначено для руководства при выполнении практических занятий по курсу "Гидравлика и гидромеханика нефти и газа" для бакалавров III курса по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профиль Разработка месторождений углеводородов.

В практических работах описываются современное состояние и пути совершенствования конструктивной и экологической надежности и безопасности в процессах добычи, подготовки, транспорта и хранения углеводородного сырья в нефтехимии.

Пособие содержит восемь типовых задач к практическим занятиям, в каждой работе дается методическое указание и методика проведения расчетов, а также приводятся теоретические вопросы для самопроверки студента. Содержание заданий соответствует учебному плану и рабочей учебной программе дисциплины.

Переиздание пособия «Промышленная экология» (уровень бакалавриат) по направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело / Г.Р.Ганиева. – Казань: Казанский федеральный университет, 2019. – 96 с

©Казанский федеральный университет, 2024

©Ганиева Г.Р., Гимаева А.Р., Маннанов И.И. 2024

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №1 ...7	
Расчет объема земляных работ при сооружении трубопроводных систем.....7	
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №2 .13	
Выбор землеройной техники и комплекта машин для транспортировки грунта» .....13	
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №3 .15	
Определение параметров внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь .....	15
Методика проведения расчетов .....	21
Задача для самостоятельного решения по лабораторному практикуму №3 .....	25
Вопросы для самоконтроля по теме 3 .....	28
4МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №4,5	
.....29	
Расчеты выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников.....29	
<i>Расчет количества вредных веществ, поступающих из газового объема трубопроводов и оборудования, находящихся под давлением .....</i>	<i>29</i>
<i>Методика проведения расчетов по заданию .....</i>	<i>31</i>
Вопросы для самоконтроля по теме 4,5 .....	46
6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №6	
.....47	
Концентрация газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода .....	47
Расчет концентрации газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода .....	49
Задание по лабораторному практикуму 6 .....	50
Вопросы для самоконтроля по теме 6 .....	52
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №7 .53	
Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом» и «мало дыхании» аппарата».....	53
Задание для самостоятельной работы по лабораторному практикуму 7.....	65
Вопросы для самоконтроля по теме 7:.....	67
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №8 .68	
Определение классификационной группы пыли по дисперсности. определение скорости витания частиц и расчет параметров пылесосадоочной камеры .....	68
<i>Определение классификационной группы пыли по дисперсности.....</i>	<i>68</i>
Методика проведения расчетов .....	70
Задание 8.1 .....	70

<i>8.3 Расчет параметров пылесадочной камеры</i> .....	72
Вопросы для самоконтроля по теме 8 .....	76
ЛИТЕРАТУРА .....	77

## **ВВЕДЕНИЕ**

Транспортировка углеводородов по в России представляет собой сложную инженерную систему с высоким энергетическим потенциалом, включающую в себя различные установки, трубопроводы и хранилища, протяженностью свыше миллиона километров. Эти трубопроводы, играющие ключевую роль во многих отраслях, могут представлять серьезные риски в случае сбоев, ведущих к экономическим и экологическим потерям. Аварии на трубопроводах, перевозящих опасные вещества, могут привести к значительному загрязнению окружающей среды и угрозе для людей.

Повреждения нефтепроводов приводят к выбросам токсичных веществ, основными источниками загрязнения атмосферы являются газы, испарения нефти и продукты сгорания. Эти загрязнения, хотя и являются местными и временными, оказывают значительное воздействие на здоровье людей и окружающую среду.

Ключевым фактором безопасности трубопроводов является их конструктивная надежность, обеспечивающая выполнение функций в течение всего срока службы. Современные требования к экологической безопасности требуют поиска новых методов и средств для поддержания высокого уровня надежности при минимальных затратах на ремонт и обслуживание.

Однако вопросы надежности трубопроводов остаются сложными и многогранными, без четко определенной теоретической основы и методологии оценки. Не существует стандартизированных подходов к расчету надежности и нет эффективных методик для оценки вероятности ошибок.

Важно разрабатывать стратегии, направленные на предотвращение аварий, а не только на устранение их последствий. Оценка надежности трубопроводов должна проводиться на всех этапах эксплуатации, включая техническую диагностику и оценку работоспособности.

Прогнозирование эксплуатационной надежности является ключевым аспектом исследований в области трубопроводов. Качество материалов, проектные решения и строительные работы должны соответствовать установленным требованиям надежности, чтобы минимизировать риски проливов, часто возникающих из-за использования некачественных материалов и нарушения технологических процессов.

Таким образом, гарантирование надежности и безопасности трубопроводов на этапах строительства и эксплуатации остается приоритетной задачей.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №1

## Расчет объема земляных работ при сооружении трубопроводных систем

Земляные работы считаются одними из самых сложных и трудоемких процессов в строительстве, часто проводимых в непростых условиях и под влиянием местного климата. В связи с этим, строители ставят перед собой задачу разработки и внедрения новых технологий, которые помогут уменьшить объемы работ на стройплощадках.

При строительстве трубопроводов земляные работы состоят из следующих процессов:

- разработка земляных сооружений;
- планировка, уплотнение и обратная засыпка;
- рекультивация (восстановление нарушенных земель).

Земляное сооружение, полученное в результате разработки грунта, является инженерным сооружением, которое создается в грунтовом массиве или строится на поверхности грунта. Земляные сооружения могут быть разделены на следующие типы:

- *по отношению к поверхности грунта* – выемки, насыпи, подземные выработки, обратные засыпки;
- *по сроку службы* – постоянные и временные;
- *по функциональному назначению* – котлованы, траншеи, ямы, скважины, отвалы, плотины, дамбы, дорожные полотна, туннели, планировочные площадки, выработки;
- *по геометрическим параметрам и пространственной форме* – глубокие, мелкие, протяженные, сосредоточенные, простые, сложные и т. д.

Характерные типы земляных сооружений представлены на рисунке 1.

К **постоянным** земляным сооружениям относят объекты, предназначенные для длительного использования, такие как земляные дамбы, каналы, основания для железных и автомобильных дорог, а также выемки и насыпи, создаваемые в ходе землеустроительных работ. В категорию **временных** сооружений входят земляные работы, связанные с закладкой фундаментов для жилищного и промышленного строительства, мостов, дамб, а также траншей для коммуникационных сетей и насыпи,

используемые для организации временных дорог и водных преград. Все земляные сооружения должны обладать необходимой устойчивостью, прочностью и быть защищенными от эрозии водой.

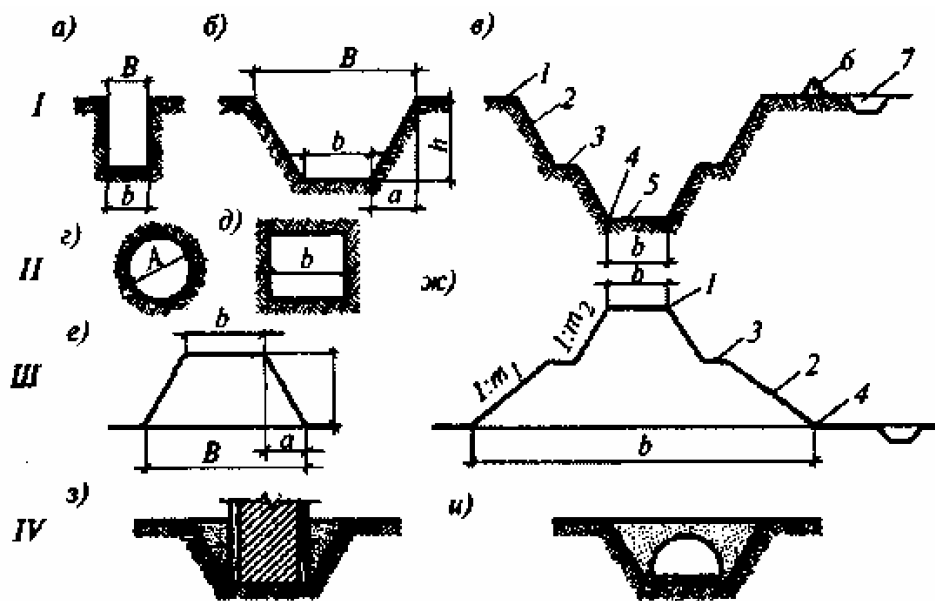


Рис. 1. Виды земляных сооружений

I – поперечный профиль выемок: а – траншея прямоугольного профиля; б – котлован (траншея) трапециевидальной формы; в – профиль постоянной выемки; 1 – бровка траншеи; 2 – откос; 3 – берма; 4 – основание откоса; 5 – дно откоса; б – банкет; 7 – нагорная канава; II – сечение подземных выработок: г – круглое, д – прямоугольное; III – профили насыпи: е – временной насыпи; ж – постоянной; IV – обратная засыпка: з – пазух котлована; и – траншеи

Выемки широкого размера свыше 3 метров именуют котлованами, в то время как более узкие, предназначенные для ленточных оснований или коммуникационных сетей, называют траншеями. Выемки под индивидуальные фундаменты или столбы классифицируют как ямы. Эти структуры обладают дном и боковыми сторонами, которые могут быть выполнены в виде наклонных склонов или вертикальных стен. Места, где добывают грунт для строительных нужд, называют резервами, а насыпи для избыточного грунта – кавальерами или отвалами. Территории для складирования строительного мусора и прочих отходов известны как свалки, а места добычи песка, щебня и других стройматериалов – карьерами. Подземные выработки – это выемки, закрытые с поверхности и предназначенные для прокладки транспортных и коммуникационных туннелей. После возведения подземных объектов (или их подземных частей) производится засыпка пазух, то есть заполнение землей пространства между конструкцией и склонами котлована.



Параметры земляных сооружений, применяемых при строительстве магистральных трубопроводов (ширина траншеи по низу и по верху, глубина траншеи, откосы, сечения насыпи, высота насыпи и крутизна откосов), устанавливается по СНиП 2.05.06.-85\* (актуал. СП 36.13330.2010) и зависит от наружного диаметра трубы, способа его закрепления, рельефа местности, грунтовых условий.

Профиль траншеи может быть выполнен в прямоугольной или трапециевидной форме. Выбор конкретного профиля определяется в зависимости от типа грунта, глубины траншеи и характеристик используемого землеройного оборудования.

#### **Выбор технологии производства земляных работ и землеройной техники:**

Произвести расчет объема земляных работ при сооружении трубопроводных систем с диаметром 820 мм и длиной 1250 м, в результате расчета подобрать землеройную технику и комплект машин для транспортировки грунта (тип грунта – супесь).

Параметры земляных сооружений, применяемых при сооружении ГНП (ширина, глубина и откосы траншеи, сечение насыпи и крутизна ее откосов и др.), устанавливают в зависимости от диаметра ( $D$ ) трубопровода, способа его закрепления, рельефа местности, грунтовых условий. Размеры траншеи (глубина, ширина по дну, откосы) устанавливают в зависимости от назначения и диаметра трубопровода, характеристики грунтов, гидрогеологических условий.

Заглубление трубопроводов до верха трубы принимать, м, не менее:

при  $D_n$  менее 1000 мм – 0,8

1000 мм и более (до 1400 мм) 1,0

на болотах или торфяных грунтах, подлежащих осушению 1,1

в песчаных барханах, считая от отметок межбарханных оснований 1,0

в скальных грунтах, болотистой местности при отсутствии проезда автотранспорта и сельскохозяйственных машин 0,6

на пахотных и орошаемых землях 1,0

при пересечении оросительных и осушительных каналов 1,1

Ширину траншеи по низу следует назначать не менее:

$D_n + 300$  мм – для трубопроводов диаметром до 700 мм;

$1,5 D_n$  – для трубопроводов диаметром 700 мм и более.

При диаметрах трубопроводов 1200 и 1400 мм и при траншеях с откосом свыше 1:0,5 ширину траншеи понизу допускается уменьшать до величины  $D_n + 500$  мм, где  $D_n$  – условный диаметр трубопровода.

При балластировке трубопроводов грузами ширину траншеи следует назначать из условия обеспечения расстояния между грузом и стенкой траншеи не менее 0,2 м или  $2,2 D_n$ .

На участке трассы с резко пересеченным рельефом местности, а также в заболоченных местах допускается укладка трубопроводов в специально возводимые земляные насыпи, выполняемые с тщательным послойным уплотнением и поверхностным закреплением грунта. При пересечении водотоков в теле насыпей должны быть предусмотрены водопропускные отверстия.

Крутизна откосов траншей под трубопровод и котлованов под трубопроводную арматуру принимается по СНиП (рисунок 2).

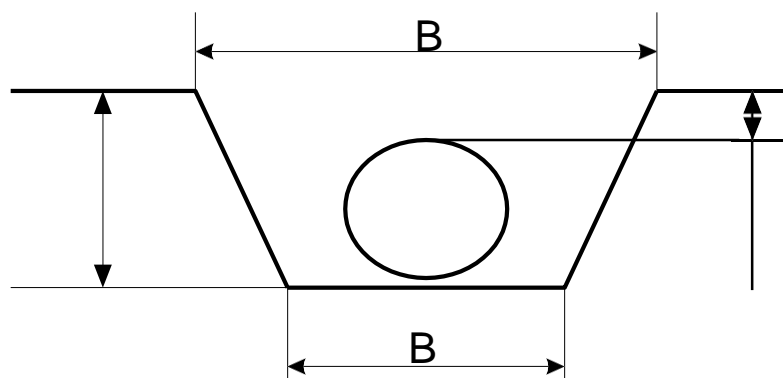


Рис.2. Параметры траншеи

Крутизна откоса – отношение глубины ( $H$ ) траншеи к проекции образующей стенки на горизонтальную плоскость.

Глубину траншеи устанавливают из условий предохранения трубопровода от механических повреждений при переезде через него автотранспорта, строительных и сельскохозяйственных машин и назначают равной: для трубопроводов диаметром  $D_n$  до 1000 м –  $D_n + 0,8$  м; для трубопроводов диаметром 1000 м и более  $D_n + 1$  м.

Методы разработки грунтов выбираются на основе различных факторов, включая параметры земляного сооружения и объемы работ, геотехнические характеристики грунтов, классификацию грунтов по сложности разработки, местные условия строительства, а также наличие

землеройного оборудования у строительных компаний. При разработке траншей с откосами объем земляных работ  $V_{зр}$  определяется:

$$V_{зр} = \frac{B_1 + B_2}{2} \cdot L \cdot H \quad (1)$$

где  $B_1$  – ширина траншеи по верху, м;

$B_2$  – ширина траншеи по низу, м;

$L$  – длина траншеи, м;

$H$  – глубина траншеи.

