

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автоматизация и математическое моделирование в НГК»

---

**Технология и продукты переработки нефти и газа**

методические указания для выполнения контрольной работы  
для студентов заочной формы обучения

Ростов–на–Дону  
ДГТУ  
2025

В процессе изучения курса «Технология и продукты переработки нефти и газа» студент-заочник должен выполнить контрольную работу на тему из перечня, представленного в таблице. К работе над темой реферата можно приступить только после усвоения теоретической части курса. *Каждый обучающийся выполняет вариант заданий, соответствующий двум последним цифрам номера студенческого билета* (таблица). Например, номер студенческого билета 98546, две последние цифры 46, им соответствует вариант контрольного задания под номером 7 (согласно объяснениям, приведенным ниже таблицы). В конце реферата следует привести список использованной литературы. Ссылки на используемую литературу оформляют в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008.

### Контрольные задания

**Таблица – Выбор варианта**

Последние цифры номера зачетной книжки *	№ варианта	Номер темы						
		1	2	3	4		5	6
<b>X0</b>	<b>1</b>	1	1	1	1	21	1	1
<b>X1</b>	<b>2</b>	2	2	2	2	22	2	2
<b>X2</b>	<b>3</b>	3	3	3	3	23	3	3
<b>X3</b>	<b>4</b>	4	4	4	4	24	4	4
<b>X4</b>	<b>5</b>	5	5	5	5	25	5	5
<b>X5</b>	<b>6</b>	6	6	6	6	26	6	6
<b>X6</b>	<b>7</b>	7	7	7	7	27	7	7
<b>X7</b>	<b>8</b>	8	8	8	8	28	8	8
<b>X8</b>	<b>9</b>	9	9	9	9	29	9	9
<b>X9</b>	<b>10</b>	10	10	10	10	30	1	10
<b>Y0</b>	<b>11</b>	11	11	11	11	1	2	11
<b>Y1</b>	<b>12</b>	12	12	12	12	2	3	1
<b>Y2</b>	<b>13</b>	13	13	13	13	3	4	2
<b>Y3</b>	<b>14</b>	14	14	14	14	4	5	3
<b>Y4</b>	<b>15</b>	15	15	15	15	5	6	4
<b>Y5</b>	<b>16</b>	16	16	16	16	6	7	5
<b>Y6</b>	<b>17</b>	17	17	17	17	7	8	6
<b>Y7</b>	<b>18</b>	18	1	18	18	8	9	7
<b>Y8</b>	<b>19</b>	19	2	1	19	9	1	8
<b>Y9</b>	<b>20</b>	20	3	2	20	10	2	9

*\*- где X – это любая цифра от 0 до 4; а Y – это любая цифра от 5 до 9*

**Контрольная работа, выполненный не по своему варианту, преподавателем не рецензируется и не засчитывается.**

## 1 АЛКАНЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В НЕФТЯХ И ГАЗАХ

**Алканы** – углеводороды ряда  $C_nH_{2n+2}$ . По имени первого члена этого ряда-метана ( $CH_4$ ) алканы часто называют метановыми углеводородами. Присутствуют во всех нефтях и являются одной из составных ее частей. Распределяются они по фракциям неравномерно, концентрируясь главным образом в нефтяных газах и бензино-керосиновых фракциях, в масляных их содержание резко падает. Алканы обычно представлены в нефти во всех трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом.

**Газообразные** ( $C_1$ - $C_4$ : метан, этан, пропан, бутан, изобутан, а также 2,2-диметилпропан – неопентан) образуют основную массу природного и попутного газа, сопровождающего нефть, находятся в нефти в растворенном состоянии.

**Жидкие** алканы ( $C_5$  -  $C_{15}$ ) составляют основную массу бензиновой и керосиновой фракций нефти, представлены в нефтях углеводородами нормального строения и изомерами с разветвленной цепью.

**Твердые** алканы ( $C_{16}$  и выше) входят в состав нефтяного **парафина** и **церезина**. Содержание их в нефтях колеблется от десятых долей до 5%. Находятся в растворенном либо во взвешенном кристаллическом состоянии. При низких температурах растворимость их в нефти и нефтяных фракциях невелика, поэтому при подъеме на поверхность парафины скапливаются в скважинах, промысловых и нефтесборных трубопроводах, затрудняя эксплуатацию и транспорт нефти.

Нефтяные *парафины* - смесь преимущественно алканов разной молекулярной массы, а основной компонент *церезинов* - нафтеновые углеводороды, содержащие в молекулах боковые цепи как нормального, так и изостроения. При одинаковой температуре плавления церезины отличаются от парафинов большими молекулярными массами, плотностью и вязкостью. Парафины легко кристаллизуются в виде пластинок, церезины - в виде мелких игл.

Метановые углеводороды практически нерастворимы в воде, хорошо растворимы в эфире, ароматических углеводородах (бензоле, толуоле и т.п.), плотность их меньше плотности воды. Температуры кипения и плавления зависят от размеров молекул и возрастают в гомологическом ряду с увеличением молекулярной массы. Среди изомеров углеводороды нормального строения имеют наиболее высокие температуры кипения и плотности. Алканы обладают большой теплотворной способностью ( $\Delta H_{гор}$ , МДж/кг для  $CH_4$  – 56,  $C_4H_{10}$  – 50,  $C_8H_{18}$  – 48).

Алканы относятся к наименее реакционноспособным органическим соединениям, однако они не являются химически инертными. При определенных условиях они вступают в **реакции окисления**, галогенирования, нитрования, сульфохлорирования, дегидрирования.

Химические превращения метановых углеводородов могут происходить либо за счет отрыва атомов водорода с последующим замещением их другими атомами или группами (реакции замещения), либо за счет разрыва цепи углеродных атомов (расщепления).

### Задачи

1. Напишите структурные формулы изомерных предельных углеводородов состава  $C_7H_{16}$ , главная цепь которых состоит из пяти углеродных атомов, и назовите их по систематической номенклатуре. Укажите число первичных, вторичных, третичных и четвертичных атомов углерода в каждом изомере.

2. Приведите уравнение реакции крекинга гексадекана.

3. Напишите структурные формулы всех предельных углеводородов с пятью атомами углерода в главной цепи, плотность паров которых по водороду равна 50. Назовите их по систематической номенклатуре.

