

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«Ухтинский государственный технический университет»  
(УГТУ)**

В. В. Васильев

**ХИМИЯ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**

Методические указания

Ухта, УГТУ, 2013

УДК 550.4:552.578.2(075.8)

ББК 26.343я7

В 19

**Васильев, В. В.**

В 19 Химия горючих ископаемых [Текст] : метод. указания / В. В. Васильев. – Ухта : УГТУ, 2013. – 73 с.

Методические указания предназначены для ознакомления студентов с теоретическими основами дисциплины «Химия горючих ископаемых» при проведении работ по направлению «Геология нефти и газа» (специальность ГНГ) 3-го курса.

**УДК 550.4:552.578.2(075.8)**

**ББК 26.343я7**

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ГНГ 03.09.2013, протокол №01.

Рецензент: А. В. Мартынов, зам. начальника отдела центра ресурсов и запасов углеводородов филиала ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта, к.г.-м.н.

Корректор и технический редактор: К. В. Коптяева.

В методических указаниях учтены предложения рецензента.

План 2013 г., позиция 186.

Подписано в печать 31.10.2013. Компьютерный набор.

Объем 73 с. Тираж 100 экз. Заказ №279.

© Ухтинский государственный технический университет, 2013

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

Типография УГТУ.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, д. 13.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| Лабораторная работа №1 «Определение относительной плотности нефти и нефтяных фракций» .....                                 | 5  |
| Лабораторная работа №2 «Определение кинематической вязкости нефти».....   | 13 |
| Лабораторная работа №3 «Определение фракционного состава нефти (перегонка при атмосферном давлении без ректификации)» ..... | 21 |
| Лабораторная работа №4 «Определение компонентного состава нефти» .....  | 24 |
| Лабораторная работа №5 «Технологическая классификация нефти» .....  | 31 |
| Лабораторная работа №6 «Изучение физико-химических свойств нефтей. Построение тригонограмм» .....                           | 42 |
| Лабораторная работа №7 «Выявление закономерностей изменения свойств нефтей по разрезу месторождения» .....                  | 49 |

## Введение

Лабораторные работы по исследованию физико-химических свойств и интерпретации геохимических данных о составе нефтей и конденсатов выполняются студентами третьего курса специальности «Геология нефти и газа» в шестом семестре. Теоретической основой лабораторных работ является дисциплина «Химия горючих ископаемых» для геологов нефтегазовых промыслов, геофизиков и геологов-разведчиков нефтяных и газовых месторождений.

Предмет изучения химии горючих ископаемых – вещество, объекты – природные горючие ископаемые, их предшественники – продукты изменения в недрах, методы исследования – те, которые использует органическая химия для определения свойств и состава сложных смесей и растворов на разных аналитических уровнях. Специфика объектов и методов их изучения – возможные состояния и особенности состава горючих ископаемых в конкретных термобарических и минеральных условиях недр.

Информация о составе вещества природных газов, нефтей, каменных углей, возможных способах его образования и оценка значимости состава исследуемого вещества необходимы для понимания, с одной стороны, фундаментальных проблем генезиса и формирования скоплений горючих ископаемых, с другой – использования данных о составе для решения конкретных задач поиска, разведки и рациональной эксплуатации промышленных залежей.

Любому специалисту, связанному с поисками и разведкой горючих ископаемых, необходимо понимать, как получают информацию о составе интересующего его объекта, и знать принципы использования этой информации для решения теоретических и практических задач.

Задачи, решаемые при выполнении лабораторных работ:

- 1) изучение современных физико-химических методов определения состава и свойств жидких углеводородных флюидов;
- 2) изучение методов обработки и интерпретации данных результатов геохимических исследований;
- 3) закрепление знаний, полученных в курсе лекций дисциплины «Химия горючих ископаемых», применение классификаций жидких углеводородных флюидов по физико-химическим и технологическим свойствам;
- 4) овладение навыками графического изображения качественного состава нефтей, а также первичной геологической и геохимической интерпретации аналитических данных химического состава вещества горючих ископаемых.

Лабораторные работы включают семь занятий, которые проводятся на кафедре «Геология нефти и газа». По каждому виду работ имеется методическое руководство, содержащее сведения о теоретических основах метода, исходном материале для выполнения самостоятельной части лабораторной работы, последовательности выполнения и порядке оформления результатов работы.

На заключительном занятии студенты составляют комплексное заключение по результатам различных видов геохимических исследований.

## Лабораторная работа №1

### «Определение относительной плотности нефти и нефтяных фракций»

Плотность является одним из наиболее важных свойств нефтей и нефтепродуктов, используемых для их характеристики. Кроме того, в основу некоторых видов анализов положено определение плотности и других констант для получения новых комбинированных характеристик, необходимых для глубокого изучения состава и природы нефти.

Плотность нефтей изменяется в довольно широком диапазоне – от 0,78 до 1,00 г/см<sup>3</sup>, хотя в большинстве случаев она укладывается в интервал 0,83-0,86 г/см<sup>3</sup>. Нефть является многокомпонентной системой, и её плотность зависит от природы составляющих веществ, их молекулярной массы, содержания асфальто-смолистых веществ, фракционного состава, количества растворённого газа и др. Зависимость плотности от многих факторов позволяет рассматривать её в качестве интегрирующего параметра, изменение которого обусловлено как первичными причинами, так и геохимической историей нефти.

Обычно определяют не абсолютную плотность вещества, численно равную массе единицы объёма, а относительную плотность, выражающую отношение массы вещества к массе чистой воды при 4°С, взятой в том же объёме. Численно значения абсолютной и относительной плотности совпадают, но относительная плотность – величина безразмерная.