Определяем объем земляных работ при разработке траншей с откосами:

- ширина траншеи по низу при  $D = 820$  мм  $B_2 = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 0,82 = 1,23$  м;

- глубина траншеи при диаметре трубопровода 820 мм

$$H = D + 0,8 \quad (2)$$

$$H = D + 0,8 = 0,82 + 0,8 = 1,62 \text{ м.}$$

Ширина траншеи по верху  $B_1$  определяется по следующей формуле:

$$B_1 = B_2 + 2H/n \quad (3)$$

где  $n$  – коэффициент откоса (определяется по таблице 2).

По таблице 2 определяем коэффициент откоса  $n = 1:0,67 = 1,5$ .

Ширина траншеи по верху  $B_1$  составит  $B_1 = 1,23 + 2 \cdot 1,62 / 1,5 = 3,39$  м.

Таблица 2

#### Крутизна откосов траншеи

Тип/категория грунта	Крутизна откоса (отношение его высоты к заложению) при глубине выемки, м, не более		
	1,5	3,0	5,0
Насыпные неслежавшиеся/І	1:0,67	1:1	1:1,25
Песчаные/І	1:0,5	1:1	1:1
Супесь/ІІ	1:0,25	1:0,67	1:0,85
Суглинок/ІІІ	1:0	1:0,25	1:0,75
Глина/ІV	1:0	1:0,5	1:0,5
Лессовые/ІІІ	1:0	1:0,5	1:0,5
Скальные/V	1:0	1:0,5	1:0,5
Вечномерзлые/VI	1:0	1:0,5	1:0,5

Определяем объем земляных работ при разработке траншей с откосами по формуле:

$$V_{зр} = \frac{3,39 + 1,23}{2} \cdot 1250 \cdot 1,62 = 4677,75 \text{ м}^3.$$

Определение емкости ковша экскаватора будет зависеть от  $V$ , для этого можно воспользоваться следующими требованиями (таблица 3).

*Таблица 3*

#### Определение емкости ковша экскаватора

$V_{зр}$ (объем земляных работ)	$Q$ (емкость ковша экскаватора)
До 500	0,15
500...1500	0,24 и 0,3
1500...5000	0,5
2000...8000	0,65
6000...11000	0,8
13000...18000	1,0-1,25
Более 15000	1,5

Согласно таблице 3 минимальная емкость ковша экскаватора составит  $0,5 \text{ м}^3$ . По таблице 4 выбираем требуемый экскаватор.

*Таблица 4*

#### Перечень гидравлических экскаваторов

Наименование показателя	Вместимость ковша, $\text{м}^3$	Радиус копания, м
ЭО-2621В-3	0,25	5,3
ЭО-3323А	0,63	7,9
ЭО-3122	0,63	8,1
ЭО-3221	0,63	7,9
ЭО-4322 (ЭО-4321Б)	1(0,8)	9(8,85)
ЭО-4125А	1	9,3
ЭО-5124	1,6	10
ЭО-6123	2,5	11,6

По проведенным расчетам выбираем экскаватор ЭО-3221.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №2

### Выбор землеройной техники и комплекта машин для транспортировки грунта»

**Задание 2.1** Произвести расчет объема земляных работ при сооружении трубопровода диаметром 630 мм и выбрать землеройную технику и комплект машин для транспортировки грунта. Исходные данные:

$$D = 630 \text{ мм}$$

$$V = 250 \text{ м/ч}$$

Тип грунта – суглинок

$$L = 175 \text{ м}$$

Определяем объем земляных работ при разработке траншей с откосами по формуле 2:

- ширина траншеи по низу при  $D = 630 \text{ мм}$

$$B_2 = D + 0,3 = 0,63 + 0,3 = 0,93 \text{ м};$$

- глубина траншеи при диаметре трубопровода 630 мм

$$H = D + 0,8 = 0,63 + 0,8 = 1,43 \text{ м}.$$

Согласно таблице 2 (в предыдущей задаче) в данном случае коэффициент откоса  $n$  отсутствует, поэтому ширина траншеи по верху  $B_1$  равна ширине траншеи по низу  $B_2$ .

Определяем объем земляных работ при разработке траншеи:

$$V_{зр} = \frac{0,93 + 0,93}{2} \cdot 175 \cdot 1,43 = 232,73 \text{ м}^3.$$

Так как у разрабатываемой траншеи отсутствуют откосы, то траншея разрабатывается экскаватором роторного типа.

Тогда установочная мощность может быть определена по формуле:

$$N = k_y \cdot k_B \cdot k_p \cdot S \cdot V / 3600 \quad (4)$$

где  $k_y$  – коэффициент, учитывающий отношение времени копания к времени рабочего цикла ( $k_y = 1$ );

$k_B$  – коэффициент, учитывающий расход мощности на вспомогательные механизмы ( $k_B = 0,6-0,8$ );

$k_p$  – удельное сопротивление резанию и копанию (определяется по таблице 2);

$S$  – площадь поперечного сечения траншеи,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – скорость движения экскаватора, м/ч.

Таблица 5

Удельное сопротивление резанию и копанью ( $k_p$ )

Категория грунта	I	II	III	IV	V	VI
Коэффициент $k_p$	70-230	210-400	380-660	650-800	800-1200	1000-2200

Принимаем  $k_p = 560$ ;  $k_B = 0,75$ ;  $S = V_{зп}/L = 232,73/175 = 1,33 \text{ м}^2$ .

Тогда установочная мощность по формуле 4 составит:

$$N = 1 \cdot 0,75 \cdot 560 \cdot 1,33 \cdot 250 / 3600 = 38,79 \text{ м}^3 / \text{ч} .$$

На основании рассчитанной установочной мощности выбираем марку роторного экскаватора для земляных работ по таблице 6.

Таблица 6

Технические характеристики роторных экскаваторов

Параметры	Индекс машины		
	ЭТР-223А	ЭТР-224А	ЭТР-254А
Максимальная техническая производительность, $\text{м}^3 / \text{ч}$	650	600	1200/220
Категория разрабатываемого грунта	I-IV, мерзлые грунты при глубине промерзания до 1,2 м		I-IV, мерзлые грунты при глубине промерзания до 2,5 м
Размеры разрабатываемой траншеи, м:			
глубина	2,2	2,2	2,5
ширина по дну	1,5	0,85	2,1
по верху (с откосами)	2,58	1,85	3,8
Рабочее оборудование (тип)	навесное		полуприцепное
Базовая машина	Т-10М	Т-10М	ДЭТ-250М2
Мощность двигателя, кВт	125	125	220
Диапазон скоростей рабочего хода, м/ч	10...300	10...300	12...1210
Транспортные скорости, км/ч	1,5...4,2	1,5...4,2	0,5...5,75
Диаметр ротора по зубьям ковшей, мм	3830	3830	4410

**Вывод:** Для раскопки траншеи под трубопровод диаметром 630 мм необходимо использовать роторный экскаватор ЭТР-223А с глубиной копания 2,2 м, диаметром ротора 3830 мм и мощностью 650  $\text{м}^3 / \text{ч}$ .

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №3

## Определение параметров внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь

### Цель работы:

1. Ознакомиться с методикой определения параметров внутренней среды.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении данных расчетов.

### Общие положения

Ежегодно в атмосферу из технологических оборудования сбрасывается большое количество газов, содержащие вредные вещества. Для определения объемов вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу технологическим оборудованием, требуется понимание основных характеристик химических соединений и их смесей. [1,2].

Плотность жидкости при температуре, отличающийся от 20<sup>0</sup>С, рассчитывается по формуле

$$\rho_{iж} = \rho_{0ж} \frac{1}{1 + \beta_i(T - T_0)} \quad (5)$$

$\beta_i$  – коэффициент температурного расширения, выражающий относительное увеличение объема жидкости при увеличении температуры на 1 градус.

Коэффициент температурного расширения капельных жидкостей незначителен.

При  $t=10 - 20$  <sup>0</sup>С и  $P=100$  кПа, коэффициент температурного расширения для воды

$$\beta = 0,00015 (1/^0\text{C})$$

Количества вредных веществ, выделяющихся из оборудования и трубопроводов, можно принять:

$$\rho_{tж} = \rho_{0ж}$$

Плотность газа или пара при  $t=0$  <sup>0</sup>С и  $P_0=100$  кПа рассчитывают по формуле:

$$\rho_0 = \frac{M}{22,4} \text{ кг/м}^3 \quad (6)$$

$M$  – относительная молекулярная масса вещества, (кг/кмоль)

22.4 – объем 1 кмоль газа или пара при н.у., м<sup>3</sup>

Для определения плотности газа или пара при температуре  $t \neq 0$  °С и давлении  $P \neq 100$  кПа используют уравнение Клапейрона:

$$\rho_{tr} = \rho_{0r} \frac{T_0 P}{T P_0} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{273 \cdot P}{P_0 \cdot T} \quad (7)$$

Динамическую вязкость газов и паров при  $t \neq 0$  °С рассчитывают по формуле:

$$\mu_{tr} = \mu_{0r} \frac{273 + Sat}{T + Sat} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,5} \quad (8)$$

Где  $Sat$  – константа Сатерленда (Таблица 1)

В практических расчетах для расчета динамической вязкости жидкости при  $t \neq 0$  °С при определении количества вредных веществ, выделяющихся через неплотности соединений трубопроводов и оборудования, применяется формула Пуазейля:

$$\mu_{tж} = \frac{\mu_{0ж}}{1 + 0,0368t + 0.000212t^2} \quad (9)$$

Изменение динамической вязкости с изменением температуры является существенным, так, с увеличением температуры от 0 до 100°С вязкость воды уменьшается в 7 раз.

Кинематическая вязкость –  $\nu$  (м<sup>2</sup>/с) связана с динамической вязкостью  $\mu$  соотношением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (10)$$

$\mu$  - динамическая вязкость, Па·с

$\rho$  - плотность, кг/м<sup>3</sup>



Коэффициент диффузии, который необходим для расчетов количества выделяющихся вредных веществ из оборудования, можно рассчитать по след. зависимости:

$$D_0 = \frac{0.8}{\sqrt{M}} \cdot 0.36, (\text{м}^2/\text{ч}) \quad (11)$$

$D_0$  – коэффициент диффузии при н. у.  $t=0^\circ \text{C}$  и  $P_0=100\text{кПа}$ .

$M$  – молекулярная масса вещества, [кг/кмоль].

Коэффициент диффузии при  $t \neq 0^\circ \text{C}$  и  $P_0 \neq 100\text{кПа}$  определяют по формуле:

$$D_t = \frac{D_0 * P_0}{p} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 \quad (12)$$

При  $P_0 = 100\text{кПа}$ ;  $T_0 = 273\text{К}$ ;

$p$  – давление в оборудовании и трубопроводе;

$T$  – температура в оборудовании и трубопроводе.

Для определения коэффициента диффузии при любой температуре, используют формулу:

$$D_t = D_{20}[1 + 0,02(t - 200)] \quad (13)$$

В технологических процессах выделяются смеси газов. Как известно, с литературных источников, состав среды в оборудовании и или трубопроводе задается в массовых, объемных или мольных долях. Следовательно,

Мольная доля компонента:

$$N_i = \frac{\text{число молей компонентов}}{\text{число молей всех компонентов смеси}} \quad (14)$$

Массовые доли компонентов пересчитывают в мольные – по формуле:

$$N_i = \frac{a_i/M_i}{\sum a_i/M_i} \quad (15)$$

Где  $N_i$  - мольная доля компонента;

$a_i$  - массовая доля компонента;

$M_i$  -молекулярная масса компонента.

Плотность смеси в трубопроводе или в оборудовании определяют по следующей формуле:

$$\rho_{см.ж.} = \frac{1}{\sum a_i / \rho_{iж}} \quad (16)$$

$\rho_{iж}$  – плотность  $i$ -го компонента в смеси.

Динамическая вязкость смеси нормальных жидкостей определяется по формуле (Па с):

$$\lg \mu_{см.ж} = \sum N_i * \lg \mu_{iж} \quad (17)$$

где  $N_i$  - мольная доля компонента в смеси;

$\mu_{iж}$  - соответствующий коэффициент динамической вязкости.

Вязкость газовых или паровых смесей в трубопроводе, парогазовоздушная смесь, определяется по приближенной формуле (14):

$$\mu_{см.г} = \frac{M_{см.г}}{\sum \left( \frac{v_{iг} * M_i}{\mu_{iг}} \right)} \quad (18)$$

где  $M_{см.г}$  – молекулярная масса смеси газов;

$M_i$  – молекулярная масса отдельных компонентов;

$v_i$  - объемные (молярные) доли компонентов в смеси ( $v_{iг} = N_{iг}$ );  $\mu_{см.г}$  – коэффициент динамической вязкости смеси газов;

$\mu_{iг}$  – коэффициент динамической вязкости отдельных компонентов.

$$M_{см.г} = \sum (N_{iг} * M_i) \quad (19)$$

Кинематическая вязкость газовой смеси определяется по формуле:

$$v_{см} = \frac{1}{\sum \left( \frac{N_i}{v_i} \right)} \quad (м^2/с) \quad (20)$$

Или

$$\nu_{\text{см}} = \frac{\mu_{\text{см.г}}}{\rho_{\text{см.г}}} \quad (21)$$

$\nu_i$ - кинематическая вязкость компонента газовой смеси.

Плотность смеси газов определяется по формуле:

$$\rho_{\text{см.г}} = \sum (N_{i.г} / \rho_{i.г}) \quad \text{кг/м}^3 \quad (22)$$

$N_i$  – мольные доли компонентов газовой смеси;

$\rho_{i.г}$  – плотность соответствующих компонентов.

Вредные вещества представляют собой смесь различных компонентов, состав которой определяется температурой, давлением и объемной (мольной) долей каждого вещества в растворе. Поэтому, при оценке количества вредных веществ, испаряющихся с поверхности жидкости, важно учитывать эти параметры.

Давление газовой смеси над раствором равно:

$$P_{\text{см}} = \sum P_i \quad \text{кг/м}^3 \quad (23)$$

$P_i$  - парциальное давление компонента смеси.