4. При гидролизе карбида алюминия образовался метан объемом 2,24 л (н.у.). Вычислите массу образовавшегося гидроксида алюминия.

5. Напишите уравнения реакций, при помощи которых из метана и неорганических реагентов можно получить бутан.

6. Напишите все изомеры соединений состава  $C_8H_{18}$ ,  $C_4H_7Br$ .

7. При дегидрировании бутана объемом 10 л выделилось 20 л водорода. Установите молекулярную формулу образовавшегося продукта. Объемы газов измерены при одинаковых условиях.

8. Напишите структурные формулы всех возможных изомерных радикалов:  $C_2H_5-$ ,  $C_3H_7-$ ,  $C_4H_9-$  и назовите их.

9. Напишите последовательность реакций, с помощью которых из метана можно получить 2,2,3,3 – тетраметилбутан.

10. Напишите структурные формулы соединений по их названиям: 2-метилпента, 2,5,6-триметилгектан, 3,3-диэтилгексан, 2-метил-4-изопропилнонан. Изобразите структурные формулы изомеров алкана  $C_6H_{14}$  и назовите их.

11. Какие из перечисленных ниже соединений являются изомерами: а) 2-метилгексан; б) 3-метилгептан; в) 3-этилгексан; г) 2,2 – диметилгептан; д) 2,4-диметилгексан; е) 2-метилоктан? Дать определение изомеров.

12. Какой объем водорода в толуол, если реакция протекает с выходом 75% от теоретического?

13. Определите молекулярную формулу предельного углеводорода, если известно, что при полном сгорании 8,6 г его образовалось 13,44 л (н.у.) оксида углерода (IV).

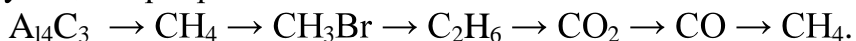
14. В веществе А содержится 83,33% углерода по массе и водород. Установите возможные структурные формулы А.

15. Вычислите элементный состав (% по массе) предельных углеводородов, плотность паров которых по водороду равна 36.

16. Углеводород неразветвленного строения А изомеризуется в вещество В, которое при дегидрировании образует соединение С, применяемое в синтезе каучука. Приведите формулы веществ А, В и С. Напишите уравнения реакций.

17. При сгорании алкана массой 3,6 г образуется оксид углерода (IV) объемом 5,6 л (н.у.). Какой объем кислорода, приведенный к нормальным условиям, потребуется для реакции.

18. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



Укажите условия протекания реакций.

19. При крекинге углеводорода А образуются два других углеводорода с одинаковым числом углеродных атомов. Углеводород с меньшей относительной молекулярной массой В при дегидрировании образует вещество С, используемое в синтезе каучука. Приведите формулы веществ А, В, С. Напишите уравнение реакций.

20. Органическое вещество содержит углерод (массовая доля 84,21%) и водород (15,79%). Плотность паров вещества по воздуху составляет 3,93. Определите формулу этого вещества.

## 2 ЦИКЛОАЛКАНЫ НЕФТИ

В нефти содержатся **нафтеновые** углеводороды циклического строения  $C_nH_{2n}$ . – **циклоалканы (циклопарафины)**. В.В. Марковников назвал их нафтенами. В дальнейшем под нафтенами начали понимать не только моноциклические, но и полициклические углеводороды нефтяного происхождения.

По общему содержанию нафтены во многих нефтях преобладают над остальными классами углеводородов. В различных нефтях от 25 до 75% циклопарафинов. Нафтены входят в состав всех нефтей и присутствуют во всех фракциях. Их содержание растет по мере утяжеления фракций.

Простейшие циклоалканы - циклопропан, циклобутан, и их гомологи - в нефтях не обнаружены. Моноциклические нафтены ряда  $C_nH_{2n}$  широко представлены в нефтях циклопентановыми и циклогексановыми производными. Строение их разнообразно, так как для них возможно 4 вида изомеров: изомерия кольца, изомерия местоположения боковых цепей, изомерия строения боковых цепей и стереоизомерия (цис- и транс-).

В настоящее время в бензиновых фракциях различных нефтей обнаружено более 50 индивидуальных представителей этого класса углеводородов. Таким образом, в бензинах и частично в керосинах присутствуют, в основном, моноциклические нафтены рядов циклопентана и циклогексана с короткими боковыми цепями. В среднем циклопентановое кольцо преобладает над циклогексановым. Основная масса полициклических нафтенных имеет *конденсированное строение*. Количество углеродных атомов в боковых цепях нафтенных может быть разнообразным - от 3 до 10 в средних фракциях и от 20 до 28 в высококипящих фракциях нефти. Высокомолекулярные циклические углеводороды с большим числом атомов углерода в боковой цепи правильнее относить не к нафтенам, а к парафино-циклопарафиновым углеводородам.

Полициклические нафтены с длинными парафиновыми цепями имеют высокую температуру плавления и поэтому попадают в состав церезинов.

*Физические свойства.* Температура кипения циклопарафинов больше температуры кипения парафинов. Циклоалканы во многом определяют состав нефти и свойства нефтепродуктов, однако нафтены не выделяют из нефти, а получают синтетически, например по реакции Вюрца, т.е. дегалогенированием дигалогенпроизводных углеводородов.

*Химические свойства.* Циклопентан и циклогексан в химическом отношении ведут себя аналогично пентану и гексану. Циклопропан и циклобутан более активны,

они легко вступают в реакции присоединения с раскрытием кольца и образованием ациклических (линейных) продуктов. Циклогексан при нагревании на тех же катализаторах, но без водорода дегидрируется в ароматический углеводород - бензол (реакция Зелинского). Это одна из наиболее важных реакций, протекающих в промышленном процессе ароматизации бензиновых фракций. Для циклоалканов характерны также реакции свободнорадикального **замещения** в цикле. При действии сильных окислителей циклопарафины образуют двухосновные карбоновые кислоты с тем же числом атомов углерода (Например, адипиновая кислота образуется из циклогексана). Продукты окисления используются в производстве синтетических волокон, пластификаторов пластмасс.

### Задачи

1. Углеводород циклического строения, не имеющий ответвлений в циклической цепи, имеет плотность паров по воздуху 1,931. Массовая доля углерода в этом веществе составляет 85,7%. Определите формулу углеводорода и напишите его структурную формулу.