В России плотность нефтей и нефтепродуктов определяют при нормальной температуре (20°С) и относят к плотности воды, определённой при 4°С, принятой за единицу. Эта плотность (в г/см<sup>3</sup>) численно равна плотности (представляющей собой отвлечённое число) по отношению к воде при температуре 4°С. В Англии и США плотность определяют для 15,56°С (60°F). В ряде стран, кроме абсолютных единиц плотности, применяют условные, к которым относятся градусы АНИ (API) и градусы Боме (°Be) различных систем. Единицей плотности в системе СИ является кг/м<sup>3</sup>, 1 г/см<sup>3</sup> = 1·10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>. Для определения плотности наибольшее распространение в практике нефтяных лабораторий получили пикнометрический и ареометрический методы, принятые в качестве стандартных в России и во всех зарубежных странах (ГОСТ 3900-85).

#### *Пикнометрический метод*

Пикнометрический метод определения плотности основан на сравнении массы определённого объёма, нефти или нефтяной фракции с массой такого же объёма воды при одинаковой температуре. Это один из наиболее точных методов определения плотности; точность его может быть доведена до 0,0001. Для незастывающих нефтей плотность определяется при 20°С, а для застывающих и высоковязких нефтей и фракций – при 70°С.

### *Аппаратура*

1. Набор пикнометров различного объёма. Существует много различных систем пикнометров. К наиболее распространённым относятся пикнометры с меткой и пикнометры с капиллярной трубкой, которая для очень точных измерений может быть градуирована.

При увеличении объёма пикнометра точность определения повышается. Оптимальным объёмом является 1-10 мл.

2. Батарейный стакан вместимостью 1-15 л, заполненный дистиллированной водой для выдерживания пикнометров при постоянной температуре.

3. Термостат, дающий возможность измерять постоянную температуру с погрешностью 0,1°С.

4. Держатель для пикнометров.

5. Термометр ртутный стеклянный (ГОСТ 2045-71), с интервалом температур от 50 до 100°С и от 0 до 50°С, с ценой деления шкалы 0,1°С.

6. Пипетка для наполнения пикнометров.

#### *Определение водного числа пикнометров*

Для каждого пикнометра необходимо установить водное число, т. е. путём взвешивания определить массу воды в объёме пикнометра при стандартной температуре. Промытый и высушенный пикнометр взвешивают на аналитических весах с погрешностью до 0,0002 г. Затем с помощью пипетки заполняют свежekiпячёной дистиллированной, охлаждённой до комнатной температуры водой. Пикнометры с водой помещают в термостатированную баню и выдерживают в ней около 30 мин.

Когда уровень воды в шейке пикнометра перестанет изменяться, отбирают избыток воды, устанавливая её уровень по верхнему краю мениска. Шейку пикнометра внутри вытирают и закрывают пробкой, тщательно вытирают пикнометр снаружи и взвешивают его с погрешностью до 0,0002 г.

Водное число  $m$  определяют по формуле:

$$m = m_2 - m_1, \quad (1)$$

где  $m_1, m_2$  – масса пикнометра соответственно пустого и с водой, г.

Установленное водное число пикнометра обязательно проверяют после 20 определений плотности.

#### *Определение плотности маловязких нефтей и нефтяных фракций*

Пикнометр, промытый и высушенный, осторожно заполняют с помощью пипетки исследуемым продуктом с некоторым избытком, стараясь не замазать стенки и горлышко, закрывают пробкой и выдерживают в термостатированной бане при  $20 \pm 0,1$ °С, пока уровень жидкости не перестанет изменяться. Избыток продукта отбирают фильтровальной бумагой, свёрнутой в трубочку. Уровень жидкости в пикнометре устанавливают по верхнему мениску. После этого пикнометр тщательно вытирают и взвешивают с погрешностью до 0,0002 г.

### Порядок расчёта

Сначала рассчитывают видимую плотность исследуемого продукта по формуле

$$d_{20}^{20} = (m_3 - m_2) / m_1, \quad (2)$$

где  $m_3, m_2$  – масса пикнометра соответственно с нефтепродуктом и пустого, г;  
 $m_1$  – водное число пикнометра, г.

В значение полученной «видимой» плотности необходимо внести поправку – потерю массы в воздухе, ввиду того, что взвешивание проводят на воздухе, а не в безвоздушном пространстве. Кроме того, необходимо сделать пересчёт на  $d_4^{20}$ , так как плотность исследуемого продукта выражают к воде при 4°C, а калибровку пикнометров проводят при 20°C.

Действительная плотность нефтепродуктов с учётом плотности воды и воздуха при 20°C:

$$d_4^{20} = (0,99823 - 0,0012) d_{20}^{20} + 0,0012 = 0,99703 d_{20}^{20} + 0,0012, \quad (3)$$

где 0,99823 – плотность воды при 20°C и 760 мм.рт.ст., г/см<sup>3</sup>;

$d_{20}^{20}$  – «видимая» плотность, определённая в пикнометре при 20°C.

Вместо вычислений плотности по формуле (3) можно пользоваться поправками, приведёнными в табл. 1, которые для получения  $d_4^{20}$  следует вычитать из значений видимой плотности.

На практике часто приходится определять плотность при температуре, отличающейся от 20°C. Для получения результатов в стандартных условиях делают пересчёт по следующей формуле:

$$d_4^{20} = d_4^t + \nu(t - 20), \quad (4)$$

где  $d_4^t$  – плотность при температуре определения;

$\nu$  – средняя температурная поправка плотности 1°C (берётся из табл. 2);

$t$  – температура определения, °C.

Однако следует иметь в виду, что результаты пересчёта плотности по формуле получаются правильными только в том случае, когда плотность нефти и её фракций определяется при температуре не ниже 0 и не выше 50°C.