Согласно закону Рауля, парциальное давление компонента, входящего в состав смеси, определяется по формуле:

$$P_i = N_i * P_i^H \quad (24)$$

$N_i$  – мольная доля компонента в растворе;

$P_i^H$  – давление насыщенного пара вещества над чистым компонентом при заданной температуре.

Зависимость давления насыщенного пара чистого вещества от температуры описывается уравнением:

$$\lg P_i^H = A - \frac{B}{(C + t)} \quad \text{мм.рт.ст} \quad (25)$$

или

$$\lg P_i^H = A - \frac{B}{T} \quad (26)$$

Значения эмпирических коэффициентов А, В, С (константы Антуана) для чистых веществ приведены в таблице 1.

Парциальное давление насыщенных водяных паров в наружной среде (т. е. в газовой фазе) определяется по формуле:

$$\lg P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}} = 0,622 + \frac{7,5 * t}{(238 + t)} \quad (27)$$

где  $t$  - температура наружной среды, °С.

Парциальное давление водяных паров при заданной влажности наружной среды определяется по формуле:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{H}} * \varphi \quad \text{мм.рт.ст.} \quad (28)$$

где  $\varphi$  - влажность наружной среды, %.

Для определения количественного состава газов над жидкостью необходимо знать объемный или массовый состав этой жидкости внутри оборудования, а также иметь информацию о давлении насыщения паров её компонентов. Концентрацию насыщенных паров, измеренную в единицах давления, можно преобразовать в объемную концентрацию, используя соответствующую формулу:

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i * 1000}{(273 + t) * 133.3} \quad \text{мг/м}^3 \quad (29)$$

$P_i$  - парциальное давление компонента газовой смеси при заданной температуре и давлении, Па;

$M_i$  - молекулярная масса данного вещества;

1 мм рт. ст. = 133,322 Па.

При температуре 20 градусов формула количественного состава газовой смеси принимает следующий вид [1]:

$$C_i = 0,4096 * P_i^{\text{H}} * M_i \quad \text{мг/м}^3 \quad (30)$$

## Методика проведения расчетов

**Задание 3.1** Определить параметры внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь.

1. Определить молекулярные массы составляющих газовой смеси.
2. Определить объемные доли составляющих газовой смеси для каждого вещества.
3. Рассчитываем абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе.
4. Определяем парциальное давление составляющей газовой смеси.
5. Определить для каждого вещества концентрацию составляющих газовой смеси.
6. Произведение  $N_i * \rho_i$  для составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup> необходимо перевести в кг/ м<sup>3</sup>
7. Определить плотность газовой смеси в трубопроводе.
8. Данные по динамической вязкости составляющих газовой смеси и константу Сатерленда выбираем по таблице.
9. Определить динамическую вязкость составляющих газовой смеси при температуре, заданной по условию задачи.
10. Определить молекулярную массу смеси газов в трубопроводе.
11. Определить динамическую вязкость смеси газов в трубопроводе.
12. Определить кинематическую вязкость смеси газов наружной среды.
13. Определить коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 101308\text{Па}$ ,  $\frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$
14. Определить коэффициент диффузии составляющих газовой смеси при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 202650\text{Па}$ ,  $\frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$ :
15. Определить количество газовой смеси, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений аппарата, г/ч

## Последовательность расчета

*Исходные данные.* Давление наружной среды  $B = 101325\text{Па}$ ; состав смеси, % масс.: водород 58,9,  $a_{\text{H}_2} = 0,589$ ; оксид углерода 7,1,  $a_{\text{CO}} = 0,071$ ; метан 34,  $a_{\text{CH}_4} = 0,34$ . Температура газовой смеси  $t = 50^\circ\text{C}$ . Избыточное давление в трубопроводе  $P_{\text{изб}} = 101325\text{Па}$  [1].

**Решение:**

Молекулярные массы составляющих газовой смеси:

$$M_{H_2} = 2; M_{CO} = 28; M_{CH_4} = 16.$$

Объемные доли составляющих газовой смеси:

$$N_i = \frac{a_i/M_i}{\sum(a_i/M_i)}$$

Находим для каждого вещества:

$$N_i = \frac{0,589/2}{\sum\left(\frac{0,589}{2} + \frac{0,071}{28} + \frac{0,034}{16}\right)} = 0,92$$

$$N_i = \frac{0,34/16}{0,319} = 0,06$$

$$N_i = \frac{0,071/28}{0,319} = 0,009.$$

Абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе определяется по формуле:

$$P_{абс} = B + P_{изб} = 101325 + 101325 = 202650 \text{ Па},$$

Парциальное давление составляющей газовой смеси определяется по формуле:

$$P_i = n_i * P_{абс}$$

$$P_{H_2} = 202650 * 0,925 = 187451 \text{ Па}$$

$$P_{CO} = 202650 * 0,009 = 1824 \text{ Па}$$

$$P_{CH_4} = 202650 * 0,066 = 13745 \text{ Па}$$

Концентрация составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_i = \frac{16 * P_i * M_i}{(273 + t) * 133,3}$$

Находим для каждого вещества:

$$C_B = \frac{16 * 187451 * 2 * 1000}{323 * 133,3} = 139317;$$

$$C_{\text{CH}_4} = \frac{16 \cdot 13745 \cdot 16 \cdot 1000}{323 \cdot 133,3} = 81724;$$

$$C_{\text{CO}} = \frac{16 \cdot 1824 \cdot 28 \cdot 1000}{323 \cdot 133,3} = 18979.$$

Произведение  $N_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup> необходимо перевести в кг/ м<sup>3</sup>

$$N_{\text{H}_2} \cdot \rho_{\text{H}_2} = 139317 (0,1393)$$

$$N_{\text{CH}_4} \cdot \rho_{\text{CH}_4} = 81724 (0,0817)$$

$$N_{\text{CO}} \cdot \rho_{\text{CO}} = 18979 (0,0189)$$

Плотность газовой смеси в трубопроводе:

$$\rho_{\text{см}} = \sum(N_i \cdot \rho_i);$$

$$\rho_{\text{см}} = 0,1393 + 0,0189 + 0,0817 = 0,24 \text{ кг/м}^3.$$

Динамическая вязкость составляющих газовой смеси при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P_0 = 101308 \text{ Па}$ , Па·с:

$$\mu_{\text{H}_2} = 4,9 \cdot 10^{-6}; \quad \mu_{\text{CO}} = 17,15 \cdot 10^{-6}; \quad \mu_{\text{CH}_4} = 10,29 \cdot 10^{-6}.$$

Константы Сатерленда:

$$Sat_{\text{H}_2} = -528$$

$$Sat_{\text{CO}} = 116$$

$$Sat_{\text{CH}_4} = 118$$

Динамическая вязкость составляющих газовой смеси при температуре  $t = 50^\circ\text{C}$ , Па·с

$$\mu_t = \mu_0 \cdot \frac{273 + Sat}{T + Sat} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5};$$

$$\mu_{\text{H}_2} = 4,9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + (-528)}{(273 + 50 - 528)} \left( \frac{273 + 50}{273} \right)^{1,5} = 7,84 \cdot 10^{-6};$$

$$\mu_{\text{CO}} = 17,15 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 116}{289 + 50 + 116} \left( \frac{323}{273} \right)^{1,5} = 20,10 \cdot 10^{-6};$$

$$\mu_{\text{CH}_4} = 10,29 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 118}{289 + 50 + 118} \left( \frac{323}{273} \right)^{1,5} = 12 \cdot 10^{-6}$$

Молекулярная масса смеси газов в трубопроводе:

$$M_{\text{см}} = \sum N_i \cdot M_i$$

$$M_{\text{см}} = 0,925 \cdot 2 + 0,009 \cdot 28 + 0,066 \cdot 16 = 3,2.$$

Динамическая вязкость смеси газов в трубопроводе:

$$\mu_{\text{см}} = \frac{M_{\text{см}}}{\sum \frac{N_i \cdot M_i}{\mu_i}}$$

Подставляем значения в уравнение и определяем динамическую вязкость смеси газов

$$\mu_{\text{см}} = \frac{3,2}{\frac{0,925 \cdot 2}{7,84 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,009 \cdot 28}{20 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,066 \cdot 16}{12 \cdot 10^{-6}}} = 9,51 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Кинематическая вязкость смеси газов наружной среды:

$$\nu_{\text{см}} = \frac{\mu_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}}$$

$$\nu_{\text{см}} = \frac{9,51 \cdot 10^{-6}}{0,24} = 39,60 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Коэффициент диффузии компонентов наружной среды при  $t = 0^\circ\text{C}$  и

$$P = 101308 \text{ Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}} :$$

$$D = \frac{0,8}{\sqrt{M}} \cdot 0,36;$$

$$D_{\text{O}_{\text{H}_2}} = \frac{0,8}{\sqrt{2}} \cdot 0,36 = 0,204;$$

$$D_{\text{O}_{\text{CO}}} = \frac{0,8}{\sqrt{28}} \cdot 0,36 = 0,054;$$

$$D_{\text{O}_{\text{CH}_4}} = \frac{0,8}{\sqrt{16}} \cdot 0,36 = 0,072.$$



Коэффициент диффузии составляющих газовой смеси при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 202650\text{Па}, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$ :

$$D_t = D_o \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^2 \frac{101308}{P};$$

$$D_{H_2} = 0,204 \cdot \left(\frac{273 + 50}{273}\right)^2 \frac{101308}{202650} = 0,143;$$

$$D_{CO} = 0,054 \cdot \left(\frac{273 + 50}{273}\right)^2 \frac{101308}{202650} = 0,038;$$

$$D_{H_2} = 0,072 \cdot \left(\frac{273 + 50}{273}\right)^2 \frac{101308}{202650} = 0,050.$$

Количество газовой смеси, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений аппарата, г/ч

$$G_i = V_{\text{см}} * C_i$$

### **Задача для самостоятельного решения по лабораторному практикуму №3**

**Задача 1.** Определить параметры внутренней среды в трубопроводе, транспортирующем газовую смесь.

*Исходные данные.* Давление наружной среды  $P = 101325\text{Па}$ ; состав смеси, % масс.:  $a, b, c$  (в сумме 100). Температура газовой смеси  $t, ^\circ\text{C}$ . Избыточное давление в трубопроводе  $P_{\text{изб}} = 101325\text{Па}$ .

Значения эмпирических коэффициентов  $A, B, C$  (константы Антуана) для чистых веществ приведены в таблице 7.

Таблица 7

## Значения эмпирических коэффициентов А, В, С

№ п/п	Жидкость	Химическая формула	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	Температура газовой смеси	Константы уравнения Антуана		
					А	В	С
1.	Амиловый спирт	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	811	30	6,3073	1287,625	161,330
2.	Анилин	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	1022	40	6,04622	1457,02	176,195
3.	Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	791	32	6,37551	1281,721	237,088
4.	Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	874	31	5,61391	902,275	178,099
5.	Бутанол	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	806	35	8,72232	2664,684	279,638
6.	Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	655	36	5,99517	1166,274	223,661
7.	Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	684	37	6,07647	1295,405	219,819
8.	Глицерин	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1260		-	-	-
9.	Диэтиловый эфир	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	714	38	6,9979	1098,945	232,372
10.	Изопрен	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	681	41	6,02825	1080,996	234,668
11.	Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	876	42	6,58807	1906,796	234,917
12.	Метилацетат	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	933	43	6,19017	1157,63	219,726
13.	Метанол	CH <sub>3</sub> OH	787	44	7,3527	1660,454	245,818
14.	Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	703	45	6,09396	1379,556	211,896

Продолжение таблицы 7

15.	Пентан	$C_5H_{12}$	621	46	5,97208	1062,555	231,805
16.	Пропанол	$C_3H_7OH$	801	47	7,44201	1751,981	225,125
17.	Сероуглерод	$CS_2$	1260	48	6,12537	1202,471	245,616
18.	Толуол	$C_7H_8$	867	49	6,0507	1328,171	217,713
19.	Хлороформ	$CHCl_3$	1483	35	-	-	-
20.	Циклогексан	$C_6H_{12}$	773	36	5,96991	1203,526	222,863
21.	Циклогексанон	$C_6H_{10}O$	950	37	6,33089	1670,009	230,312
22.	Этилацетат	$C_4H_8O_2$	900	38	6,22672	1244,951	217,881
23.	Этанол	$C_2H_5OH$	785	32	7,81158	1918,508	252,125
24.	Этилформиат	$C_3H_6O_2$	917	36	6,13395	1123,943	218,247

### Вопросы для самоконтроля по теме 3

1. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе добычи нефти.
2. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе транспортировки нефти.
3. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе хранения нефти и нефтепродуктов.
4. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе сбора переработки нефти.
5. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе обезвреживания отходов нефтепереработки.
6. Мероприятия по охране окружающей природной среды в процессе обезвреживания отходов газопереработки.
7. Замкнутая система водооборота на предприятиях нефтегазового комплекса.
8. Химические реагенты в технологии добычи нефти и газа.  
Влияние на окружающую среду и охрана окружающей среды
9. Экологические последствия подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на объектах нефтегазового комплекса
10. Защита водного бассейна от загрязнений нефтегазовых предприятий

# 4МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №4,5

## Расчеты выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников

### Цель работы:

1. Ознакомиться с методикой расчетов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ из различных источников.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

### Общие положения

Поступление вредных веществ в атмосферу может происходить в результате различных физико-химических процессов, включая истечение из-за разницы давлений внутри оборудования и окружающей среды, турбулентный и молекулярный перенос из-за разницы парциальных давлений, неполное сгорание различных видов топлива, механическую обработку, химические реакции и так далее.

В зависимости от конкретной задачи и необходимого уровня точности, определение количества выбросов веществ может быть проведено на основе удельных характеристик, газоздушных балансов, а также с использованием расчетных методов. [1,2].