2. При сгорании циклоалкана массой 7 г образуется оксид углерода массой 22 г. Какой объем кислорода, измеренный при нормальных условиях, расходуется при этом?

3. Для сжигания некоторого объема циклопарафина требуется шестикратный объем кислорода. Рассчитайте максимальную массу гидроксида бария, которая может вступить в реакцию с продуктом горения 1 л (н.у.) этого парафина.

4. Определите формулу циклоалкана, на сгорание которого затрачивается объем кислорода в 9 раз больший, чем объем паров циклоалкана. Назовите этот циклоалкан, если известно, что его углеводородный скелет имеет неразветвленное строение.

5. Составьте уравнения реакций: а) гидрирования циклобутана; б) гидрогалогенирования циклопропана; в) галогенирования циклопропана; г) полного окисления циклопентана.

6. При сгорании 1 л паров циклопарафина получается 6 л углекислого газа. Какой объем кислорода при этом расходуется? (Все объемы измеряются при одинаковых условиях).

7. Напишите формулу циклопарафина, при сгорании паров которого получается в 5 раз больший объем оксида углерода (IV), чем объем исходного парафина, измеренный при тех же условиях.

8. Напишите формулу циклопарафина, на сгорание паров которого расходуется в 6 раз больший объем кислорода.

9. Сколько различных циклопарафинов соответствуют молекулярной формуле  $C_5H_{10}$ ? Изобразите их структурные формулы и напишите названия.

10. Составьте уравнения реакций, при помощи которых можно получить: а) циклобутан из бутана; б) бутан из циклобутана; в) оксид углерода (IV) из циклопропана; г) бензол из гексана.

11. Напишите структурные формулы соединений:

- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| а) 1,1-диметилциклобутан;     | б) 1,1,2,2-тетраметилциклобутан; |
| в) 1-бром-2-метилциклогексан; | г) 1,3-диметилциклогексен;       |

д) изопропилциклогексан;

е) 1,3-дихлорциклопентан.

12. Углеводород А, плотность которого при нормальных условиях равна 2,5 г/л, не обесцвечивает водный раствор перманганата калия, а при взаимодействии с водородом в присутствии платины дает смесь двух веществ. Определите структуру А.

13. Напишите структурные формулы соединений:

а) циклогептан;

б) этилциклогексан;

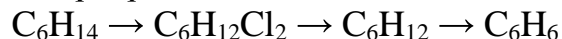
в) 1,3-диметилциклопентан;

г) 1,2-дихлорциклопентан;

д) 1,2-диметилциклопропан;

е) 1,1,2-триметилциклопентан.

1.2.13. Осуществите превращения по схеме:



14. Какой объем воздуха расходуется для полного сжигания смеси циклобутана и бутена объемом 10 л? Объемы газов измерены при одинаковых условиях.

15. Циклогексен массой 12,3 г подвергли гидрированию. Продукт гидрирования сожгли, получив оксид углерода (IV) объемом 13,44 л (н.у.) Определите выход продукта гидрирования, если выход продуктов горения – количественный.

16. Гексахлоран (гексахлорциклогексан) является продуктом реакции присоединения максимального количества хлора к молекуле бензола. Он применяется как ядохимикат для борьбы с вредными насекомыми и с болезнями растений, для уничтожения сорняков. Сколько г хлора потребуется для превращения 39 г бензола в гексахлоран?

17. Два углеводорода А и Б, имеющие циклическое строение, являются соседними членами гомологического ряда. Массовая доля углерода в обоих веществах А и Б составляет 85,71%. Относительная плотность смеси А и Б по водороду составляет 29,4. Определите формулы углеводородов А и Б. К какому гомологическому ряду они относятся? Изобразите структурные формулы изомеров веществ А и Б. Рассчитайте массовые доли газов в их смеси.

### 3 АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ НЕФТИ

Основная масса **моноциклических аренов** представлена в нефти полиметилзамещенными бензола. Общее содержание моноциклических аренов в нефтях:

во фракции до 200 °С - 5-25%; °

во фракции 200-350 °С - 15-35% (наряду с производными бензола, в керосиногазойлевой фракции присутствует нафталин и его гомологи, то есть бициклические конденсированные ароматические углеводороды);

во фракции > 350°С – небольшое количество (в основном **полициклические ароматические углеводороды** с 3,4,5-ю конденсированными бензольными кольцами).

*Физические свойства.* По своему агрегатному состоянию моноциклические арены - жидкости с различными температурами кипения. Конденсированные полициклические арены - твердые вещества с различными температурами плавления. Плотности и показатели преломления аренов выше, чем у соответствующих алканов и циклоалканов.

*Химические свойства.* Наиболее характерными для ароматических углеводородов являются реакции **электрофильного замещения** в кольце. Протекают они



сравнительно легко. Существуют определенные правила ориентации в реакциях электрофильного замещения в ароматическом ряду: место вступления второго заместителя в бензольное кольцо определяется природой уже имеющегося заместителя. Заместители бывают двух типов: электронодонорные и электроноакцепторные.

К электронодонорным заместителям относятся:  $-CH_3$ ,  $-OH$ ,  $-NH_2$ ,  $-Cl$  ( $-F$ ,  $-Br$ ,  $-I$ ). Они способствуют электрофильному замещению в *орто*- и *пара*- положениях бензольного кольца и называются заместителями I рода.

К электроноакцепторным заместителям относятся:  $-NO_2$ ,  $-SO_3H$ ,  $-COH$ ,  $-COOH$ . Они способствуют электрофильному замещению в *мета*- положение бензольного кольца и называются заместителями II рода.

Реакции **присоединения** протекают трудно в жестких условиях (давление, освещение зоны реакции и т.п.). В реакции **окисления** легко вступают алкилбензолы. Они окисляются легко, по  $\alpha$ -звену боковой цепи, образуя соответствующие карбоновые кислоты. Незамещенные бензолы окисляются трудно в жестких условиях.

Моноциклические арены, а также нафталин и его производные - ценное химическое сырье для нефтехимического и органического синтеза. Из них производят синтетические каучуки, пластмассы, синтетические волокна, взрывчатые, анилино-красочные и фармацевтические вещества.

### Задачи

1. Составьте структурные формулы изомеров, отвечающих формуле  $C_8H_{10}$  и содержащих ароматическое кольцо.