#### *Определение плотности парафинистых фракций и вязких нефтепродуктов*

При определении плотности парафинистых фракций пикнометр заполняют продуктом, нагретым до температуры плавления, а затем выдерживают в термостатированной бане при 70°C. Вязкие нефтепродукты перед заполнением предварительно нагревают до 50-60°C, затем пикнометр с нефтепродуктом дополнительно нагревает до 80-100°C в течение 20-30 мин. для удаления воздуха и дают ему охладиться до 20°C. Последующая методика определения аналогична таковой при 20°C.

В ходе работы по изложенной выше методике самостоятельно определяется плотность нефти.

**Вопросы для контроля:**

1. В каких единицах измеряется плотность?
2. От каких компонентов нефти зависит плотность?
3. Как соотносятся плотности пластовой и дегазированной нефти?
4. Какие показатели состава нефти связаны с плотностью прямой и обратной связью?
5. В каких геолого-геохимических условиях могут залежать:
  - А) очень лёгкие нефти?
  - Б) очень тяжёлые нефти?
  - В) средние по плотности нефти?
6. Как будет меняться плотность нефти в пределах одной залежи?
7. Какова точность определения плотности нефти?

**Ход выполнения лабораторной работы:**

1. Определить водное число пикнометра.
2. Рассчитать «видимую» плотность.
3. Рассчитать плотность нефти при температуре  $t$ .
4. Рассчитать действительную плотность нефти.

Таблица 1. Поправки для приведения «видимой» плотности нефтепродуктов к действительной плотности

| Видимая плотность |        | Поправка | Видимая плотность |        | Поправка |
|-------------------|--------|----------|-------------------|--------|----------|
| от                | до     |          | от                | до     |          |
| 0,6900            | 0,6999 | 0,0009   | 0,8500            | 0,8599 | 0,0013   |
| 0,7000            | 0,7099 | 0,0009   | 0,8600            | 0,8699 | 0,0014   |
| 0,7100            | 0,7199 | 0,0009   | 0,8700            | 0,8799 | 0,0014   |
| 0,7200            | 0,7299 | 0,0010   | 0,8800            | 0,8899 | 0,0014   |
| 0,7300            | 0,7399 | 0,0010   | 0,8900            | 0,8999 | 0,0015   |
| 0,7400            | 0,7499 | 0,0010   | 0,9000            | 0,9099 | 0,0015   |
| 0,7500            | 0,7599 | 0,0010   | 0,9100            | 0,9199 | 0,0015   |
| 0,7600            | 0,7699 | 0,0011   | 0,9200            | 0,9299 | 0,0015   |
| 0,7700            | 0,7799 | 0,0011   | 0,9300            | 0,9399 | 0,0016   |
| 0,7800            | 0,7899 | 0,0011   | 0,9400            | 0,9499 | 0,0016   |
| 0,7900            | 0,7999 | 0,0012   | 0,9500            | 0,9599 | 0,0016   |
| 0,8000            | 0,8099 | 0,0012   | 0,9600            | 0,9699 | 0,0017   |
| 0,8100            | 0,8199 | 0,0012   | 0,9700            | 0,9799 | 0,0017   |
| 0,8200            | 0,8299 | 0,0013   | 0,9800            | 0,9899 | 0,0017   |
| 0,8300            | 0,8399 | 0,0013   | 0,9900            | 0,9999 | 0,0018   |
| 0,8400            | 0,8499 | 0,0013   |                   |        |          |

Таблица 2. Средние температурные поправки к плотности нефтепродуктов

| Видимая плотность |        | Поправка | Видимая плотность |        | Поправка |
|-------------------|--------|----------|-------------------|--------|----------|
| от                | до     |          | от                | до     |          |
| 0,6900            | 0,6999 | 0,000910 | 0,8500            | 0,8599 | 0,00699  |
| 0,7000            | 0,7099 | 0,000897 | 0,8600            | 0,8699 | 0,00686  |
| 0,7100            | 0,7199 | 0,000884 | 0,8700            | 0,8799 | 0,00673  |
| 0,7200            | 0,7299 | 0,00870  | 0,8800            | 0,8899 | 0,00660  |
| 0,7300            | 0,7399 | 0,00857  | 0,8900            | 0,8999 | 0,00647  |
| 0,7400            | 0,7499 | 0,00844  | 0,9000            | 0,9099 | 0,00633  |
| 0,7500            | 0,7599 | 0,00831  | 0,9100            | 0,9199 | 0,00620  |
| 0,7600            | 0,7699 | 0,00818  | 0,9200            | 0,9299 | 0,00607  |
| 0,7700            | 0,7799 | 0,00805  | 0,9300            | 0,9399 | 0,00594  |
| 0,7800            | 0,7899 | 0,00792  | 0,9400            | 0,9499 | 0,00581  |
| 0,7900            | 0,7999 | 0,001778 | 0,9500            | 0,9599 | 0,00567  |
| 0,8000            | 0,8099 | 0,00765  | 0,9600            | 0,9699 | 0,00554  |
| 0,8100            | 0,8199 | 0,00752  | 0,9700            | 0,9799 | 0,00541  |
| 0,8200            | 0,8299 | 0,00738  | 0,9800            | 0,9899 | 0,00528  |
| 0,8300            | 0,8399 | 0,00725  | 0,9900            | 0,9999 | 0,00515  |
| 0,8400            | 0,8499 | 0,00712  |                   |        |          |

Таблица 3. Исходные данные для выполнения лабораторной работы

|           | Параметр                             | Номер пробы |         |         |
|-----------|--------------------------------------|-------------|---------|---------|
|           |                                      | 1           | 2       | 3       |
| Вариант 1 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7857     | 9,1030  | 8,1324  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7066     | 21,4997 | 18,2445 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,7217     | 19,7716 | 17,4758 |
|           | Температура воздуха, °С              | 19,2        | 18,7    | 22,9    |
| Вариант 2 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7860     | 9,1022  | 8,1324  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7069     | 21,4998 | 18,2445 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,0042     | 20,6158 | 17,2399 |
|           | Температура воздуха, °С              | 16,2        | 16,5    | 20,2    |
| Вариант 3 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7857     | 9,1025  | 8,1325  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7070     | 21,5000 | 18,2440 |