## Расчет количества вредных веществ, поступающих из газового объема трубопроводов и оборудования, находящихся под давлением

*Определение количества вредных веществ, поступающих через неплотности фланцевых соединений при  $P_{изб} \geq 2 \cdot 10^5$  Па*

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений, определяется по формуле [1]:

$$G = 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot \eta \cdot P_{изб} \cdot m \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T}} \text{ кг/ч}, \quad (31)$$

где 3,57 – коэффициент, °С<sup>1/2</sup> см<sup>2</sup>/(м<sup>3</sup>·ч);  $\eta$  – коэффициент запаса, принимаемый равным 2;  $P_{изб}$  – избыточное давление, Па;  $m$  – коэффициент

негерметичности, характеризующий падение давления в аппарате, ч<sup>-1</sup>; V – объем аппарата, занимаемый газовой (паровой) фазой, м<sup>3</sup>; T – абсолютная температура газа или пара в аппарате, К; M – молярная масса газа или пара.

Допустимые значения коэффициентов негерметичности приведены в таблице 8.

Таблица 8

Допустимые значения коэффициентов негерметичности [1]

Емкость	Среда	Коэффициент негерметичности, ч <sup>-1</sup>
цеховые	Токсичная и горючая	0,0005
	Горючая	0,001
межцеховые	Токсичная и горючая	0,001
	Горючая	0,001

*Определение количества вредных веществ, поступающих через неплотности фланцевых соединений при  $2 \cdot 10^5 > P_{изб} \geq 0,02 \cdot 10^5$  Па*

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений, приближенно определяется по формуле для  $P_{изб} \geq 2 \cdot 10^5$  Па, но с коэффициентом запаса  $\eta = 1,5$ :

$$G = 3,57 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 \cdot P_{изб} \cdot m \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T}} \text{ кг/ч,} \quad (32)$$

Таблица 9

Допустимые значения коэффициентов негерметичности [1]

Емкость	Среда	Коэффициент негерметичности, ч <sup>-1</sup>
Газовые компрессоры, технологическое оборудование с трубопроводами и другое оборудование, работающее под давлением:		
вновь установленные	Горючая Пожаро- и взрывоопасная	0,001 0,002
повторное испытание	То же	0,005
Трубопроводы для горючих, токсичных и сжиженных газов и паров:		
цеховые	Токсичная	0,005

	и горючая Горючая	0,001
--	----------------------	-------

### Методика проведения расчетов по заданию

**Задание 4.1** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений вновь смонтированного трубопровода.

1. Определить относительные молекулярные массы составляющих газовой смеси. (Номер варианта задания соответствует порядковому номеру фамилии в журнале)
2. Определить мольные доли составляющих газовой смеси.
3. Определить абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе.
4. Определить парциальное давление составляющих газовой смеси.
5. Определить концентрации составляющих газовой смеси.
6. Произведение  $v_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси из  $\text{мг/м}^3$  перевести в  $(\text{кг/м}^3)$ .
7. Определить плотность газовой смеси в трубопроводе.
8. Определить молекулярную массу газовой смеси в трубопроводе.
9. Определить объем газов в трубопроводе. Коэффициент негерметичности фланцевых соединений трубопровода (табл. 2.1).
10. Определить количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода.
11. Определить объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов.
12. Определить количество составляющих газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода.

### Последовательность расчета

**Пример 1.** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений вновь смонтированного трубопровода ( $d = 108$  мм. толщина стенки – 4 мм, длина – 150 м).

*Исходные данные.* Состав среды в трубопроводе, % масс.: водород – 58,9; оксид углерода – 7,1; метан – 34. Температура газовой смеси в

трубопроводе  $t = 50$  °С. Избыточное давление в трубопроводе  $P_{\text{изб}} = 209060$  Па. Давление наружной среды  $B = 101325$  Па.

### *Решение*

Относительные молекулярные массы составляющих газовой смеси:

$$M_{H_2} = 2,0; M_{CO} = 28,0; M_{CH_4} = 16,0.$$

Мольные доли составляющих газовой смеси:

$$N_{H_2} = \frac{0,589 / 2}{0,589 / 2 + 0,71 / 28 + 0,34 / 16} = 0,925;$$

$$N_{CO} = \frac{0,071 / 28}{0,319} = 0,009;$$

$$N_{CH_4} = \frac{0,34 / 16}{0,319} = 0,066.$$

Абсолютное давление газовой смеси в трубопроводе:

$$P_{\text{абс}} = B + P_{\text{изб}}; \quad (33)$$

$$P_{\text{абс}} = 209060 + 101325 = 310385 \text{ Па.}$$

Парциальное давление составляющих газовой смеси:

$$P_i = n_i \cdot P_{\text{абс}} \text{ Па}; \quad (34)$$

$$P_{H_2} = 310385 \cdot 0,925 = 287106;$$

$$P_{CO} = 310385 \cdot 0,009 = 2794;$$

$$P_{CH_4} = 310385 \cdot 0,066 = 20485.$$

Концентрации составляющих газовой смеси:

$$C_i = \frac{16 \cdot P_i \cdot M_i \cdot 1000}{(273 + t) \cdot 133,3}, \text{ мг/м}^3; \quad (35)$$

$$C_{H_2} = \frac{16 \cdot 287106 \cdot 2 \cdot 1000}{(273 + 50) \cdot 133,3} = 213383;$$



$$C_{CO} = \frac{16 \cdot 2794 \cdot 28 \cdot 1000}{(273 + 50) \cdot 133,3} = 29072;$$

$$C_{CH_4} = \frac{16 \cdot 20485 \cdot 16 \cdot 1000}{(273 + 50) \cdot 133,3} = 121799.$$

Произведение  $v_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>):

$$v_{H_2} \cdot \rho_{H_2} = 213383(0,213);$$

$$v_{CH_4} \cdot \rho_{CH_4} = 29072(0,029).$$

$$v_{CO} \cdot \rho_{CO} = 121799(0,122);$$

Плотность газовой смеси в трубопроводе:

$$\rho_{см} = \sum(N_i \cdot \rho_i); \quad (36)$$

$$\rho_{см} = 0,213 + 0,029 + 0,122 = 0,364 \text{ кг/м}^3.$$

Молекулярная масса газовой смеси в трубопроводе:

$$M_{см} = \sum(N_i \cdot M_i); \quad (37)$$

$$M_{см} = 0,925 \cdot 2 + 0,009 \cdot 28 + 0,066 \cdot 16 = 3,2.$$

Коэффициент негерметичности фланцевых соединений трубопровода (табл. 9):  $m = 0,001$ . Объем газов в трубопроводе:

$$V = 0,785 \cdot d^2 \cdot l; \quad (38)$$

$$V = 0,785 \cdot 0,1^2 \cdot 150 = 1,1775 \text{ м}^3.$$

Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода:

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot P_{изб} \cdot \eta \cdot V \cdot m \cdot \sqrt{\frac{M}{T}} \text{ г/ч}; \quad (39)$$

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 209060 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{\frac{3,2}{273 + 50}} = 1,76 \text{ г/ч}.$$

Объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов:

$$V_{\text{см}} = \frac{G_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}}; \quad (40)$$

$$V_{\text{см}} = \frac{1,76}{0,364} \cdot 10^{-3} = 0,00483 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество составляющих газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода, г/ч:

$$G_i = V_{\text{см}} \cdot C_i; \quad (41)$$

$$G_{\text{H}_2} = 0,00483 \cdot 213383 \cdot 10^{-3} = 1,03;$$

$$G_{\text{CO}} = 0,00483 \cdot 29072 \cdot 10^{-3} = 0,1407;$$

$$G_{\text{CH}_4} = 0,00483 \cdot 121799 \cdot 10^{-3} = 0,59.$$

По окончании проведения всех расчетов необходимо сформулировать выводы о проделанной работе.

## Методика проведения расчетов

**Задание 4.2** Определить количество вредных веществ через неплотности фланцевых соединений. При известной степени заполнения.

1. Определить молекулярные массы составляющих газовой среды.
2. Определить мольные доли составляющих жидкости.
3. Из Приложения находим эмпирические коэффициенты А, В, С для каждого компонента смеси жидкости.
4. Определить парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами.
5. Определить парциальное давление паров компонента над смесью жидкостей (поступивших из жидкости).
6. Определить парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде.
7. Определить давление водяных паров в газовой среде при заданной влажности.
8. Определить полное давление среды в аппарате.
9. Определить парциальное давление примеси (аммиака) в газовой фазе.
10. Определить парциальное давление основного газового компонента – воздуха.
11. Определить объемные доли газовых составляющих.
12. Определить концентрацию составляющих газовой смеси.
13. Определить произведение  $v_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси, и перевести мг/м<sup>3</sup> в (кг/м<sup>3</sup>)
14. Определить плотность газовой смеси в аппарате.
15. Определить молекулярную массу смеси газов в аппарате.
16. Определить объем, занимаемый газовой фазой в аппарате.
17. Определить количество газовой смеси, выделяющейся из аппарата. При определении данного параметра необходимо посмотреть условия задачи.

**Пример 2.** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений из аппарата диаметром 1,4 м и высотой 2,5 м. Степень заполнения жидкостью  $k_3 = 0,7$ .

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс.): вода 40, бензол 30, дихлорэтан 30, дихлорэтан 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi = 50$  %. Концентрация аммиака в

воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Давление наружной среды  $P = 101325 \text{ Па}$ . Избыточное давление среды в аппарате  $P_{изб} = 101325 \text{ Па}$ .

### Последовательность расчета

Молекулярные массы составляющих газовой среды:

$$M_{H_2O} = 18,015; M_B = 78,10; M_D = 98,97; M_V = 28,96; M_{NH_3} = 17,81.$$

Мольные доли составляющих жидкости:

$$N_i = \frac{\alpha_i / M_i}{\sum(\alpha_i / M_i)}; \quad (42)$$

$$N_{H_2O} = \frac{0,4 / 18,015}{0,4 / 18,015 + 0,3 / 78,10 + 0,3 / 98,7} = 0,7637;$$

$$N_B = \frac{0,3 / 78,10}{0,4 / 18,015 + 0,3 / 78,10 + 0,3 / 98,7} = 0,1321;$$

$$N_D = \frac{0,3 / 98,7}{0,4 / 18,015 + 0,3 / 78,10 + 0,3 / 98,7} = 0,1042.$$

Из Приложения находим эмпирические коэффициенты А, В, С для каждого компонента смеси жидкости:

Вода	A = 7,9608;	B = 1678,0;	C = 230,0;
Бензол	A = 6,9120;	B = 1214,6;	C = 221,2;
Дихлорэтан	A = 7,1840;	B = 1358,5;	C = 232,0.

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами:

$$\lg P_i'' = A - \frac{B}{C + t}; \quad (43)$$

$$\lg P_{H_2O}'' = 7,9608 - 1678 / (230 + 40) = 1,746;$$

$$P_{H_2O}'' = 56,7 \text{ ммрт. ст.}, \text{ или } 7541,1 \text{ Па};$$

$$\lg P_B'' = 6,912 - 1214,6 / (221,2 + 40) = 2,262;$$

$$P_B'' = 182,5 \text{ ммрт. ст. , или } 24272,5 \text{ Па};$$

$$\lg P_D'' = 7,184 - 1358,5 / (232 + 40) = 2,190;$$

$$P_D'' = 155 \text{ ммрт. ст. , или } 20615 \text{ Па.}$$

Парциальное давление паров компонента над смесью жидкостей (поступивших из жидкости):

$$P_i = N_i \cdot P_i''; \quad (44)$$

$$P_{H_2O} = 7541,1 \cdot 0,7637 = 5759,14 \text{ Па};$$

$$P_B = 24272,5 \cdot 0,1321 = 3206,4 \text{ Па};$$

$$P_D = 20615 \cdot 0,1042 = 2148,04 \text{ Па.}$$

Парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде:

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot t / (238 + t); \quad (45)$$

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot 40 / (238 + 40) = 1,7011;$$

$$P_{H_2O}'' = 50,2 \text{ ммрт. ст. , или } 6876 \text{ Па.}$$

Давление водяных паров в газовой среде при заданной влажности:

$$P_{H_2O} = P_{H_2O}'' \cdot \varphi; \quad (46)$$

$$P_{H_2O} = 50,2 \cdot 0,5 = 25,1 \text{ ммрт. ст. , или } 3338 \text{ Па.}$$

Полное давление среды в аппарате:

$$P_{\text{абс}} = B + P_{\text{изб}}; \quad (47)$$

$$P_{\text{абс}} = 101325 + 101325 = 202650 \text{ Па.}$$

Парциальное давление примеси (аммиака) в газовой фазе:

$$P = \frac{C \cdot (273 + t) \cdot 133,3}{16 \cdot M \cdot 1000}; \quad (48)$$

$$P_{rNH_3} = \frac{10 \cdot (273 + 40) \cdot 133,3}{16 \cdot 17,31 \cdot 1000} = 1,503 \text{ Па.}$$

В таблице 10 приведены возможные парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью.

Таблица 10

Возможные парциальные давления компонентов над жидкостью

Компоненты	Парциальные давления компонентов		Возможное парциальное давление
	Поступивших из жидкости	В первоначальной газовой среде	
Вода	5759	3338	5759
Бензол	3206,4	0	3206,4
Дихлорэтан	2148	0	2148
Аммиак	0	1,503	1,503

Парциальное давление основного газового компонента – воздуха:

$$P_B = 202650 - (5759 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 191535,5 \text{ Па.}$$

Объемные доли газовых составляющих:

$$v_i = \frac{P_i}{P_{\text{абс}}}; \quad (49)$$

$$v_{H_2O} = 5759/202650 = 0,028;$$

$$v_B = 3206/202650 = 0,0158;$$

$$v_{NH_3} = 1,503/202650 = 0,000007;$$

$$v_D = 2148/202650 = 0,0106;$$

$$v_B = 191535,5/202650 = 0,9451.$$

Концентрация составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_i = 16 \cdot P_i \cdot M_i \cdot 1000 / [(273 + t) \cdot 133,3]; \quad (50)$$

$$C_{H_2O} = 16 \cdot 5759 \cdot 18,015 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 39876;$$

$$C_B = 16 \cdot 3206 \cdot 78,10 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 96258;$$

$$C_D = 16 \cdot 2148 \cdot 98,97 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 81710;$$

$$C_B = 16 \cdot 191535,5 \cdot 28,96 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 2131918;$$

$$C_{NH_3} = 10.$$

Произведение  $v_i \cdot \rho_i$  для составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup> (кг/м<sup>3</sup>):

$$v_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 39876(0,0398);$$

$$v_B \cdot \rho_B = 96258(0,0963);$$

$$v_D \cdot \rho_D = 81710(0,0817);$$

$$v_B \cdot \rho_B = 2131918(2,1319);$$

$$v_{NH_3} \cdot \rho_{NH_3} = 10(0,00001).$$

Плотность газовой смеси в аппарате:

$$\rho_{см} = \sum(N_i \cdot \rho_i); \quad (51)$$

$$\rho_{см} = 0,0398 + 0,0963 + 0,0817 + 2,1319 + 0,00001 = 2,35 \text{ кг/м}^3.$$

Молекулярная масса смеси газов в аппарате:

$$M_{см} = \sum(N_i \cdot M_i); \quad (52)$$

$$M_{см} = 0,028 \cdot 18 + 0,0106 \cdot 98,97 + 0,0158 \cdot 78,1 + 0,9451 \cdot 28,96 + 0,000007 \cdot 17,31 = 30,17 \text{ г/моль}.$$

Объем, занимаемый газовой фазой в аппарате:

$$V = 0,785 \cdot 1,4^2 \cdot 2,5 \cdot (1 - 0,7) = 1,154 \text{ м}^3$$

Коэффициент негерметичности аппаратов, подвергающихся повторному испытанию (существующий):  $m = 0,005$ .