2. Сколько изомерных гомологов бензола может отвечать формуле  $C_9H_{12}$ ? Напишите структурные формулы изомеров и назовите их.

3. Какой объем воздуха, измеренный при нормальных условиях, потребуется для полного сгорания 1,4-диметилбензола массой 5,3 г? Объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%.

4. При сжигании гомолога бензола массой 0,92 г в кислороде получили оксид углерода (IV), который пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. При этом образовался осадок массой 7 г. Определите формулу углеводорода и назовите его.

5. Ароматический углеводород, являющийся гомологом бензола, массой 5,3 г, сожгли, получив оксид углерода (IV) объемом 8,96 л (н.у.). Определите формулу углеводорода. Сколько изомеров может иметь этот углеводород среди гомологов бензола? Напишите структурные формулы этих изомеров.

6. Из ацетилена объемом 3,36 л (н.у.) получили бензол объемом 2,5 мл. Определите выход продукта, если плотность бензола равна 0,88 г/мл.

7. При бромировании бензола в присутствии бромиды железа (III) получили бромоводород, который пропустили через избыток раствора нитрата серебра. При этом образовался осадок массой 7,52 г. Вычислите массу полученного продукта бромирования бензола и назовите этот продукт.

8. Бензол, полученный дегидрированием циклогексана объемом 151 мл и плотностью 0,779 г/мл, подвергли хлорированию при освещении. Образовалось хлорпроизводное массой 300 г. Определите выход продукта реакции.

9. Приведите уравнения реакции, необходимых для превращений:

а) гексан  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  циклогексан;

б) ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  гексахлорциклогексан.

10. Приведите не менее трех химических реакций, в результате которых может быть получен толуол. Укажите необходимые условия протекания реакций.

11. В лаборатории из 25 л ацетилена было получено 16 г бензола. Сколько это составляет (в %) от той массы, которая должна была образоваться согласно уравнению реакции?

12. Составьте формулы бромзамещенных толуола, в которых массовая доля брома составляет 46,72%.

13. Сколько может существовать изомерных триметилбензолов и тетраметилбензолов? Составьте их формулы строения и укажите, какие из этих соединений можно назвать симметричными.

14. Чем отличается по типу реакция брома с бензолом от реакции его с этиленом? Ответ подтвердите, приведя уравнения реакций.


15. Действием брома на 78 г бензола было получено столько же граммов бромбензола. Сколько это составляет (в %) от той массы, которая должна образоваться, если весь взятый бензол вступил бы в реакцию?

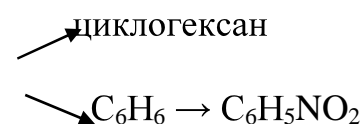
16. К смеси изомерных бутенов-2 и бензола добавили бромной воды до появления слабой окраски и после отмывки избытка брома раствором щелочи смесь высушили и перегнали. Какое вещество было получено в приемнике?

17. При сжигании 1,3 г вещества образуется 4,4 г углекислого газа и 0,9 г воды. Плотность паров этого соединения по водороду равна 39. Выведите молекулярную формулу этого вещества.

18. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:

а)  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$

б)  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{C}$  

в)  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{14}$  

#### 4 АЛКЕНЫ, АЛКАДИЕНЫ И АЛКИНЫ

Ранее считалось, что алкены либо не содержатся в нефтях, либо содержатся в незначительных количествах. В конце 80-х годов было показано, что в ряде нефтей Восточной Сибири, Татарии и других районов России содержание алкенов может достигать до 15-20 % от массы нефти.

Ненасыщенные углеводороды (алкены и диолефины) содержатся в продуктах термической и термокаталитической переработки нефтяных фракций (в газах и жидких продуктах термического и каталитического крекинга, пиролиза, коксования и т.д.).

**Алкены** - ненасыщенные углеводороды, содержащие двойную связь  $\text{C}=\text{C}$ . Раньше эти соединения называли *олефинами*. Общая формула алкенов  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Простейшим представителем алкенов является этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Ненасыщенные циклические

углеводороды с одной двойной связью называются **циклоалкенами** или циклоолефинами (общая формула  $C_nH_{2n-2}$ ). **Диеновые углеводороды** (диолефины) имеют две двойные связи (общая формула  $C_nH_{2n-2}$ ). **Алкины** - ненасыщенные углеводороды, содержащие в молекуле тройную связь  $C\equiv C$ . Простейшим представителем алкинов является ацетилен  $C_2H_2$ , поэтому их часто называют ацетиленовыми углеводородами. Общая формула алкинов  $C_nH_{2n-2}$ .

*Физические свойства.* Алкены  $C_2-C_4$  при нормальных условиях - газы, алкены  $C_5-C_{17}$  - жидкости, а следующие - твёрдые вещества. Плотность алкенов несколько выше, чем соответствующих алканов. Алкены в воде растворяются мало, но лучше, чем алканы. Хорошо растворяются в органических растворителях. Адсорбционная способность алкенов ниже, чем аренов, но выше, чем алканов. На этом основано количественное определение алкенов в нефтепродуктах методом адсорбционной хроматографии.

Алкины  $C_2-C_3$  - газы,  $C_4-C_{16}$  - жидкости, высшие - твёрдые вещества. Температура кипения алкинов несколько выше, чем у соответствующих алкенов. Это связано с повышенным межмолекулярным взаимодействием в ряду алкинов, поскольку они обладают некоторым дипольным моментом. По этой же причине растворимость низших алкинов в воде несколько выше, чем алкенов, однако она всё же очень мала. Плотность и показатель преломления алкинов значительно выше, чем у алкенов и, тем более, алканов.

*Химические свойства.* Химические свойства алкенов определяются наличием двойной связи. Для алкенов характерны реакции присоединения: гидрирование, галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация, сульфирование.

Особым типом реакций присоединения является полимеризация этиленовых углеводородов. Непредельные соединения с сопряжёнными двойными связями обладают рядом специфических особенностей. В алкадиенах с сопряжёнными связями происходит присоединение к крайним атомам углерода, и в середине молекулы возникает вместо одинарной двойная связь.

Химические свойства алкинов обусловлены природой тройной связи. Типичными реакциями алкинов, так же, как и для алкенов, являются реакции присоединения. Но они для алкинов протекают медленнее, чем для алкенов.