## Продолжение таблицы 3

|           | Параметр                             | Номер пробы |         |         |
|-----------|--------------------------------------|-------------|---------|---------|
|           |                                      | 1           | 2       | 3       |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,9537     | 19,3326 | 17,3836 |
|           | Температура воздуха, °С              | 18,1        | 22,1    | 15,7    |
| Вариант 4 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7856     | 9,1026  | 8,1322  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7064     | 21,5000 | 18,2441 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,1469     | 18,9729 | 16,7392 |
|           | Температура воздуха, °С              | 17,3        | 23,6    | 22,1    |
| Вариант 5 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7858     | 9,1024  | 8,1325  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7064     | 21,4995 | 18,2446 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,9281     | 18,8497 | 16,2094 |
|           | Температура воздуха, °С              | 21,6        | 23,7    | 19,1    |
| Вариант 6 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7859     | 9,1024  | 8,1325  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7069     | 21,4996 | 18,2447 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,1915     | 19,9319 | 17,3059 |
|           | Температура воздуха, °С              | 21,8        | 19,2    | 19,5    |
| Вариант 7 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7860     | 9,1029  | 8,1323  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7068     | 21,4997 | 18,2447 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,4444     | 19,3644 | 16,9115 |
|           | Температура воздуха, °С              | 18,2        | 17,5    | 16,1    |
| Вариант 8 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7860     | 9,1023  | 8,1326  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7069     | 21,4997 | 18,2440 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,7355     | 19,4459 | 17,0962 |
|           | Температура воздуха, °С              | 16,1        | 21,5    | 20,2    |
| Вариант 9 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7857     | 9,1023  | 8,1321  |
|           | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7064     | 21,4999 | 18,2442 |
|           | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,6329     | 19,8789 | 17,6826 |
|           | Температура воздуха, °С              | 18,4        | 19,2    | 21,6    |

Продолжение таблицы 3

|            | Параметр                             | Номер пробы |         |         |
|------------|--------------------------------------|-------------|---------|---------|
|            |                                      | 1           | 2       | 3       |
| Вариант 10 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7855     | 9,1028  | 8,1328  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7065     | 21,4999 | 18,2445 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,9030     | 19,4365 | 16,6517 |
|            | Температура воздуха, °С              | 15,4        | 21,1    | 15,1    |
| Вариант 11 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7857     | 9,1021  | 8,1325  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7068     | 21,4995 | 18,2446 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,1140     | 18,9889 | 17,6326 |
|            | Температура воздуха, °С              | 18,1        | 22,7    | 23,61   |
| Вариант 12 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7856     | 9,1024  | 8,1320  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7068     | 21,4997 | 18,2442 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,7790     | 19,2276 | 16,5425 |
|            | Температура воздуха, °С              | 22,5        | 19,6    | 23,5    |
| Вариант 13 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7858     | 9,1029  | 8,1328  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7066     | 21,4996 | 18,2443 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,7535     | 18,8083 | 16,6891 |
|            | Температура воздуха, °С              | 24,4        | 20,9    | 19,6    |
| Вариант 14 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7859     | 9,1026  | 8,1323  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7066     | 21,4995 | 18,2443 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,3315     | 19,4316 | 16,0863 |
|            | Температура воздуха, °С              | 24,1        | 22,7    | 24,3    |
| Вариант 15 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7859     | 9,1020  | 8,1322  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7066     | 21,4996 | 18,2441 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,4481     | 18,8021 | 17,1688 |
|            | Температура воздуха, °С              | 18,7        | 17,1    | 23,2    |
| Вариант 16 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 14,4716     | 12,2518 | 9,1201  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 24,3735     | 17,1866 | 19,7809 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 22,4190     | 16,2244 | 16,8166 |

## Окончание таблицы 3

|            | Параметр                             | Номер пробы |         |         |
|------------|--------------------------------------|-------------|---------|---------|
|            |                                      | 1           | 2       | 3       |
|            | Температура воздуха, °С              | 21,8        | 19,2    | 19,5    |
| Вариант 17 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 16,7773     | 14,4710 | 16,7775 |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 26,7048     | 24,3067 | 26,7050 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 23,9369     | 21,6030 | 24,1353 |
|            | Температура воздуха, °С              | 18,2        | 17,5    | 16,1    |
| Вариант 18 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 8,8284      | 11,7918 | 13,6385 |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 18,5878     | 16,7312 | 23,5242 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,5777     | 15,7014 | 20,5727 |
|            | Температура воздуха, °С              | 21,5        | 19,6    | 22,5    |
| Вариант 19 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 9,1194      | 12,2510 | 8,8265  |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 19,7759     | 17,1995 | 18,5859 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 16,5301     | 15,6907 | 16,1302 |
|            | Температура воздуха, °С              | 21,1        | 22,7    | 20,3    |
| Вариант 20 | Масса пустого пикнометра, $m_1$ , г  | 11,7924     | 14,4707 | 16,7773 |
|            | Масса пикнометра с водой, $m_2$ , г  | 16,7273     | 24,3841 | 26,7158 |
|            | Масса пикнометра с нефтью, $m_3$ , г | 15,3450     | 21,4920 | 23,8158 |
|            | Температура воздуха, °С              | 18,7        | 22,0    | 23,1    |

## Лабораторная работа №2

### «Определение кинематической вязкости нефти»

#### Капиллярный метод вискозиметрии

Метод капиллярной вискозиметрии опирается на закон Пуазейля о вязкой жидкости, описывающий закономерности движения жидкости в капилляре.