Количество газовой смеси, выделяющейся из аппарата:

$$G_{см} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot m \cdot P_{изб} \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M_{см}}{T}}; \quad (53)$$

$$G_{\text{см}} = 3,57 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 0,005 \cdot 101325 \cdot 1,154 \cdot \sqrt{30,166/(273 + 40)} \\ = 9,72 \text{ г/ч.}$$

Объем газовой смеси, вылепляющейся из аппарата:

$$V_{\text{см}} = \frac{G_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}}; \quad (54)$$

$$V_{\text{см}} = \frac{9,72}{2,35} \cdot 10^{-3} = 0,004135 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Т.о. в результате проведенных расчетов определены количество вредных веществ через неплотности фланцевых соединений.



Таблица 11 Дополнительная информация

Вещество	Формула	Молекулярная масса	Плотность жидкости при Н.У., кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, К	Температура кипения, К	Динамическая вязкость* 10 <sup>7</sup> , Па·с, при Н.У.	Константа Сатерленда	Константы Антуана для определения парциального давления паров жидкости			Интервал температур для констант Антуана	
								Sat	A	B	C	min
Дихлорметан	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84,94	1325	178,1	313	91	425	7,071	1134,6	231	–	–
1,2-Дихлорпропан	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub>	112,99	1150	172,7	370,0	77	544	6,9654	1296,4	221	288	408
1,1-Дихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,97	1168	176,2	330,5	86	486	6,9852	1171,4	228	242	352
1,2-Дихлорэтан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,97	1254	273,2	356,7	61	524	7,661	1640,2	260	252	356
Диэтиламин	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N	73,14	707	223,4	328,6	66,2	484	7,2231	1267,5	236	240	332
Диэтиленгликоль	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	106,12	1116	265	519	60	632	8,1527	2727,3	273	–	–
Додекан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170,34	763,3	263,6	489,4	22 640	719	8,1708	2463,7	254	321	490
Додеканол	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> O	186,33	835	297,1	533,1	43	789	6,6289	1408	116	407	580
Изопропиламин	C <sub>3</sub> H <sub>9</sub> N	59,11	717	190	307,2	70	452	6,9468	1108,2	224	235	350
Изопропилбензол	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,18	878,6	177,2	425,5	10 750	625	6,9377	1461,0	208	276	926
Йод	I <sub>2</sub>	253,80	4940	386,8	458,7	123	568	16,250	3158	2,0	–	–
Керосин	Смесь		819	–	568,7	52,5	650	6,0000	1223,9	203	–	–
Кислород	O <sub>2</sub>	31,99	1149	54,4	90,15	191	133	6,6913	319,01	267	63	100
Кислота уксусная	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60,05	1049	289,8	391,1	72	575	7,557	1642,5	273	273	391
Кислота хлороводородная	HCl	36,46	1149	–	358,3	137	356	8,443	1023,1	273	–	–
Кислота хлоруксусная	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> Cl	94,50	1580	–	462,3	78,5	679	12,486	3160	273	–	–
m-Крезол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,13	1034	285,4	475,9	–	700	7,5079	1856,3	199	370	480
p-Крезол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,13	1019	307,9	475,6	–	699	7,0350	1511,1	162	370	480
o-Крезол	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108,13	1028	304,1	464,0	–	682	6,9116	1435,5	165	370	480

Продолжение таблицы 11

Вещество	Формула	Молекулярная масса	Плотность жидкости при Н.У., кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, К	Температура кипения, К	Динамическая вязкость* 10 <sup>7</sup> , Па·с, при Н.У.	Константа Сатерленда	Константы Антуана для определения парциального давления паров жидкости			Интервал температур для констант Антуана	
								Sat	A	B	C	min
Водород	H <sub>2</sub>	2,02	71	13,96	20,35	83	30	5,9208	71,614	270	14	25
Гексадекан	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226,45		291,4	559,9		823	6,7875	1656,4	137	378	560
n-Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,18	660	177,8	341,9	59	436	6,870	1166,3	224	219	342
Гексанол-1	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102,17	–	221,21	430,4	–	632	7,2780	1420,3	165	329	430
Гелий	He	4,003	123	1,75	4,25	190	6	5,3207	14,649	271	4	4
n-Гептадекан	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	240,48	778	295	575,2	37	846	7,0142	1865,1	149	434	610
Гептан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,20	700,5	182,2	371,6	5260	546	6,9515	1295,4	220	213	371
Гептанол-1	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O	116,20	822	239,2	449,0	54	660	6,6476	1140,6	127	333	449
Декалин (транс)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	138,25	870	242,8	460,4	57	677	6,8613	1568,1	207	363	470
Декалин (цис)	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	138,25	897	230	468,9	57	689	6,8753	1594,5	203	368	495
Декан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142,29	745,1	243,2	447,3	12 700	657	7,3953	1810,0	228	290	447
Деканол	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O	158,28	830	280,1	503,4	46	740	6,9224	1472,0	134	376	503
2,2'-Диметилбутан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,178	649	173,3	323,1	63	475	6,7548	1081,2	229	230	350
2,3-Диметилбутан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86,178	662	144,6	331,1	62	487	6,8098	1127,2	229	235	354
2,2-Диметилгексан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	645	152	382,0	55	562	6,8371	1273,6	215	276	405
2,3-Диметилгексан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	712	–	388,8	54	572	6,8700	1315,5	214	283	415
2,2-Диметилпентан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,21	674	149,4	352,2	58	518	6,8147	1190	223	254	378
2,3-Диметилпентан	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100,21	695	–	362,9	58	533	6,8537	1238	222	262	388
Дифенил	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154,22	1180	342,4	528,8	52	664	8,569	2565	273	–	–
Дифенилметан	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub>	168,24	1006	300	537,5	–	790	6,2910	1260,5	105	473	563

## Задача для самостоятельного решения по лабораторному практикуму №4, 5.

1. В трубопроводе перекачивается смесь. В процессе эксплуатации произошла авария. При повторном испытании, после ремонта, произошла утечка вредных веществ, через неплотности фланцевых соединений.

Определить: Количество газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода.

Объем газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопроводов.

Количество составляющих газовой смеси, выделяющейся через неплотности фланцевых соединений трубопровода

Данные для решения задачи представлен в таблице 12

Таблица 12

### Исходные данные по вариантам

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10
Размеры трубопровода										
Диаметр, d мм	113	101	102	103	104	105	106	107	109	110
Толщина стенки, мм	4	4,5	3,5	3	3,7	3,8	4,5	4,6	4,3	3,9
Длина, м	140	147	150	149	146	145	143	155	160	153
Состав смеси, перекачиваемой по трубопроводу										
метан	58,9			8,2	24,4	41	7,7	11,9	20,9	49,6
этан	6,3	34,5		61,3		36,8			22,4	
пропан	34,8					22,2			56,7	
дихлорэтан		65,5			75,6		58,3	11,3		7,4
сера			53,3	30,5			34			10,9
бензол			46,7					76,8		32,1
Температура газовой смеси										
t, °C	49	47	42	45	46	41	48	52	53	54
Избыточное давление в трубопроводе, P <sub>изб</sub> , Па										
P <sub>изб</sub> , Па	20906 0	20906 1	20905 7	20905 6	20905 8	20905 9	20906 1	20906 2	20906 3	20906 4

Давление наружной среды  $B = 101325$  Па.

Рассмотреть случаи из таблицы 13:

1. Цеховое помещение
2. Вновь смонтированное оборудование.
3. Повторное испытание.
4. Цеховое помещение
5. Вновь смонтированное оборудование
6. Вновь смонтированное оборудование
7. Цеховое помещение
8. Вновь смонтированное оборудование
9. Вновь смонтированное оборудование
10. Цеховое помещение

Таблица 13

#### Допустимые значения коэффициентов негерметичности

Емкость	Среда	Коэффициент негерметичности, ч <sup>-1</sup>
Газовые компрессоры, технологическое оборудование с трубопроводами и другое оборудование, работающее под давлением:		
вновь установленные	Горючая Пожаро- и взрывоопасная	0,001 0,002
повторное испытание	То же	0,005
Трубопроводы для горючих, токсичных и сжиженных газов и паров:		
цеховые	Токсич ная и горючая Горюч ая	0,005 0,001

**Задача 4.3** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через неплотности фланцевых соединений из аппарата диаметром и высотой. Степень заполнения жидкостью

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, в сумме должно быть 100. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi$ , %. Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3}$ , мг/м<sup>3</sup>. Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t$ , °С. Давление наружной среды  $P = 101325$  Па. Избыточное давление среды в аппарате  $P_{изб} = 101325$  Па.

Таблица 14

Исходные данные по вариантам

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Конструкция аппарата										
Диаметр, м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	1,3	1,45	1,35	1,62
Высота, м	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,4	2,5	2,6
Степень заполнения жидкостью, $k_3$										
Степень заполнения	0,6	0,5	0,4	0,6	0,63	0,65	0,59	0,64	0,67	0,7
Влажность воздуха $\varphi$										
$\varphi$ , %	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Температура жидкости и газовой среды в аппарате										
$t$ , °С	37	38	39	41	42	43	44	36	35	34
Концентрация аммиака в воздухе $C_{NH_3}$ , мг/м <sup>3</sup>										
$C_{NH_3}$ , мг/м <sup>3</sup>	9	8	7	8,5	7,6	9,5	8,7	11	10,6	12

Рассмотреть случаи:

1. Цеховое помещение
2. Вновь смонтированное оборудование.
3. Повторное испытание.
4. Цеховое помещение
5. Вновь смонтированное оборудование

6. Вновь смонтированное оборудование
7. Цеховое помещение
8. Вновь смонтированное оборудование
9. Вновь смонтированное оборудование
10. Цеховое помещение

### **Вопросы для самоконтроля по теме 4,5**

1. Методы и технологические схемы очистки, обезвреживания и утилизации буровых сточных вод, отработанных растворов и шлама.
2. Мероприятия по охране окружающей среды при бурении скважин.
3. Мероприятия по охране окружающей природной среды при сборе, хранении, очистке и обезвреживании отходов.
4. Захоронение, обезвреживание и утилизация производственных шламов.
5. Принципы создания безотходных и малоотходных производств в нефтяной и газовой промышленности.
6. Химические реагенты в технологии добычи нефти и газа и охрана окружающей среды
7. Химические реагенты для буровых растворов
8. Химические реагенты для увеличения нефтеотдачи пластов
9. Химические реагенты для борьбы с соле-, асфальтосмолистыми и парафиновыми отложениями.
10. Методы переработки отходов нефтехимической промышленности.

## 6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №6

### Концентрация газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода

#### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с методикой определения параметров среды производственного помещения.
2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

#### Основные положения

Турбулентность воздуха является основной причиной распространения загрязнителей в атмосфере. С уменьшением температуры воздуха по мере удаления от поверхности Земли, вертикальные потоки воздушных масс усиливаются, что увеличивает турбулентность и способствует распространению загрязнителей. Если же с высотой температура воздуха повышается (инверсия температур), то движение воздуха и распространение загрязнителей значительно замедляются. Исходя из этого, основой для классификации устойчивости атмосферы является температурный градиент (таблица 14) [3].

*Таблица 14*

Классификация устойчивости атмосферы (по Пасквиллу)

Категория устойчивости атмосферы		Температурный градиент, $\Delta T/\Delta z$ , °C/100 м
A	Наибольшая устойчивость	Менее -1,9
B	Умеренная устойчивость	-1,9; -1,7
C	Слабая неустойчивость	-1,7; -1,5
D	Нейтральная устойчивость	-1,5; -0,5
E	Слабая устойчивость	-0,5; 1,5
F	Умеренная устойчивость	1,5; 4
G	Наибольшая устойчивость	Более 4

При локальном нарушении герметичности поврежденный газопровод может быть классифицирован как точечный источник загрязнения, тогда как в случае обширных повреждений он рассматривается как линейный источник загрязнения.

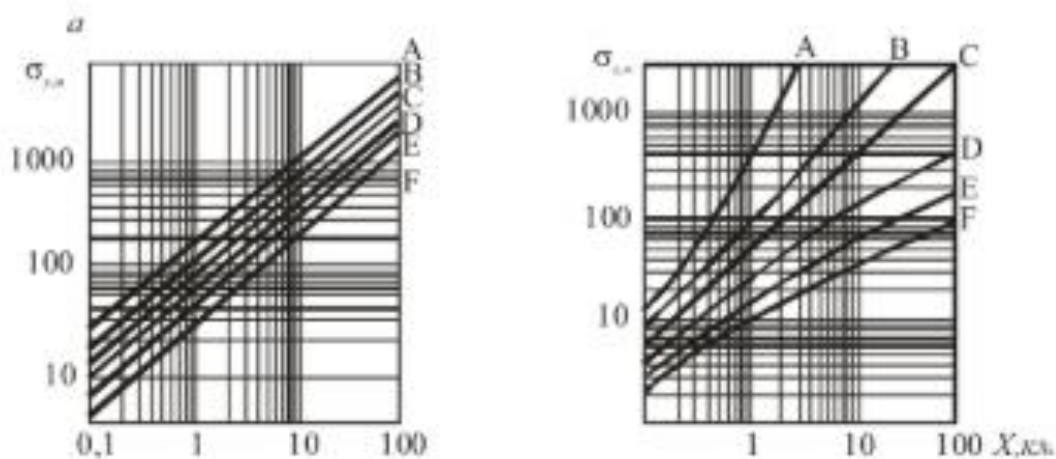


Рис.3 Номограммы для определения дисперсий распределения концентрации в направлении осей Y (а), Z (б),

A, B, C, D, E, F – категории устойчивости атмосферы

Концентрация газа в точке М с координатами X, Y, Z при локальном повреждении газопроводов Белов и Требии рекомендуют определять по формуле (1)

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u_0} \cdot \exp \left[ -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right], \quad (55)$$

где Q-количество газа, выделенного источником;  $\sigma_y, \sigma_z$ , -дисперсии распределения концентрации в направлении осей соответственно Y и Z,

$u_0$ - средняя скорость ветра в направлении оси x.