Непредельные углеводороды вследствие высокой реакционной способности легко окисляются кислородом воздуха (особенно диены). В результате окисления образуются осадки и смолы, которые могут привести к нарушению работы двигателей. Поэтому для получения стабильных к окислению нефтепродуктов их либо подвергают очистке от непредельных углеводородов, либо добавляют антиокислители. Содержание ненасыщенных соединений в нефти и продуктах её переработки оценивают **бромным** или йодным числом. **Бромное или йодное число** — это количество граммов соответственно брома или иода, поглощённое 100 г исследуемого продукта.

Непредельные углеводороды являются важнейшим сырьём для нефтехимической промышленности. На их основе производят большую часть всех нефтехимических продуктов: полиэтилен, полипропилен, этиловый спирт, каучуки, бензол, этилбензол, стирол, кумол, фенол, ацетон, ацетальдегид, уксусную кислоту, окись этилена и т.д.

### Задачи

1. Промышленным способом получения дивинила из нефтяного сырья является дегидрирование бутилена. Составьте уравнение этой реакции.
2. В нефтехимической промышленности получают спирты взаимодействием воды с непредельными углеводородами. Укажите, какой углеводород может дать этанол и какой – бутанол-2.
3. Какую массу бромной воды с массовой долей брома 1,6% может обесцветить пропилен объемом 1,12 л (н.у.)?
4. Смесь метана и этилена объемом 400 мл (н.у.) обесцветила бромную воду с массовой долей брома 3,2% массой 40 г. Определите объемную долю этилена в смеси.
5. Рассчитайте выход продукта реакции (в % от теоретического), если при взаимодействии 5,6 л этилена (н.у.) с бромом получено 42,3 г 1,2-дибромэтана.
6. Алкен нормального строения содержит двойную связь при первом углеродном атоме. Образец этого алкена массой 0,7 г присоединил бром массой 1,6 г. Определите формулу алкена и назовите его.
7. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, может присоединить смесь газов массой 15,4 г, которая содержит этилен (массовая доля 54,5%), пропилен (27,3%) и бутилен (18,2%)?
8. Какой объем этилена можно окислить кислородом объемом 10 л для получения ацетальдегида? Объемы газов измерены при одинаковых условиях.
9. Четыре ненасыщенных углеводорода имеют одинаковый состав (по массе): 85,7% углерода и 14,3% водорода. Установите формулы этих углеводородов, если плотности их паров по воздуху равны 0,97; 1,45; 1,93; 2,41 соответственно.
10. При пропускании смеси этилена с метаном через склянку с бромом масса склянки увеличилась на 8 г. Вычислите объем прореагировавшего газа.
11. Поясните правило Марковникова на примере реакции присоединения хлороводорода к 2-метилпропену.
12. При гидрировании бутадиена-1,3 массой 8,1 г получили смесь бутана и бутена-1. При пропускании этой смеси через раствор брома образовался 1,2-бромбутан массой 10,8 г. Определите массовые доли углеводородов в полученной смеси.
13. Сколько брома может присоединиться к 30 г бутадиена-1,3?
14. Чем объясняется высокая химическая активность диеновых углеводородов? В какие реакции они вступают? Приведите примеры.
15. Предложите схему получения изопрена из пентановой фракции нефти.
16. Исходным сырьем для получения хлоропренового каучука является ацетилен: ацетилен  $\rightarrow$  винилацетилен  $\rightarrow$  хлоропрен  $\rightarrow$  полимер хлоропрена. Напишите уравнения реакций получения хлоропренового каучука. Чем отличается каучук от резины?
17. Получите 1,5-гексадиен по реакции Вюрца, по реакции Гриньяра-Вюрца.
18. Бутадиен-1,3 по-разному реагирует с водородом. Напишите уравнения реакций гидрирования бутадиена-1,3: а) натрием (в спирте); б) водородом в присутствии катализатора (никель, платина)
19. Ацетилен массой 15,6 г присоединил хлороводород массой 43,8 г. Установите структуру продукта реакции.

20. Какая масса карбида кальция вступила в реакцию с водой, если при этом выделилось 5,6 л ацетилена (н.у.)?

21. Рассчитайте элементный состав (в % по массе) изомерных ацетиленовых углеводородов, плотность паров которых по кислороду равна 1,69. Напишите структурные формулы возможных изомеров.

22. Составьте уравнение полного сгорания ацетиленового углеводорода, являющегося вторым членом гомологического ряда ацетиленовых углеводородов, и рассчитайте, сколько литров воздуха потребуется для сгорания 5,6 л этого углеводорода.

23. В трех запаянных ампулах находятся три разных газа: метан, углекислый газ, ацетилен. Опишите, как, основываясь на различии в химических и физических свойствах, можно надежно определить, где какой газ находится. Приведите необходимые уравнения реакций.

24. При гидрировании ацетилена объемом 672 мл (н.у.) получили смесь этана и этилена, которая обесцвечивает раствор брома в тетрахлориде углерода массой 40 г, массовая доля брома в котором составляет 4%. Определите массовые доли углеводородов в полученной смеси.

25. Указатель уровня в цистернах с жидким кислородом обычно заполняется тетрабромэтаном, который получают из ацетилена. Напишите схему реакции образования этого соединения.

26. Ацетилен, хранящийся в баллоне в виде раствора в ацетоне, очищают, пропуская его через воду и затем через концентрированную серную кислоту. Каково здесь назначение воды и серной кислоты?

27. Сколько ацетилена по объему (н.у.) потребуется, чтобы получить 44,25 кг хлоропрена?

28. Сколько алкинов могут быть изомерны изопрену? Напишите структурные формулы этих алкинов и назовите их.

29. При пропускании ацетилена в спиртовой раствор йода получено соединение, содержащее 90,7% йода и 0,7% водорода по массе. Найдите формулу этого вещества.

30. Сколько ацетилена и водорода по объему (н.у.) можно получить из 1042 м<sup>3</sup> природного газа, который содержит 0,96 объемных долей, или 96% (по объему), метана?

## 5 КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ НЕФТИ

Кислородсодержащие соединения в нефтях составляют не более 10%. Эти компоненты могут быть разделены на классы: **нафтеновые кислоты, жирные кислоты, фенолы, нейтральные соединения.**

Содержание кислорода в нефтяных фракциях возрастает с повышением их температуры кипения, причем до 95% кислорода приходится на смолы и асфальтены. Большинство кислородсодержащих соединений имеет кислый характер и может быть выделено из нефти или нефтяных фракций щелочью. Суммарное количество их обычно оценивают **кислотным числом** - количеством мг *КОН*, пошедшего на титрование 1г нефтепродукта.