Приведём уравнение гидродинамики для стационарного течения жидкости с вязкостью  $\eta$  через капилляр вискозиметра:

$$Q = \pi R^4 p / \eta L \Rightarrow \eta = \pi R^4 p / 8qL, \quad (5)$$

где  $Q$  – количество жидкости, протекающей через капилляр капиллярного вискозиметра в единицу времени, м<sup>3</sup>/с;

$R$  – радиус капилляра вискозиметра, м;

$L$  – длина капилляра капиллярного вискозиметра, м;

$\eta$  – вязкость жидкости, Па·с;

$p$  – разность давлений на концах капилляра вискозиметра, Па.

Отметим, что формула Пуазейля справедлива только для ламинарного потока жидкости, то есть при отсутствии скольжения на границе жидкость – стенка капилляра вискозиметра. Приведённое уравнение используют для определения динамической вязкости. Ниже размещено схематическое изображение капиллярного вискозиметра.

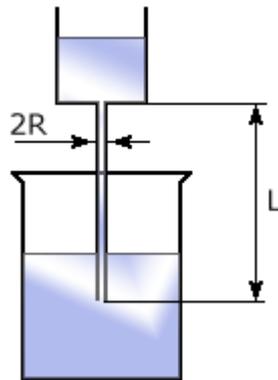


Рис. 1. Схема капиллярного вискозиметра

В капиллярном вискозиметре жидкость из одного сосуда под влиянием разности давлений  $p$  истекает через капилляр сечения  $2R$  и длины  $L$  в другой сосуд. Из рисунка видно, что сосуды имеют во много раз большее поперечное сечение, чем капилляр вискозиметра, и соответственно этому скорость движения жидкости в обоих сосудах в  $N$  раз меньше, чем в капилляре вискозиметра. Таким образом, не всё давление пойдёт на преодоление вязкого сопротивления жидкости, очевидно, что часть его будет расходоваться на сообщение жидкости неопределённой кинетической энергии. Следовательно, в уравнение Пуазейля

необходимо ввести некоторую поправку на кинетическую энергию, называемую поправкой Хагенбаха:

$$\eta = (\pi R^4 p / 8QL) - (hQd / 8\pi), \quad (6)$$

где  $h$  – коэффициент, стремящийся к единице;

$d$  – плотность исследуемой жидкости.

Вторую поправку условно назовём поправкой влияния начального участка капилляра вискозиметра на характер движения исследуемой жидкости. Она будет характеризовать возможное возникновение винтового движения и завихрения в месте сопряжения капилляра с резервуаром капиллярного вискозиметра (откуда вытекает жидкость). Суть поправки состоит в том, что вместо истинной длины капилляра вискозиметра  $L$  мы вводим кажущуюся длину  $L'$ :

$$L' = L + nR, \quad (7)$$

где  $n$  определяется экспериментально на основе изменений при разных значениях  $L$  и примерно равен единице.

Следует учитывать, что при измерении вязкости органических жидкостей с большой кинематической вязкостью поправка Хагенбаха незначительна и составляет доли процента. Если же говорить о высокотемпературных вискозиметрах, то вследствие малой кинематической вязкости жидких металлов поправка может достигать 15%.

Метод капиллярной вискозиметрии вполне можно отнести к высокоточному методу вискозиметрии в силу того, что относительная погрешность измерений составляет доли процента, в зависимости от подбора материалов вискозиметра и точности отсчёта времени, а также иных параметров, участвующих в методе капиллярного истечения.

### *Вязкость нефти*

В любой жидкости под влиянием внешней среды происходит перемещение молекул относительно друг друга. Возникающее при этом трение между молекулами, т. е. внутреннее сопротивление этому перемещению, называется внутренним трением или вязкостью.

Вязкость является важнейшей физической константой, характеризующей эксплуатационные свойства нефтяных масел.

Вязкость используют также при характеристике нефти и её фракций. Как и плотность, вязкость может служить параметром, определяющим характер нефти. Значение вязкости входит во все гидродинамические расчёты, связанные с движением нефти, например к забою добывающих скважин, а также с миграцией в её недрах.

Вязкость в значительной степени определяется структурой и молекулярной массой составляющих нефть углеводородов. На вязкость влияют отдельные структурные группы молекул УВ. Зависимость вязкости от структуры и молекулярной массы УВ может быть использована при изучении химического состава высококипящих нефтяных фракций.

Наибольшее распространение при характеристике нефтей и их фракций получила кинематическая вязкость, представляющая собой отношение абсолютной или динамической вязкости данной жидкости к её плотности при одной и той же температуре. Эту зависимость можно представить следующей формулой:

$$\nu_t = \eta^t / d_4^t, \quad (8)$$

где  $\nu_t$  – кинематическая вязкость;

$\eta^t$  – динамическая вязкость;

$d_4^t$  – плотность жидкости при температуре  $t$ .

За единицу кинематической вязкости принят стокс (Ст), сотая доля его называется сантистоксом (сСт):

$$1 \text{ сСт} = 1 \text{ см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (9)$$

Вязкость в большей степени зависит от температуры, поэтому необходимо всегда указывать, при какой температуре она определена. В технических требованиях значения вязкости чаще всего нормируются при 20, 50 и 100°C. Однако определение вязкости при 20°C не всегда возможно, так как в этих условиях получают трудновоспроизводимые результаты вследствие структурной вязкости.

Отработка метода определения кинематической вязкости нефти и ее фракций доведена до национального стандарта (ГОСТ 33-2000).

#### *Аппаратура*

1. Вискозиметры. Кинематическую вязкость определяют с помощью стеклянных вискозиметров.