В случае линейного источника загрязнения длиной l, расположенного под прямым углом к направлению ветра (рис.1, а), концентрацию газа в точке М можно определить по формуле Шаприцкого:



$$C(x, y, z) \approx \frac{500Q}{\pi^{0,5} \cdot \sigma_z \cdot u_0 \cdot x} \left\{ \exp \left[ -\frac{(z - H)^2}{\sigma_z^2 \cdot x^2} \right] + \exp \left[ -\frac{(z + H)^2}{\sigma_z^2 \cdot x^2} \right] \right\} \quad (56)$$

$$\times \left[ \operatorname{erf} \frac{y + 0,5 l}{\sigma_y \cdot x} - \operatorname{erf} \frac{y - 0,5 l}{\sigma_y \cdot x} \right] \times$$

где Н-высота источника над землей, м.

Для подземных и наземных трубопроводов Н в формуле (56) принимают равной нулю.

Точное определение мощности линейного источника загрязнения является сложной задачей, так как оно зависит от переменных во времени параметров, таких как давление и температура газа. Однако для выполнения приблизительных расчетов мощности источника (Q) можно использовать максимальный объем газа, выходящего из газопровода, и среднюю продолжительность его утечки.

Контур области загрязнения, в пределах которого концентрация ингредиента равна или выше ПДК, можно определить, если приравнять левую часть выражений (1) и (2) к значению ПДК, установленного для данного ингредиента, и вычислить X при фиксированных значениях Y.

В тех случаях, если направление ветра образует некоторый угол  $\varphi$  с осью газопровода (рис. 4, б), то расчетная длина источника в формуле (56)

$l' = l \cdot \sin \varphi$	(57)
-----------------------------	------

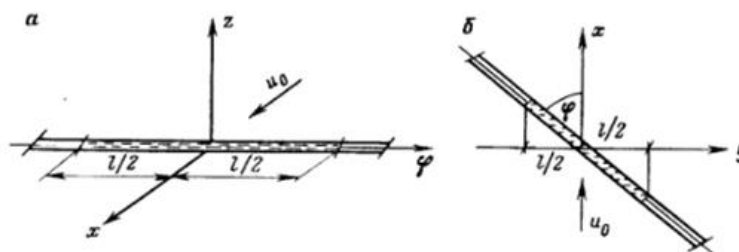


Рис. 4. Расчетная схема для определения области загрязнения от линейного источника

## Расчет концентрации газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода

### Методика проведения расчетов

**Задание 6.1** Расчет концентрации газа в воздушном пространстве вблизи поврежденного газопровода.

1. Определить по номограмме (рисунок 4) распределение концентрации.
2. Определить концентрацию газа.

### **Последовательность расчета**

Рассматривая поврежденный газопровод как точечный источник загрязнения, определить концентрацию газа в точке с координатами  $Y=2$  км,  $Z=2$  км на расстоянии  $X=2$  км от места утечки. Средняя скорость ветра в направлении оси  $X$  составляет 4 м/с, количество газа, выделяющегося из газопровода, -1 кг/ч.

### **Решение**

По номограммам (рис. 4) определим дисперсии распределения концентрации газа в направлении осей  $Y$  и  $Z$  в зависимости от удаленности точки от места утечки ( $X$ ) и устойчивости атмосферы ( $F$ ):  $\sigma_y = 60$  м,  $\sigma_z = 17$  м.

С помощью формулы 1 можно рассчитать концентрацию газа в заданной точке пространства:

$$C = \frac{1 \cdot 10^6}{3600 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 17 \cdot 60} \cdot \exp \left[ -\frac{4}{2 \cdot (60)^2} + \frac{4}{2 \cdot (17)^2} \right] = 0,021 \text{ мг/м}^3.$$

### **Задание по лабораторному практикуму 6**

**Задача 6.2** Рассматривая поврежденный газопровод как точечный источник загрязнения, определить концентрацию газа в точке с координатами  $Y$  км,  $Z$  км на расстоянии  $X$  км от места утечки. Средняя скорость ветра в направлении оси  $X$  составляет м/с, количество газа, выделяющегося из газопровода, -1 кг/ч.  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$  определить из номограммы

## Точка с координатами

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Y, км	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Z, км	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Расстояние X, км от места утечки									
X	2	3	4	5	1	2	4	5	3
Средняя скорость ветра в направлении оси X, м/с									
X	3	4	5	2	3	4	5	6	4

Таблица 16

Категория устойчивости атмосферы		Температурный градиент, $\Delta T/\Delta z$ , °C/100 м
A	Наибольшая устойчивость	Менее -1,9
B	Умеренная устойчивость	-1,9; -1,7
C	Слабая неустойчивость	-1,7; -1,5
D	Нейтральная устойчивость	-1,5; -0,5
E	Слабая устойчивость	-0,5; 1,5
F	Умеренная устойчивость	1,5; 4
C	Наибольшая устойчивость	Более 4

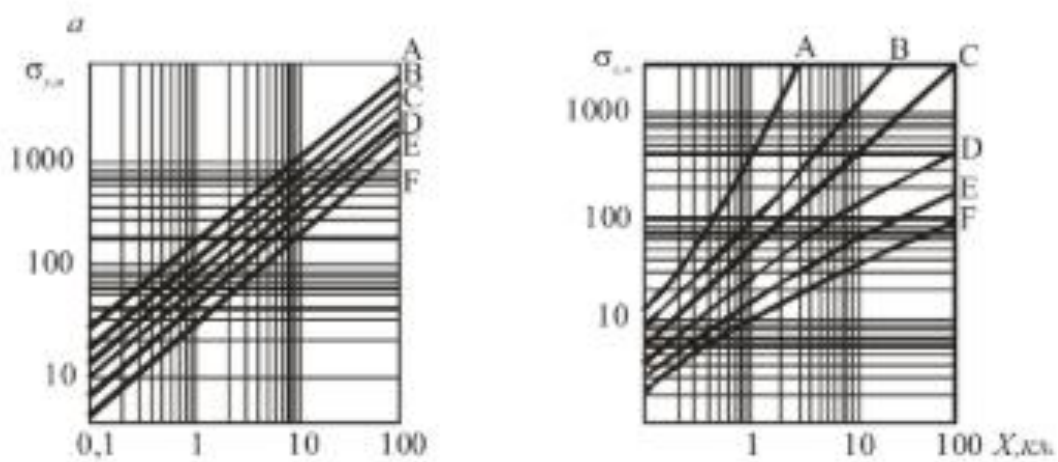


Рис.5. Номограммы для определения дисперсий распределения концентрации в направлении осей Y (а), Z (б),

А, В, С, D, E, F – категории устойчивости атмосферы

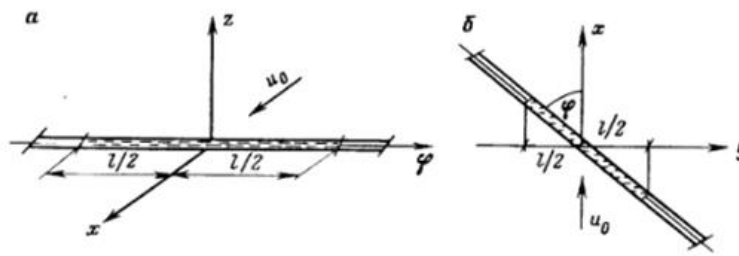


Рис 6. Расчетная схема для определения области загрязнения от линейного источника

### Вопросы для самоконтроля по теме 6

1. Три основные категории, загрязняющие землю отходами.
2. Основные отходы нефте- газоперерабатывающей промышленности.
3. Классификация отработанных нефтепродуктов.
4. Строительство и эксплуатация амбаров. Последствия.
5. Источники загрязнения при бурении скважины.
6. Сбор и хранение отходов бурения.
7. Классификация отходов в нефте-, газохимической отрасли.
8. Основные моменты при строительстве амбаров, для хранения буровых растворов.
9. Приготовление буровых растворов. Применение реагентов.
10. Транспортировка буровых растворов

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №7

## Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом» и «мало дыхании» аппарата»

### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с методикой расчета вредных веществ при большом и малом дыхании.

2. Приобрести первоначальные навыки в проведении расчетов.

### *7.2 Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «большом дыхании» аппарата*

Термин "большое дыхание" относится к процессу выталкивания паров из аппаратов наружу или засасыванию воздуха внутрь оборудования в результате изменения уровня жидкости в них [1]. Заполнение аппарата, такого как резервуар, обычно происходит при стабильных условиях температуры и давления внутри емкости ( $P_{\text{раб}}$ ). Объём вытесняемых газов (или паров при наполнении аппарата) будет [3]:

$$V_{\Gamma} = V_1 - V_2 \quad (58)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объём газов или паров в аппарате до и после его наполнения, м<sup>3</sup>.

Масса теряемых при дыхании газов или паров за цикл, кг/цикл:

$$G_{\text{СМ}} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\text{ГСМ}} = (V_1 - V_2) \cdot \rho_{\text{ГСМ}} \quad (59)$$

где  $\rho_{\text{ГСМ}}$  – плотность газов или паров, кг/м<sup>3</sup>.

### 7.3. Расчет количества вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух при «малом дыхании» аппарата

«Малое дыхание» - это термин, используемый для описания процесса вытеснения газов или паров из аппарата или засасывания воздуха внутрь аппарата, вызванного изменением температуры газов или паров под воздействием окружающей среды. Во время "малого дыхания" уровень жидкости меняется незначительно, поэтому объем газового или парового пространства в аппарате остается постоянным. Давление газовой смеси ( $P_{раб}$ ) в аппарате также остается неизменным, поскольку его избыток удаляется через систему дыхательных клапанов.

Если весь период при «малом дыхании» температура равномерно изменяется от  $t_1$  до  $t_2$ , то равномерно изменяется и концентрация насыщенных паров от  $C_1$  до  $C_2$ . В случае неравномерного изменения температуры во время «малого дыхания», весь период разбивается на короткие промежутки времени. За каждый из этих промежутков определяются изменения температуры и соответствующие потери газовой смеси, после чего рассчитываются общие потери. «Малое дыхание» в основном характерно для аппаратов, расположенных на открытом воздухе. Объем вытесняемых газов или паров при «малом дыхании» можно найти из следующего выражения:

$$V_{\Gamma} = V \cdot \beta \cdot (t_2 - t_1) = V \cdot \frac{\Delta t}{273} \quad (60)$$

где  $V_{\Gamma}$  – увеличение объема газа или паром, м<sup>3</sup>;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения;  $\Delta t$  – изменение температуры газа или пара над жидкостью.

Масса теряемого при дыхании вещества, кг/цикл, определяется из выражения:

$$G_i = V_{\Gamma} \cdot C_{i\text{ ср}} \quad (61)$$

где  $C_{i\text{ ср}}$  – средняя концентрация насыщенных паров определяемого вещества за период дыхания, г/м<sup>3</sup>:

$$C_{i\text{ ср}} = (C_{i1} + C_{i2})/2 \quad (62)$$

где  $C_{i1}$  и  $C_{i2}$  – концентрации насыщенных паров при  $t_1$  и  $t_2$ .

## Методика проведения расчетов

**Задание 7.1** Определить количество вредных веществ, выделяющихся через воздушку при «большом дыхании» аппарата.

1. Определить парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью.
2. Определить концентрацию составляющих газовой смеси.
3. Определить объем газовой смеси перед заполнением аппарата.
4. Определить объем газовой смеси после заполнением аппарата.
5. Определить объем вытесненной газовой смеси из аппарата за 40 мин.
6. Определить количество составляющих газовой смеси, вытесненных из аппарата за 40 мин.

## Последовательность расчета

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс.): вода – 40; бензол – 30 и дихлорэтан – 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ . Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10$  мг/м<sup>3</sup>. Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t = 40^\circ\text{C}$ . Давление наружной среды  $B = 101\,325$  Па. Диаметр аппарата 1,4 м. Высота аппарата 2,5 м. Высота уровня жидкости перед заполнением 0,2 м. Время заполнения аппарата 40 мин при степени заполнения  $k_3 = 0,7$ .