По физическим свойствам нафтенновые кислоты представляют собой либо жидкости, либо кристаллические вещества. Плотность их близка к единице. Большинство нафтенновых кислот содержит пятичленное нафтенновое кольцо.

Из ряда нефтей были выделены кислоты с шестичленным циклом, би- и трициклические кислоты, а также кислоты, имеющие ароматическое и гибридное строение, поэтому кислоты, выделенные из нефти, называют в последнее время не нафтенновыми, а **нефтяными**.

По химическим свойствам нафтенновые кислоты сходны с жирными карбоновыми кислотами. Так, со щелочами они образуют соли. Реакция позволяет выделять кислоты из нефтяных фракций. Образующиеся соли щелочных металлов этих кислот, хорошо растворимые в воде, переходят в водный слой, а при подкислении этого слоя слабой серной кислотой нефтяные кислоты регенерируются. Нефтяные кислоты образуют соли также и с окислами металлов Pb, Zn, Cu, Fe, Al, корродируя таким образом металлическую аппаратуру, поэтому все нефтяные кислоты удаляют из нефтепродуктов в процессе очистки.

Со спиртами нефтяные кислоты дают эфиры. Получены также амиды, хлорангидриды и галогенпроизводные этих кислот.

**Фенолы.** Содержание их (в пересчете на кислые продукты) может достигать от 20% (в старых-палеозойских нефтях) до 70% (в молодых - кайнозойских).

Фенолы обладают весьма реакционноспособными гидроксильной группой и ароматическим ядром. При обработке щелочью фенолы, подобно кислотам, образуют соли (феноляты). Вследствие этого фенолы отделяются от нефти или нефтяных фракций вместе с нафтенновыми кислотами.

**Галогенирование** фенола под действием растворов галогенов протекает по ароматическому кольцу. **Нитрование** концентрированной азотной кислотой приводит к образованию тринитрофенола - пикриновой кислоты. При **сульфировании** фенолов концентрированной серной кислотой получают *о*- и *п*- фенолсульфоокислоты. При комнатной температуре преобладает *орто*-изомер, при 100<sup>0</sup>С – *пара*-изомер. В присутствии катализаторов фенол **конденсируется с альдегидами**. Реакция имеет большое практическое значение, так как лежит в основе получения пластических масс (фенолформальдегидных смол).

**Нейтральные соединения.** Одним из представителей этого класса соединений являются **кетоны**. Из бензиновой фракции калифорнийской нефти выделено 6 индивидуальных кетонов: ацетон, метилэтил-, метилпропил-, метилизопропил-, метилбутил- и этилизопропилкетоны. В средних и высококипящих фракциях нефтей обнаружены циклические кетоны типа флуоренона.

К нейтральным кислородсодержащим соединениям нефти относят также сложные и простые **эфиры**, которые содержатся в высококипящих фракциях или нефтяных остатках. Простые эфиры, обнаруженные в нефтях, носят циклический характер. Также обнаружены ди- и трибензофураны.

Промышленное значение из всех кислородных соединений нефти имеют только нафтенновые кислоты и их соли - нафтенаты. Нафтенновые кислоты (асидол), выделяемые из керосиновых и масляных фракций, применяют для пропитки шпал, регенерации каучука и т.п. Отходы щелочной очистки – соли щелочных металлов (мылонафт) используют при изготовлении моющих средств для текстильного

производства. Водный раствор (40%) натриевых солей нефтяных кислот применяют как высокоэффективное ростовое вещество (НРВ), стимулирующее рост сельскохозяйственных культур.

### Задачи

1. Выпишите из перечисленных формул фенолы:  $C_6H_6O_2$ ,  $C_6H_6O_3$ ,  $C_6H_{12}O_3$ ,  $C_7H_8O$ ,  $C_8H_{10}O$ ,  $C_7H_{14}O$ ,  $C_6H_{14}O$ . Напишите формулы строения для фенолов, имеющих в этом ряду.

2. Напишите структурные формулы кислот: а) пропионовой; б) масляной; в) изомасляной; г) триметилуксусной; д) валериановой; е) пальмитиновой; ж) стеариновой. Назовите по номенклатуре IUPAC.

3. Установить структурную формулу соединения  $C_4H_8O_2$ , обладающего следующими свойствами:

- а) реагирует с водным раствором соды с выделением газообразного вещества;
- б) при сплавлении с твердой щелочью дает пропан;
- в) с гидроксидом кальция дает соединение  $C_8H_{14}O_4Ca$ , при пиролизе которого получается диизопропилкетон.

4. Рассчитайте массу азотной кислоты, затраченную на нитрование фенола массой 18,8 г, считая, что образуется 2, 4, 6-тринитрофенол.

5. При бромировании фенола массой 28,2 г получен осадок массой 79,44 г. Вычислите массовую долю (в %) выхода продукта.

6. Вычислите массу фенолята натрия, полученную при взаимодействии фенола массой 9,4 г с натрием массой 1,6 г. Ответ: 8,07 г

7. Фенолят калия получен взаимодействием фенола массой 4,7 г и раствора массой 120 г с массовой долей KOH, равной 14%. Какова масса фенолята?

8. При взаимодействии раствора фенола в бензоле массой 200 г с избытком бромной воды получили бромпроизводное массой 66,2 г. Рассчитайте массовую долю фенола в растворе. 9. Какую массу фенолята калия можно получить из гидроксида калия массой 20 г и фенола массой 20 г?

## 6 СЕРНИСТЫЕ И АЗОТИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НЕФТИ

В смеси природных углеводородов (нефть) присутствуют органические гетероатомные соединения. Например, в нефтях Волго - Уральского региона соотношение содержания (% масс.) серы, кислорода и азота примерно составляет 10:2:1 соответственно. В лабораторных условиях органические соединения серы могут быть выделены из нефти экстракцией ацетонитрилом или другими растворителями. Кроме того, в нефти может присутствовать свободная (элементарная) сера и сероводород. Суммарное содержание серы в нефтях находится в пределах 0,1- 7,5% (до 0,5% - малосернистые, до 1% - сернистые, выше 1% - высокосернистые). Сероорганические соединения главным образом представлены **меркаптанами** (тиолы), общая формула  $C_nH_{2n+1}SH$  ( $n=2,3,4$ ), **сульфидами**  $(C_nH_{2n+1})_2S$ , **дисульфидами**  $(C_nH_{2n+1})_2S_2$  и гетероциклическими соединениями, среди которых наиболее важными являются **тиофены** и **тиофаны** (гидрированные тиофены).