2. Термостатирующий сосуд, обеспечивающий длительное поддержание заданной температуры. Обычно для этой цели используют заполненный дистиллированной водой стеклянный цилиндр вместимостью 2-15 л. Температура воды регулируется посредством термостата. Колебания температуры не должны превышать  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

3. Термометр ртутный стеклянный (ГОСТ 2045-71), с интервалом температур от 50 до 100°C и от 0 до 50°C, с ценой деления шкалы 0,1°C.

4. Секундомеры.

#### *Подготовка к определению*

Для определения кинематической вязкости следует выбирать вискозиметры с таким диаметром капилляра, чтобы истечение испытуемого продукта не было слишком большим и чересчур малым. В первом случае увеличивается продолжительность определения, что при отсутствии точного регулируемого термостата может привести к ошибкам вследствие изменения температуры. При быстром прохождении жидкости через капилляр можно получить неправильные результаты вследствие возможной ошибки при отсчёте времени истечения. По требованиям стандарта время истечения нефтепродукта должно быть менее 200 с.

Вискозиметр тщательно промывают последовательно петролейным эфиром, этиловым спиртом и сушат. Сильно загрязнённый вискозиметр рекомендуется предварительно промыть горячей водой и залить не менее чем на 5-8 ч хромовой смесью. После этого вискозиметр промывают дистиллированной водой, спиртом и сушат продувкой тёплого воздуха. Нефть перед определением должна быть обезвожена и освобождена от механических примесей.

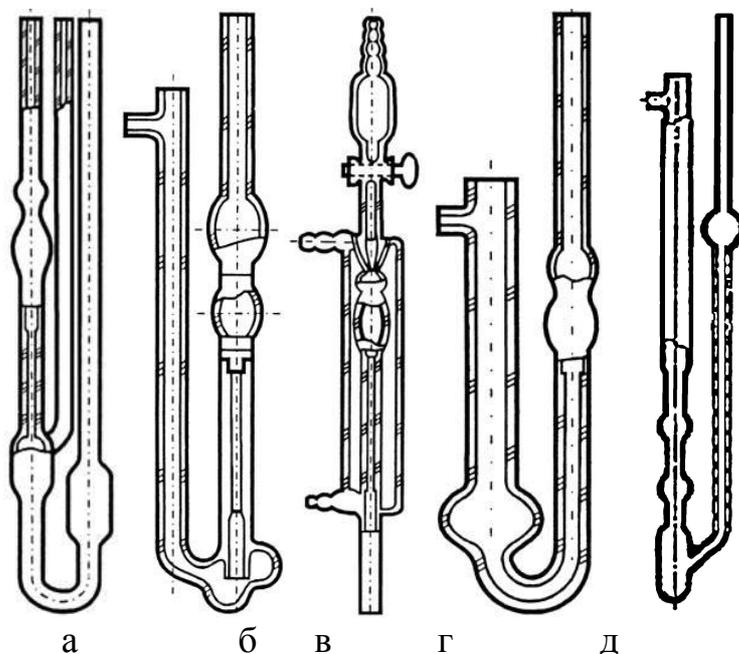


Рис. 2. Вискозиметры: а-г – ВПЖ, д – ВНЖ

#### *Методика определения*

Промытый высушенный вискозиметр заполняют испытуемым нефтепродуктом. Затем устанавливают вертикально в термостате и выдерживают не менее 15 мин. После этого измеряют время истечения нефти между метками. На всех вискозиметрах проводят несколько измерений времени истечения жидкости (не менее 3-4 раз). При точных определениях вязкости – от 0,6 до 1000 сСт – отдельные результаты измерения времени истечения жидкости не должны отличаться друг от друга более чем на 0,6%. При больших расхождениях результатов измерения повторяют.

Большие расхождения результатов измерений могут вызываться четырьмя причинами: загрязнённостью вискозиметра, колебаниями температуры в термостате, конденсацией в приборе влаги и изменением свойств жидкости от одного измерения к другому. Если при устранении первых трёх причин показания приборов не воспроизводятся, вязкость жидкости не может быть определена при данной температуре.

#### *Порядок расчёта*

Вычисляют среднее арифметическое времени истечения нефти в вискозиметре, кроме времени истечения в вискозиметре типа ВНЖ, где проводят

обычно одно измерение. Среднее арифметическое вычисляют с погрешностью до 0,1 с. Кинематическая вязкость испытуемого нефтепродукта,  $\nu_{St}$ , при температуре определения:

$$\nu_t = C\tau, \quad (10)$$

где  $\tau$  – среднее арифметическое времени истечения нефти, с;

$C$  – постоянная вискозиметра,  $\nu_{St}$ , зависящая только от геометрических размеров вискозиметра. Постоянная вискозиметра обычно указывается в паспорте, прикладываемом к прибору.

Кинематическую вязкость нефти вычисляют с точностью до четвертой значащей цифры (например: 1,255; 16,47; 193,1; 1735).

Расхождения между фактическим и допустимым значениями кинематической вязкости определяют правильность выполнения анализа и не должны превышать допустимого отклонения, которое считается по формуле:

$$r_{\text{доп}} = r_{\text{факт}} \times 1,2. \quad (11)$$

Для определения вязкости очень вязких образцов используют прибор другой конструкции – ротационные вискозиметры.

### Ход выполнения лабораторной работы:

1. Определить среднее время истечения испытуемого продукта.
2. Рассчитать кинематическую вязкость по формуле:

$$\nu = K \times t_{cp} \times 1,0015. \quad (12)$$

3. Определить среднюю кинематическую вязкость.
4. Определить правильность выполнения анализа (расхождение между допустимым и фактическим значением кинематической вязкости).