## Решение

Определяем возможные парциальные давления компонентов в газовой смеси над жидкостью:

$$P_{H_2O} = 5759; P_B = 3206; P_D = 2148; P_{NH_3} = 1,503 \text{ Па.}$$

Парциальное давление основного газового компонента – воздуха:

$$P_B = 101\,325 - (5759 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 90210,5 \text{ Па.}$$

Концентрация составляющих газовой смеси, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_i = 16 \cdot P_i \cdot M_i \cdot 1000 / [(273 + t) \cdot 133,3];$$

$$C_{H_2O} = 16 \cdot 5759 \cdot 18,015 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 39876;$$

$$C_B = 16 \cdot 3206,4 \cdot 78,10 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 96258;$$

$$C_D = 16 \cdot 2148 \cdot 98,87 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 81710;$$

$$C_{NH_3} = 10;$$

$$C_B = 16 \cdot 90210,5 \cdot 28,96 \cdot 1000 / [(273 + 40) \cdot 133,3] = 998800;$$

Объем газовой смеси перед заполнением аппарата:

$$V_1 = \pi \cdot D \cdot H \cdot (1 - k_3);$$

$$V_1 = 3,14 \cdot 1,4 \cdot (2,5 - 0,2) = 10,1 \text{ м}^3.$$

Объем газовой смеси после заполнением аппарата:

$$V_2 = \pi \cdot D \cdot H \cdot (1 - k_3);$$

$$V_2 = 3,14 \cdot 1,4 \cdot (1 - 0,7) = 3,3 \text{ м}^3.$$

Объем вытесненной газовой смеси из аппарата за 40 мин:

$$V_{\Gamma} = V_1 - V_2 ;$$

$$V_{\Gamma} = 10,1 - 3,3 = 6,8 \text{ .}$$

Количество составляющих газовой смеси, вытесненных из аппарата за 40 мин:

$$G_i = V_{\Gamma} \cdot C_i \quad \text{г}$$

$$G_{H_2O} = 6,8 \cdot 39876 \cdot 10^{-3} = 271;$$



$$G_B = 6,8 \cdot 96258 \cdot 10^{-3} = 655;$$

$$B = 6,8 \cdot 81710 \cdot 10^{-3} = 556;$$

$$G_{NH_2} = 6,8 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,068;$$

$$G_B = 6,8 \cdot 999800 \cdot 10^{-3} = 6800;$$

По окончании проведения всех расчетов необходимо сформулировать выводы о проделанной работе

## Методика проведения расчетов

**Задание 7.2** Определить количество вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух через воздушку аппарата при изменении в течение 1 ч температуры жидкости и газовой среды в аппарате с 40 до 42°C.

Определить относительные молекулярные массы составляющих газовой и жидких сред.

1. Найти эмпирические коэффициенты для каждого компонента смеси жидкостей.
2. Определить парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами.
3. Определить парциальное давление насыщенных паров компонентов над смесью жидкостей.
4. Определить парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде.
5. Определить парциальное давление водяных паров при заданной влажности.
6. Определить парциальное давление примеси (аммиака) в газовой среде.
7. Определить парциальные давления основного газового компонента воздуха.
8. Определить концентрацию составляющих газовой смеси.
9. Определить среднюю концентрацию компонентов газовой смеси.
10. Определить объем газовой смеси в аппарате.
11. Определить увеличение объема газовой смеси при изменении температуры.
12. Определить изменение температуры газовой смеси в аппарате.
13. Определить увеличение объема газовой смеси при изменении температуры.

14. Определить количество составляющих газовой смеси, выделяющихся из аппарата при малом дыхании

### Последовательность расчета

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс): вода – 40; бензол – 30 и дихлорэтан – 30. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ . Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Давление наружной среды  $B = 101\,325 \text{ Па}$ . Диаметр аппарата 1,4 м. Высота аппарата 2,5 м. Степень заполнения аппарата жидкостью  $k_3 = 0,7$ .

### Решение

Относительные молекулярные массы составляющих газовой и жидкой сред:

$$M_{H_2O} = 18,015; M_B = 78,10; M_D = 98,97; M_{NH_3} = 17,31.$$

Мольные доли составляющих жидкости:

$$N_i = \frac{a_i/M_i}{\sum(a_i/M_i)}$$

$$N_{H_2O} = \frac{0,4/18,015}{0,4/18,015+0,3/78,10+0,3/98,97} = 0,7637;$$

$$N_B = \frac{0,3/78,10}{0,4/18,015+0,3/78,10+0,3/98,97} = 0,1321;$$

$$N_{H_2O} = \frac{0,3/98,97}{0,4/18,015+0,3/78,10+0,3/98,97} = 0,1042.$$

Из Приложения находим эмпирические коэффициенты для каждого компонента смеси жидкостей:

Вода	$A = 7,9608;$	$B = 1678;$	$C=230;$
Бензол	$A = 6,912;$	$B = 1214,6;$	$C=221,2;$
Дихлорэтан	$A = 7,184;$	$B = 1358,5;$	$C=232.$

н

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над чистыми жидкими веществами:

$$\lg P_i'' = A - B/(C+t); \quad (63)$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ :

$$\lg P_{H_2O}'' = 7,9608 - 1678/(230 + 40) = 1,746;$$

$$P_{H_2O}'' = 56 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 7541,1 \text{ Па};$$

$$\lg P_B'' = 6,912 - 1213,6/(221,2 + 40) = 2,262;$$

$$P_B'' = 182,5 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 24272,5 \text{ Па};$$

$$P_D'' = 7,184 - 1358,5/(232+40) = 2,190;$$

$$P_D'' = 155 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 20615 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ :

$$\lg P_{H_2O}'' = 7,9608 - 1678/(230 + 42) = 1,792;$$

$$P_{H_2O}'' = 61,8 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 8239 \text{ Па};$$

$$\lg P_B'' = 6,912 - 1214,6/(221,2 + 42) = 2,297;$$

$$P_B'' = 198 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 26397 \text{ Па};$$

$$P_D'' = 7,184 - 1358,5/(232+42) = 2,262;$$

$$P_D'' = 182,5 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 24331 \text{ Па};$$

Парциальное давление насыщенных паров компонентов над смесью жидкостей, Па:

$$P_i = N_i \cdot P_i'' \quad (64)$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ :

$$P_{H_2O} = 7541,1 \cdot 0,7637 = 5759; P_B = 24272,5 \cdot 0,1321 = 3206,4;$$

$$P_D = 20615 \cdot 0,1042 = 2148,0;$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$P_{H_2O} = 8239 \cdot 0,7637 = 6292; P_B = 26397 \cdot 0,1321 = 3487;$$

$$P_D = 24331 \cdot 0,1042 = 2535;$$

Таблица 17.

Возможные парциальные давления компонентов газовой смеси над жидкостью

Компонент	Парциальное давление компонентов, Па		Возможное парциальное давление, Па
	Поступающих из жидкости	В первоначальной газовой среде	
При $t = 40^\circ\text{C}$			
Вода	5759	3328	5759
Бензол	3206,4	0	3206,4
Дихлорэтан	2148	0	2148
Аммиак	0	1,503	1,503
При $t = 42^\circ\text{C}$			
Вода	6292	3719,5	6292
Бензол	3487	0	3487
Дихлорэтан	2535	0	2535
Аммиак	0	1,52	1,52

Парциальное давление насыщенных водяных паров в газовой среде:

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot t / (238 + t); \quad (65)$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ ;

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot 40 / (238 + 40) = 1,7011;$$

$$P_{H_2O}'' = 50,2 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 6676,6 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$\lg P_{H_2O}'' = 0,622 + 7,5 \cdot 42 / (238 + 42) = 1,747;$$

$$P_{H_2O}'' = 55,8 \text{ мм рт.ст.}, \text{ или } 7439 \text{ Па};$$

Парциальное давление водяных паров при заданной влажности:

$$P_{H_2O} = P_{H_2O}'' \cdot \varphi;$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ ;

$$P_{H_2O} = 6676,6 \cdot 0,5 = 3338 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$P_{H_2O} = 7439 \cdot 0,5 = 3719,5 \text{ Па};$$

Парциальное давление примеси (аммиака) в газовой среде:

$$P_i = \frac{C_i \cdot (273 + t) \cdot 133,3}{16 \cdot M_i \cdot 1000};$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ ;

$$P_i = \frac{10 \cdot (273 + 40) \cdot 133,3}{16 \cdot 17 \cdot 1000} = 1,503 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$P_i = \frac{10 \cdot (273 + 42) \cdot 133,3}{16 \cdot 17 \cdot 1000} = 1,52 \text{ Па};$$

Возможные парциальные давления компонентов газовой смеси над жидкостью приведены в табл. 17.

Парциальные давления основного газового компонента воздуха:

при  $t = 40^\circ\text{C}$ ;

$$P_B = 101325 - (5759,14 + 3206,4 + 2148 + 1,503) = 90210 \text{ Па};$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$P_B = 101325 - (6292 + 3487 + 2535 + 1,52) = 89010 \text{ Па};$$

Концентрация составляющих газовой смеси:

$$P_i = \frac{16 \cdot P_i \cdot M_i \cdot 1000}{(273 + t) \cdot 133,3} \text{ мг/м}^3 \quad (66)$$

при  $t = 40^\circ\text{C}$ ;

$$C_{H_2O} = \frac{16 \cdot 5759 \cdot 18,015 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 39876 ;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 3206,4 \cdot 78,10 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 96258 ;$$

$$C_D = \frac{16 \cdot 2148 \cdot 98,97 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 81710 ;$$

$$C_{NH_2} = 10;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 90210 \cdot 28,96 \cdot 1000}{(273+40) \cdot 133,3} = 1001690 ;$$

при  $t = 42^\circ\text{C}$ ;

$$C_{H_2O} = \frac{16 \cdot 6292 \cdot 18,015 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 43186 ;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 3487 \cdot 78,10 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 103770 ;$$

$$C_D = \frac{16 \cdot 2535 \cdot 98,97 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 95588 ;$$

$$C_{NH_2} = 10;$$

$$C_B = \frac{16 \cdot 89010 \cdot 28,96 \cdot 1000}{(273+42) \cdot 133,3} = 982115 ;$$

Средняя концентрация компонентов газовой смеси,  $\text{мг/м}^3$ :

$$C_{\text{ср } H_2O} = (39876 + 43186) / 2 = 41531;$$

$$C_{\text{ср } B} = (96258 + 103770) / 2 = 100014;$$

$$C_{\text{ср Д}} = (81710 + 95588) / 2 = 88634;$$

$$C_{\text{ср NH}_2} = 10;$$

$$C_{\text{ср В}} = (1001690 + 982115) / 2 = 991902.$$

Объем газовой смеси в аппарате:

$$V = \pi \cdot D \cdot H \cdot (1 - k_3); V = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 2,5 \cdot (1 - 0,7) = 3,3 \text{ м}^3.$$

Изменение температуры газовой смеси в аппарате:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 42 - 40 = 2^\circ\text{C}.$$

Увеличение объема газовой смеси при изменении температуры:

$$V_{\Gamma} = V \cdot \frac{\Delta t}{273} = 3,3 \cdot \frac{2}{273} = 0,024, \text{ м}^3.$$

Количество составляющих газовой смеси, выделяющихся из аппарата при малом дыхании, г/ч:

$$G_i = V_{\Gamma} \cdot C_{\text{ср } i},$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 0,024 \cdot 41531 \cdot 10^{-3} = 0,984; \quad G_{\text{В}} = 0,024 \cdot 100014 \cdot 10^{-3} = 2,400;$$

$$G_{\text{Д}} = 0,024 \cdot 88634 \cdot 10^{-3} = 2,127; \quad G_{\text{NH}_3} = 0,024 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,00024;$$

$$G_{\text{В}} = 0,024 \cdot 991902 \cdot 10^{-3} = 23,806.$$



## Задание для самостоятельной работы по лабораторному практикуму 7

**Задание 7.3** При «большом дыхании» аппарат через воздушку выделяют вредные вещества. Определить количество вредных веществ, выделяющихся через воздушку при «большом дыхании» аппарата.

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс.): вода; бензол и дихлорэтан. Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi$ , %. Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Температура жидкости и газовой среды в аппарате  $t$ , °С. Давление наружной среды  $B = 101\,325 \text{ Па}$ . Диаметр аппарата, м. Высота аппарата, м. Высота уровня жидкости перед заполнением, м. Время заполнения аппарата, мин при степени заполнения  $k_3$ .

Таблица 18

Состав жидкости в аппарате, % (масс.)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вода	50	60	40	20	30	25	15	35	30	55
бензол	30	10	20	55	25	40	70	55	20	40
дихлорэтан	20	30	40	25	45	35	15	10	50	5
$\varphi$	40	35	30	55	45	60	50	53	54	52
$t$	30	35	45	43	42	39	38	44	37	41
Диаметр аппарата	1,2	1,1	1,3	1,2	1,6	1,5	1,7	1,8	1,9	2
Высота аппарата	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	2,4	2,5	2,6
Высота уровня жидкости перед заполнением	0,1	0,15	0,17	0,3	0,25	0,26	0,27	0,2	0,24	0,25
Время заполнения аппарата	30	35	33	34	42	45	46	47	48	50
$k_3$	0,5	0,5	0,6	0,62	0,65	0,75	0,	0,85	0,86	0,9

**Задание 7.4** Определить количество вредных веществ, поступающих в атмосферный воздух через воздушку аппарата при изменении в течение 1 ч температуры жидкости и газовой среды в аппарате °С.

*Исходные данные.* Состав жидкости в аппарате, % (масс): вода; бензол и дихлорэтан . Газовая среда в аппарате – воздух с примесью аммиака. Влажность воздуха  $\varphi$  %. Концентрация аммиака в воздухе  $C_{NH_3} = 10 \text{ мг/м}^3$ . Давление наружной среды  $B = 101\,325 \text{ Па}$ . Диаметр аппарата м. Высота аппарата, м. Степень заполнения аппарата жидкостью  $k_3$  .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
вода	50	60	40	20	30	25	15	35	30	55
бензол	30	10	20	55	25	40	70	55	20	40
дихлорэтан	20	30	40	25	45	35	15	10	50	5
$\varphi$	40	35	30	55	45	60	50	53	54	52
$t$	30	35	45	43	42	39	38	44	37	41
Диаметр аппарата	1,2	1,1	1,3	1,2	1,6	1,5	1,7	1,8	1,9	2
Высота аппарата	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	2,4	2,5	2,6
Высота уровня жидкости перед заполнением	0,1	0,15	0,17	0,3	0,25	0,26	0,27	0,2	0,24	0,25
Время заполнения аппарата	30	35	33	34	42	45	46	47	48	50
$k_3$	0,5	0,55	0,6	0,62	0,65	0,75	0,8	0,85	0,86	0,9
Температуры жидкости и газовой среды в аппарате с 40 до 42°С.										
T	41-43	39-40	42-44	38-40	37-39	40-42	38-40	36-38	37-39	41-43

### **Вопросы для самоконтроля по теме 7:**

Методы очистки и обезвреживания отходящих газов.