Как правило, соотношение между сульфидами, тиофенами и тиолами (% масс.) 10:20:1 соответственно. В частности, в бензиновую фракцию попадают тиолы  $C_5$ -  $C_9$ ,

сульфиды  $C_6$ -  $C_{10}$ , а в тяжелых фракциях и остаточных продуктах концентрируются алкилбензотиофены, дибензотиофены и другие полиалкилполициклические соединения.

Меркаптаны активно реагируют с гидроксидами металлов и на этом основана технология их удаления смешиванием сырой нефти с водными растворами щелочей с последующим разделением слоев и осушкой. Сульфиды легко окисляются неорганическими окислителями, в частности перекисью водорода, до сульфоксидов и сульфонов. Эти продукты в ряде случаев представляют интерес как эффективные флотореагенты, комплексообразователи и др.

Тиофены, и в первую очередь бензотиофены являются наиболее устойчивыми сероорганическими соединениями, и при обработке щелочью и нагревании их молекулы не разрушаются. Тиофены и бензотиофены содержатся преимущественно в средне- и высококипящих фракциях и нефтяных остатках. Количество атомов углерода в молекуле определяет температуру кипения и соответствующие сероорганические соединения попадают в бензиновую, керосиновую, дизельную фракции, масляные дистилляты.

При добыче нефти сероводород и низшие (газообразные) меркаптаны представляют основную угрозу, поскольку они многократно ускоряют коррозию оборудования. Широко применяют добавки в буровые и промывочные жидкости, поглощающие эти соединения, а также подавляющие деятельность микроорганизмов, продуцирующих сероводород (так называемые сульфатовосстанавливающие бактерии). Сероорганические соединения крайне негативно влияют на процессы нефтепереработки и свойства в первую очередь светлых нефтепродуктов и масел. Это связано с их окислением и образованием кислот, вызывающих коррозию. Особо вредное воздействие меркаптаны, сульфиды и тиофены оказывают на гетерогенные катализаторы важнейших процессов нефтепереработки (крекинг, платформинг и др.), приводя к их дезактивации и разрушению. Сероорганика в топливах сгорает с образованием оксидов, попадающих в окружающую среду, что совершенно недопустимо. Для разрушения и удаления содержащихся в дистиллятах сернистых соединений используют их реакцию с водородом на гетерогенных катализаторах при температуре  $280-380^{\circ}C$  (процесс гидрообессеривания).

Образующийся сероводород окисляют кислородом воздуха до элементарной (свободной) серы, которая используется в качестве сырья в химической промышленности. Сернистые и высокосернистые нефти требуют масштабной гидроочистки, и это определяет их меньшую ценность (отечественная сернистая нефть на международном рынке стоит на  $8-12\$/t$  дешевле, чем малосернистые нефти Персидского залива, Карибского бассейна и др.).

Ряд сероорганических соединений находит применение в нефтепереработке и нефтехимии. Так, тиомочевина –  $CS(NH_2)_2$  в отличие от мочевины, образует прочные межмолекулярные комплексы с изоалканами, что используется при их выделении из углеводородных фракций.

Азотсодержащие соединения в нефтях представлены главным образом алифатическими и ароматическими **амин**ами, а также гетероароматическими соединениями (производные **пиридина**, **пиррола** и др.).



Суммарное содержание азота в нефтях колеблется в интервале от 0,05 до 0,5%. Амины и производные пиридина проявляют основные свойства, пиррол и его полициклические производные (**порфирины**) являются нейтральными соединениями. Отметим, что последние способны образовывать прочные комплексы с металлами, в первую очередь с никелем и ванадием. Содержание ванадия в нефтях достигает 1 кг/т, что обусловило создание специальной технологии деметаллизации.

В лабораторных и опытно-промышленных масштабах азотистые соединения извлекают из нефтей или нефтяных фракций экстракцией серной кислотой. Затем из кислоты их выделяют в свободном виде в результате нейтрализации щелочами. Плохо растворимые в кислотах нейтральные азотистые соединения связывают в прочные комплексы хлорным железом ( $\text{FeCl}_3$ ) и экстрагируют водой, затем комплексы разрушают щелочами и азотистые соединения (пирролы, индолы, порфирины и др.) извлекают в свободном виде.

### Задачи

1. При взаимодействии 115 г бензольного раствора пиррола с металлическим калием выделилось 1,12 л газа (н.у.). Вычислите массовые доли веществ в исходном растворе.

2. Напишите структурные формулы: а) 2-пропилгексагидропиридина; б) 2-метил-4,5-дигидроксиметил-3-гидроксипиридина.

3. Какой из гетероциклов содержит наибольшую массовую долю азота: пиридин, пурин или пиримидин.

4. При сжигании смеси двух изомерных органических соединений образовался азот объемом 5,376 л (н.у.). Массовая доля азота в исходных веществах равна 31,1%. Рассчитайте массу исходной смеси веществ, напишите их структурные формулы и дайте им названия.

5. При каталитическом гидрировании 6,3 г пиридина поглотилось 1,7 л водорода (н.у.). С каким выходом прошло гидрирование?

6. Составьте структурные формулы всех возможных изомеров:

а) метилфурана; б) диметилтиофена; в) метилпиррола. Назовите их.

7. Почему обработка бензола, полученного из каменного угля, 92%-ной серной кислотой при комнатной температуре, позволяет очистить его от примеси тиофена?

8. Напишите уравнения реакций пиррола и фурана с бромоводородом. Куда присоединяется протон?

9. Приведите структурные формулы меркаптанов, аналогичных следующим спиртам: метиловому, этиловому, пропиловому, изобутиловому. Назовите эти вещества по систематической номенклатуре. Изобразите электронные формулы следующих соединений: а)  $\text{CH}_3\text{SH}$ ; б)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{SC}_2\text{H}_5$ ; в)  $\text{H}_2\text{S}$ .