Таблица 4. Исходные данные для выполнения лабораторной работы

|           | Параметр  | Номер пробы |       |          |       |          |      |
|-----------|---|-------------|-------|----------|-------|----------|------|
|           |   | 1           |       | 2        |       | 3        |      |
| Вариант 1 | Тип и номер вискозиметра  | 1200        | 1200  | 227      | 227   | 227      | 227  |
|           | Диаметр капилляра, мм   | 0,56        | 0,56  | 0,73     | 0,73  | 0,73     | 0,73 |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , $\text{мм}^2/\text{с}^2$ | 0,009137    |       | 0,02939  |       | 0,02939  |      |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                         | 1           | 114,0 | 113,8    | 146,6 | 146,7    | 81,6 |
| 2         |   | 113,6       | 113,4 | 146,4    | 146,6 | 81,8     | 82,0 |
| Вариант 2 | Тип и номер вискозиметра  | 1200        | 1200  | 1200     | 1200  | 514      | 514  |
|           | Диаметр капилляра, мм   | 0,56        | 0,56  | 0,56     | 0,56  | 0,73     | 0,73 |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , $\text{мм}^2/\text{с}^2$ | 0,009137    |       | 0,009137 |       | 0,032429 |      |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                         | 1           | 80,4  | 80,7     | 141,8 | 141,5    | 84,2 |
| 2         |   | 80,8        | 80,9  | 141,4    | 141,9 | 84,5     | 84,4 |

Продолжение таблицы 4

|           | Параметр   | Номер пробы |       |          |       |          |       |       |
|-----------|--|-------------|-------|----------|-------|----------|-------|-------|
|           |  | 1           |       | 2        |       | 3        |       |       |
| Вариант 3 | Тип и номер вискозиметра   | 174         | 174   | 1200     | 1200  | 1200     | 1200  |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,34        | 0,34  | 0,56     | 0,56  | 0,56     | 0,56  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,003583    |       | 0,009137 |       | 0,009137 |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 182,8 | 182,5    | 103,2 | 103,4    | 77,2  | 77,6  |
|           |  | 2           | 182,4 | 182,8    | 102,8 | 103,2    | 77,6  | 77,6  |
| Вариант 4 | Тип и номер вискозиметра   | 514         | 514   | 969      | 969   | 227      | 227   |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,99     | 0,99  | 0,73     | 0,73  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,032429    |       | 0,100577 |       | 0,02939  |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 33,6  | 33,8     | 70,4  | 70,2     | 193,4 | 193,2 |
|           |  | 2           | 33,8  | 33,8     | 70,0  | 69,8     | 193,1 | 193,4 |
| Вариант 5 | Тип и номер вискозиметра   | 227         | 227   | 514      | 514   | 1200     | 1200  |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,73     | 0,73  | 0,56     | 0,56  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,02939     |       | 0,032429 |       | 0,009137 |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 263,6 | 263,8    | 63,8  | 63,8     | 92,4  | 92,8  |
|           |  | 2           | 264,0 | 263,6    | 63,6  | 64,0     | 92,8  | 92,8  |
| Вариант 6 | Тип и номер вискозиметра   | 227         | 227   | 174      | 174   | 1200     | 1200  |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,34     | 0,34  | 0,56     | 0,56  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,02939     |       | 0,003583 |       | 0,009137 |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 117,6 | 117,8    | 170,2 | 170,4    | 131,6 | 131,4 |
|           |  | 2           | 117,4 | 117,9    | 170   | 170,2    | 131,4 | 131,2 |
| Вариант 7 | Тип и номер вискозиметра   | 227         | 227   | 514      | 514   | 1200     | 1200  |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,73     | 0,73  | 0,56     | 0,56  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,02939     |       | 0,032429 |       | 0,009137 |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 286,6 | 286,8    | 32,8  | 32,8     | 116,5 | 116,6 |
|           |  | 2           | 287   | 287      | 32,8  | 32,7     | 116,3 | 116,4 |
| Вариант 8 | Тип и номер вискозиметра   | 514         | 514   | 174      | 174   | 969      | 969   |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,34     | 0,34  | 0,99     | 0,99  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,032429    |       | 0,003583 |       | 0,100577 |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 31,6  | 31,5     | 262,0 | 262,4    | 11,0  | 11,2  |
|           |  | 2           | 31,6  | 31,6     | 262,2 | 262,6    | 11,0  | 11    |
| Вариант 9 | Тип и номер вискозиметра   | 227         | 227   | 514      | 514   | 227      | 227   |       |
|           | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,73     | 0,73  | 0,73     | 0,73  |       |
|           | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,02939     |       | 0,032429 |       | 0,02939  |       |       |
|           | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 81,4  | 81,5     | 22,7  | 22,9     | 22,8  | 22,7  |
|           |  | 2           | 81,8  | 81,6     | 22,9  | 22,8     | 22,9  | 22,8  |