2. Очистка газов дожиганием.
3. Природный цеолит. Его применение в очистке газа.
4. Цеолит как адсорбент и абсорбент в процессе очистки природного газа.
5. Защита литосферы от промышленных загрязнений.
6. Утилизация и обезвреживание твердых отходов.
7. ПДВ вредных веществ в атмосферу. Контроль.
8. Предельно допустимые концентрации некоторых технических композиций в воздухе.
9. Жидкий диоксид углерода. Очистка.
10. Методы и средства сухой очистки газовоздушных выбросов.
11. Аппараты мокрой очистки газов.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ №8

**Определение классификационной группы пыли по дисперсности. определение скорости витания частиц и расчет параметров пылеосадочной камеры**

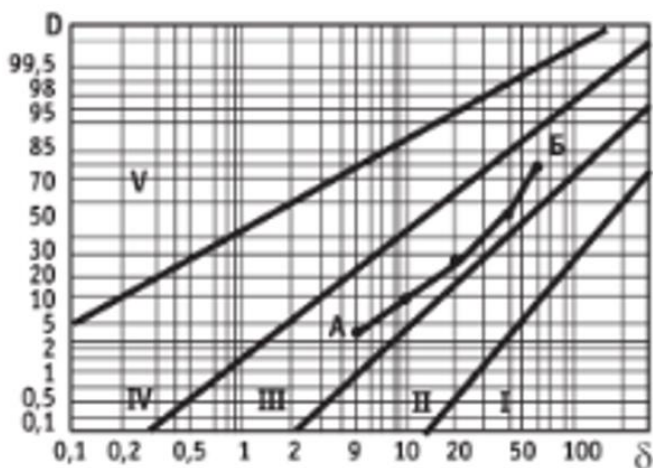
### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с методикой оценки дисперсионного состава пыли.
2. Определить группу дисперсности пыли и скорости витания частиц пыли с помощью номограммы,
3. Приобрести первоначальные навыки расчета параметров пылеосадочной камеры.

### **Общие положения**

#### *Определение классификационной группы пыли по дисперсности*

Дисперсность пыли означает распределение частиц пыли по их размерам, то есть это характеристика, отражающая соотношение массы пыли к размерам её составляющих частиц. (рис. 7) [4].



**Рис. 7.** Номограмма для определения группы дисперсности пыли:

$\sigma$  – размер частиц пыли, мкм;

D – суммарная масса всех частиц пыли, имеющих размер менее данного  $\sigma$ , % (от общей массы частиц пыли);

I-V – зоны, характеризующие группы дисперсности пыли

*По дисперсности различают следующие виды пыли:*

- Зона I – очень крупнодисперсная пыль с медианным размером диаметра более 150 мкм. Определяется при условии, что количество частиц крупнее или мельче указанного медианного размера в пыли составляет 50%;
- Зона II – крупнодисперсная пыль диаметром от 40 до 150 мкм (например, кормовые дрожжи, моющие синтетические средства, мелкозернистый строительный песок для строительных растворов);
- Зона III – среднедисперсная пыль диаметром от 10 до 40 мкм (например, белково-витаминные концентраты, цемент);
- Зона IV – мелкодисперсная пыль от 1 до 10 мкм (например, сахарная пудра, крахмал, порошок какао, кварц вылеводный);
- Зона V – очень мелкодисперсная пыль диаметром меньше 1 мкм.

Группу дисперсности пыли определяют при помощи номограммы, представленной на рис. 1, на основании данных о фракционном составе пылей, полученных опытным путем. Номограмма разбита на 5 зон (I-V), которые соответствуют классификационным группам пыли. Чтобы классифицировать определенный вид пыли, на номограмме отмечают точки, которые представляют содержание ее различных фракций. После соединения этих точек формируется линия, прямая или ломаная, и ее положение на номограмме указывает на принадлежность пыли к определенной классификационной группе, ассоциируемой с этой областью. В случае, когда линия дисперсности выходит за рамки одной зоны и пересекает ее границы, следует классифицировать пыль по группе, соответствующей более высокой зоне.

## Методика проведения расчетов

### Задание 8.1

*Определить классификационную группу пыли, если она имеет следующий дисперсный состав, определенный по «частным остаткам»*

1. По рисунку 1 наносим точки, соответствующие содержанию фракций по «полным проходам», на монограмму и, соединив их, получаем ломаную линию АБ.
2. Определить линию расположения в зоне.
3. Определить классификационную группу.

Таблица 19

Размер частиц, мкм.	<5	5-10	10-20	20-40	40-60	>60
Содержание фракций по «частным остаткам», % по массе	6	8	22	26	23	15

*Решение.* Находим дисперсный состав пыли по «полным проходам»:

Размер частиц, мкм.	<5	<10	<20	<40	<60
Содержание фракций по «полным проходам», % по массе	6	14	36	62	85

Наносим точки, соответствующие содержанию фракций по «полным проходам», на монограмму (рис. 1) и, соединив их, получаем ломаную линию АБ. Вся линия расположилась в зоне III, следовательно, данная пыль относится к классификационной группе III.

### **2. Определение скорости витания частиц.**

*Скорость витания сферических частиц* – это скорость вертикального потока воздуха, при которой частица находится во взвешенном состоянии («витает»), можно определить по графику (рис. 2) или рассчитать по формуле (1).

Для частиц диаметром до 50-60 мкм ( $0 < Re < 1$ ) скорость витания, м/с:

$$v_s = \frac{d^2 \gamma}{18 \mu_B}, \quad (67)$$

где  $d$  – диаметр пылевой частицы, м;

$\gamma$  – удельный вес частицы, кгс/м<sup>3</sup>;

$\mu_B$  – динамическая вязкость воздуха в данных условиях, кгс\*с/ м<sup>2</sup>.

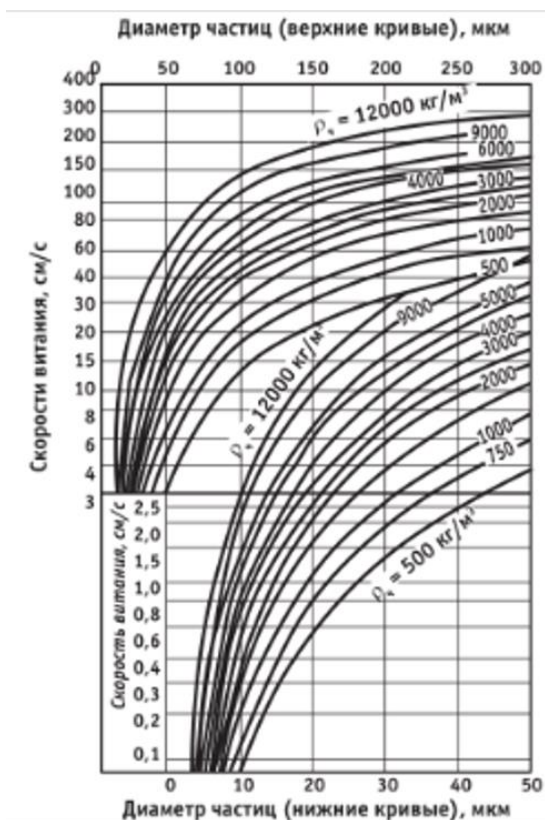


Рис. 82. График для определения скорости витания  $v_s$  частиц различного размера  $d$  и удельного веса  $\gamma$  при температуре 20°C.

### Методика проведения расчетов

**Задание 8.2** Определить, пользуясь графиком на рис. 2 и формулой (67), скорость витания частицы диаметром 10 мкм =  $10 \cdot 10^{-6}$  м при её удельном весе  $\gamma = 2,5$  г/см<sup>3</sup> и температуре воздуха 50°C.

### Последовательность расчета

**Решение.** По графику на рис. 2 скорость витания  $v_s = 0,76$  см/с. Для учета истинного значения вязкости воздуха  $\mu_B$  при  $t = 50^\circ\text{C}$  умножаем полученное значение на поправочный коэффициент  $K$ , определенный с помощью следующих данных (табл. 19):

Таблица 19

Температура воздуха, °С	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
Динамическая вязкость воздуха при давлении 760 мм рт.ст $10^{-6} \mu_B$ , кгс*с/м <sup>2</sup>	1,56	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,95	2,00	2,04

Значение коэффициента  $K$  рассчитывается по формуле

$$K = \frac{\mu_{B20}}{\mu_{B50}} \quad (68)$$

$$K = \frac{1,81 \cdot 10^{-6}}{1,95 \cdot 10^{-6}} = 0,928$$

и тогда

$$v_{s50} = 0,76 * 0,928 = 0,705 \text{ см/с.} \quad (3)$$

$$v_{s50} = \frac{(10 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2500}{18 \cdot 1,95 \cdot 10^{-6}} = 0,7 * 10^{-2} \text{ м/с} = 0,7 \text{ см/с.} \quad (4)$$

### 8.3 Расчет параметров пылеосадочной камеры

Расчет пылеосадочных камер проводят в следующей последовательности. Сначала задают минимальные размеры пылевых частиц, которые необходимо уловить в пылеосадочной камере, и находится скорость их витания  $v_s$ , м/с, по монограмме (рис. 2).

Затем определяется площадь поперечного сечения пылеосадочной камеры, м<sup>2</sup>

$$S = bh = \frac{Q}{3600v}, \quad (69)$$



Где  $b$ ,  $h$  – соответственно ширина и высота камеры, м;

$Q$  – объем загрязненного воздуха, проходящего через камеры, м<sup>3</sup>/ч;

$v$  – скорость движения воздуха в камере должна быть в пределах 0,2-0,5 м/с, выбирается из условия обеспечения ламинарного режима течения.

Задавая высоту камеры  $h$ , находят её ширину  $b$ , м:

$$b = Sh. \quad (70)$$

Длина камеры, м:

$$l \geq \frac{hv}{v_{\text{ч}}} \quad (71)$$

### Методика проведения расчетов

**Задание** Рассчитать размеры пылесадочной камеры для очистки воздуха, загрязненного пылью, проходящего через камеру объемом 4500 м<sup>3</sup>/ч, плотность частиц которой 700 кг/м<sup>3</sup>, а средний диаметр  $2 \cdot 10^{-5}$  м. Температура удаляемого воздуха 20 °С.

### Последовательность расчета

**Решение.** По номограмме (рис. 8) находится скорость витания частиц пыли:  $v_{\text{ч}}=0,8$  м/с. Если температура удаляемого воздуха отличается от 20 °С, вводится поправка в соответствии с формулой (69).

Приняв скорость движения воздуха в пылесадочной камере  $v = 0,5$  м/с, находится площадь ее поперечного сечения:

$$S = \frac{4500}{3600 \cdot 0,5} = 2,5 \text{ м}^2.$$

Задавая высоту камеры  $h = 2,5$  м, рассчитывается ее ширина:

$$b = \frac{S}{h} = \frac{2,5}{2,5} = 1 \text{ м}.$$

Минимальная длина камеры:

$$l = 2,5 * \frac{0,5}{2,8} = 1,563 \text{ м}.$$

Приняв  $l=1,6\text{м}$ , проверяется выполнение условия  $\nu < \frac{lv_{\text{ч}}}{h}$ :

$$0,5 < 1,6 * \frac{0,8}{2,5} \text{ или } 0,5 < 0,512.$$

Условие выполняется, следовательно, размеры пылесадочной камеры определены правильно.

## Задания для самостоятельного решения по лабораторному практикуму 8

Задания выполняются в соответствии с вариантом (табл. 20).

### *Задание 1.*

А) Определить группу дисперсности пыли при помощи номограммы (рис. 1).

Б) Определить скорость витания частицы по номограмме, приведенной на рис. 2, с учетом поправки на температуру, и по формуле 1. Сравните полученные значения.

### *Задание 2.*

Рассчитать параметры пылесадочной камеры для условий задачи 2.

*Таблица 20*

### Задания для самостоятельного решения

Параметры		Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Задание 1</b>	Размер частиц, мкм	Содержание фракций по «частным остаткам», % по массе									
	< 5	5	6	5	8	6	7	5	10	4	8
	5-10	9	8	8	12	10	15	10	12	8	8
	10-20	22	25	22	20	15	18	25	20	17	20
	20-40	26	26	29	22	21	22	18	24	30	28
	40-60	24	20	20	22	23	25	18	16	17	20
	> 60	14	15	15	16	15	13	24	21	24	16
<b>Задание 2</b>	Диаметр пылевой частицы, мкм	0	5	0	5	0	0	0	0	5	0
	Удельный вес частицы, кгс/м <sup>3</sup>	1,5	2,5	3,8	1,2	2,0	4,0	0,9	1,0	1,5	2,5
	Температура воздуха, °С	10	20	30	50	70	40	60	20	50	30

## Вопросы для самоконтроля по теме 8

1. Какие характеристики пыли определяют выбор способа пылеулавливания?
2. Назовите основные физико-химические характеристики пыли. Охарактеризуйте их.
3. Что такое дисперсность пыли? Как классифицируются пыли по дисперсности?
4. Как определяется дисперсионная группа пыли?
5. Назовите основные механизмы пылеулавливания.
6. Назовите аппараты, в которых пылеулавливание происходит под действием силы гравитации. Для улавливания каких пылей они применяются?
7. Что называется эффективностью пылеулавливания? Какие характеристики пылеосадочных камер определяют эффективность пылеулавливание?
8. Мокрые методы пылеочистки с использованием явлений абсорбции и хемосорбции.
9. Методы адсорбционной очистки, каталитического и термического обезвреживания отходящих газов.
10. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. Справ. изд. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
2. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. Справ. изд. – М.: Химия, 1991. – С.20-21. <https://www.c-o-k.ru/library/document/12290>
3. Шишмина Л.В. Практикум по экологии нефтедобывающего комплекса: Учебное пособие / Шишмина Л.В., Ельчанинова Е.А., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 144 с. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=701941> С.27-34
4. Тимофеева С.С. Промышленная экология. Практикум : учеб. пособие / С.С. Тимофеева, О.В. Тюкалова. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. - 128 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). С.14-20- Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=858602>
5. Шишмина Л.В. Литература Практикум по экологии нефтедобывающего комплекса: Учебное пособие / Шишмина Л.В., Ельчанинова Е.А., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. – 58-60 с. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=701941>
6. Луканин А.В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки сточных вод и переработки осадков : учеб. пособие / А. В. Луканин. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 605 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; URL: <http://www.znanium.com>]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org](http://www.dx.doi.org) / 10.12737 / 22139. - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=556200>
7. Луканин А.В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки газовоздушных выбросов : учеб. пособие / А.В. Луканин. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 523 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/24376](http://www.dx.doi.org/10.12737/24376). - Режим доступа: <https://znanium.com/bookread2.php?book=924676>
8. Тищенко Н.Ф. Справочник. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределения в воздухе. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12290>.