10. Отметьте сходство и различие в строении и свойствах пиридина и бензола.

11. Напишите формулы всех изомерных соединений, имеющих в своем составе только пиррольное кольцо и три метильных радикала. Приведите схемы реакций, иллюстрирующих амфотерный характер пиррола.

## 7 СМОЛЫ И АСФАЛЬТЕНЫ НЕФТИ

Смолисто-асфальтеновые вещества представляют собой сложную смесь высокомолекулярных соединений смешанных структур, содержащих азот, серу, кислород, металлы. Их много в тяжёлых нефтях Казахстана, Средней Азии, Башкирии. Их летучесть невелика, в бензиновый и керосиновый дистилляты они не попадают. Наиболее богаты смолисто-асфальтовыми веществами молодые нефти ароматического основания.

Смолисто-асфальтовые вещества объединяют две большие группы высокомолекулярных соединений нефти - **смолы** и **асфальтены**, в химическом составе, строении и свойствах которых имеется много общего. Соотношение между смолами и асфальтенами в нефтях и тяжелых остатках, где в основном они концентрируются, составляет от 9:1 до 7:1.

**Смолы.** Состав и свойства нефтяных смол зависят от химической природы нефти. Несмотря на различную природу нефтей различных месторождений, содержание углерода и водорода в смолах колеблется в сравнительно узких пределах (в % масс.): С – от 79 до 87; Н – от 9 до 11. В смолах нефтей различных месторождений содержание кислорода колеблется от 1 до 7% (масс.), серы - от десятых долей процента до 7-10%. В некоторых смолах содержится азот (до 2 %).

**Смолы** составляют от 70 до 90 % всех гетероорганических соединений нефти. Они богаче водородом, чем асфальтены, на 1-2%. Большую часть смол составляют нейтральные вещества. Небольшое количество смол имеет кислый характер и образует *асфальтогеновые кислоты*. Они представляют собой вязкие, темные смолы, растворимые в спирте, бензоле, хлороформе.

**Нейтральные** смолистые вещества подразделяют по отношению к различным растворителям. На схеме представлена классификация и разделение смолисто-асфальтеновых веществ.

**Смолы** представляют собой очень вязкие малоподвижные жидкости, а иногда и твердые аморфные вещества от темно-коричневого до бурого цвета. Плотность их близка к 1,1 г/мл, молекулярная масса от 600 до 1000.

Смолистые вещества термически и химически нестабильны, легко окисляются и конденсируются, превращаясь при этом в **асфальтены**. **Смолы** легко сульфидируются, переходя в раствор серной кислоты. На этом основан сернокислотный способ очистки топлив и масел. Смолистые вещества образуют комплексы с хлоридами металлов, фосфорной кислотой.

Изучение смол и асфальтенов идёт по пути упрощения состава путём экстрагирования и концентрирования узких фракций, имеющих общие свойства.

**Асфальтены** являются более высокомолекулярными соединениями, чем смолы. Они отличаются от смол несколько меньшим содержанием водорода и более высоким содержанием гетероатомов. Считают, что асфальтены являются продуктами конденсации смол. Асфальтены образованы циклическими, полиядерными конденсированными структурами, похожими на графит.

**Асфальтены** — порошкообразные вещества бурого или чёрного цвета. При нагревании они размягчаются, но не плавятся. При нагревании выше 300°C асфальтены превращаются в кокс и газы. Асфальтены химически активны. Они окисляются, сульфидируются, галогенируются, нитруются, вступают в конденсацию с

формальдегидом. При хранении на свету и при доступе воздуха они переходят в карбены, теряя растворимость.

**Асфальтены** подвергают окислению до кислот, превращают в кокс и гудрон. Используют для гидрофобизации различных поверхностей. Смолы и асфальтены идут на переработку в более лёгкие традиционные нефтепродукты путём гидрокрекинга. Однако они сами тоже находят применение в качестве антисептиков, ингибиторов биоразрушения (пропитка шпал) и др.

## 8 НЕОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ НЕФТИ

В нефтях встречаются соли и комплексы более 40 **металлов** и некоторых неметаллов. Минеральные компоненты принято разделять на три группы.

1-я группа: металлы переменной валентности – V, Ni, Fe, Mo, Co, W, Cr, Cu, Mn, Zn, Ti, Pb, Ag и др.

2-я группа: щелочные и щелочноземельные металлы – Na, K, Ba, Ca, Sr, Mg.

3-я группа: галогены и другие элементы – Cl, Br, I, Si, Al, Ge и др.

Небольшие количества минеральных составляющих создают трудности их определения. В заметных количествах обнаруживаются ванадий и никель, причём ванадия больше в сернистых, а никеля – в азотистых частях нефтей. Чаще всего металлы находятся в виде порфириновых комплексов – реликтов органического происхождения (хлорофилл, гемоглобин).

Металлов в нефтях немного, но большинство из них каталитически активны (часто ингибиторы), поэтому их состав и содержание необходимо контролировать во избежание проблем при очистке и переработке, особенно термокаталитической. К тому же, высшие оксиды некоторых металлов (ванадий, хром, вольфрам) являются окислителями, имеют кислотный характер и усиливают коррозию металлов.

### *Перечень информационных источников:*

1. Тетельмин, В.В. Нефтегазовое дело. Полный курс/ В.В.Тетельмин, В.А. Язев - Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2009.- 800с.
2. Агабеков, В.Е. Нефть и газ. Технологии и продукты переработки: монография/ В.Е. Агабеков, В.К. Косяков - Минск: Белорусская наука, 2011.- 459с.
3. Хорошко, С.И. Сборник задач по химии и технологии нефти и газа/С.И. Хорошко, А.Н. Хорошко – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 119 с.
4. Сарданашвили, А.Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / Сарданашвили А.Г., Львова А.И. – М.: Химия, 1980. – 256 с.
5. Дорогочинская, В.А Нефтепродукты. Топлива, смазочные масла и пластичные смазки. Определение основных показателей качества: / В.А Дорогочинская., И.Р.Облащикова, Т.И.Сочевко, А.Ю. Килякова, Е.В. Голованова - М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 76 с.
6. Коршак, А.А. Основы нефтегазового дела: Учебник для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. / А.А Коршак., А.М. Шаммазов – Уфа.: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2005. – 528 с.