Продолжение таблицы 4

|            | Параметр   | Номер пробы |       |          |       |          |        |
|------------|--|-------------|-------|----------|-------|----------|--------|
|            |  | 1           |       | 2        |       | 3        |        |
| Вариант 10 | Тип и номер вискозиметра   | 1200        | 1200  | 227      | 227   | 514      | 514    |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,56        | 0,56  | 0,73     | 0,73  | 0,73     | 0,73   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,009137    |       | 0,02939  |       | 0,032429 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 61,6  | 61,8     | 149,4 | 149,6    | 73,2   |
| 2          |  | 61,9        | 61,9  | 149,4    | 149,4 | 73,2     | 73,2   |
| Вариант 11 | Тип и номер вискозиметра   | 969         | 969   | 174      | 174   | 969      | 969    |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,99        | 0,99  | 0,34     | 0,34  | 0,99     | 0,99   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,100577    |       | 0,03583  |       | 0,098105 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 55,8  | 55,5     | 166,2 | 166,4    | 51,6   |
| 2          |  | 55,6        | 55,6  | 166,6    | 166,6 | 52,0     | 51,6   |
| Вариант 12 | Тип и номер вискозиметра   | 227         | 227   | 1200     | 1200  | 174      | 174    |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,56     | 0,56  | 0,34     | 0,34   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,02939     |       | 0,009137 |       | 0,003583 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 205,2 | 205,0    | 548,4 | 548,2    | 1993,6 |
| 2          |  | 205,4       | 205,4 | 548,6    | 548,4 | 1993,4   | 1993,7 |
| Вариант 13 | Тип и номер вискозиметра   | 514         | 514   | 227      | 227   | 1200     | 1200   |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,73     | 0,73  | 0,56     | 0,56   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,032429    |       | 0,02939  |       | 0,009137 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 42,6  | 42,8     | 27,4  | 27,2     | 82,6   |
| 2          |  | 43          | 42,6  | 27,4     | 27,4  | 82,8     | 82,8   |
| Вариант 14 | Тип и номер вискозиметра   | 174         | 174   | 571      | 571   | 174      | 174    |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,34        | 0,34  | 0,34     | 0,34  | 0,34     | 0,34   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,003583    |       | 0,003476 |       | 0,003583 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 133,6 | 133,6    | 142,6 | 142,6    | 142,0  |
| 2          |  | 134,0       | 134,0 | 142,2    | 142,2 | 142,4    | 142,4  |
| Вариант 15 | Тип и номер вискозиметра   | 174         | 174   | 571      | 571   | 6812     | 6812   |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,34        | 0,34  | 0,34     | 0,34  | 0,56     | 0,56   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,003583    |       | 0,003476 |       | 0,008392 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 177,6 | 177,6    | 200,2 | 200,2    | 93     |
| 2          |  | 177,2       | 177,2 | 200      | 200   | 95       | 95     |
| Вариант 16 | Тип и номер вискозиметра   | 1200        | 1200  | 6812     | 6812  | 1200     | 1200   |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,56        | 0,56  | 0,56     | 0,56  | 0,56     | 0,56   |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,009137    |       | 0,008392 |       | 0,009137 |        |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 102,6 | 102,6    | 117,8 | 117,8    | 116,8  |
| 2          |  | 102,2       | 102,2 | 117,4    | 117,4 | 116,6    | 116,6  |

|            | Параметр   | Номер пробы |       |          |       |          |      |      |
|------------|--|-------------|-------|----------|-------|----------|------|------|
|            |  | 1           |       | 2        |       | 3        |      |      |
| Вариант 17 | Тип и номер вискозиметра   | 227         | 227   | 514      | 514   | 1200     | 1200 |      |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,73        | 0,73  | 0,73     | 0,73  | 0,56     | 0,56 |      |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,02939     |       | 0,032429 |       | 0,009137 |      |      |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 46,2  | 46,2     | 51,5  | 51,5     | 214  | 214  |
| 2          |  | 45,8        | 45,8  | 51,7     | 51,7  | 214      | 214  |      |
|            | Параметр   | Номер пробы |       |          |       |          |      |      |
|            |  | 1           |       | 2        |       | 3        |      |      |
| Вариант 18 | Тип и номер вискозиметра   | 6812        | 6812  | 227      | 227   | 514      | 514  |      |
|            | Диаметр капилляра, мм  | 0,56        | 0,56  | 0,73     | 0,73  | 0,73     | 0,73 |      |
|            | Калибровочная постоянная вискозиметра, $K$ , мм <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> | 0,008392    |       | 0,02939  |       | 0,032429 |      |      |
|            | Время истечения испытуемого продукта, $t$ , с                                | 1           | 428,6 | 428,6    | 305,5 | 305,5    | 2054 | 2054 |
|            |  | 2           | 428,4 | 428,4    | 305,3 | 305,3    | 2054 | 2054 |

**Вопросы для контроля:**

1. Какие компоненты нефти определяют её вязкость?
2. Как связаны между собой динамическая и кинематическая вязкости?
3. Как соотносятся вязкости пластовой и дегазированной нефти?
4. Какие из перечисленных ниже компонентов нефтей обладают наибольшей вязкостью:
  - А) моноциклические и полициклические арены?
  - Б) циклические УВ с большим или меньшим числом углеводородных атомов?
  - В) пяти- или шестичленные цикланы?
  - Г) низкомолекулярные или высокомолекулярные УВ в одном гомологическом ряду?
5. В каких единицах измеряется вязкость нефти?
6. В чём заключается различие в вязкости с ростом температуры высокопарафинистых нефтей и нефтей, содержащих много асфальто-смолистых веществ?

## Лабораторная работа №3

### «Определение фракционного состава нефти (перегонка при атмосферном давлении без ректификации)»

Одной из основных характеристик нефти является фракционный состав, который даёт представление о количественном содержании бензиновых, керосиновых и масляных фракций. Данные по фракционному составу позволяют сравнивать нефти различных месторождений или различных тектонических блоков и горизонтов, а также могут быть использованы для детальных геохимических построений.

Определение фракционного состава нефтей основано на разделении их на отдельные фракции по температуре кипения. При этом даётся количественная оценка выхода основных фракций, выкипающих до 300°C. Перегонять более высококипящие фракции не рекомендуется, так как они могут разлагаться.

Результаты разгонки в значительной степени зависят от размеров отдельных частей перегонного аппарата и от условий самой разгонки. Поэтому для хорошей сходимости результатов важно точно придерживаться стандартной методики и применять стандартную аппаратуру (ГОСТ 2177-82).

#### *Аппаратура*

Для определения фракционного состава нефти применяют стандартный аппарат для разгонки нефтепродуктов по ГОСТ 1392-63, представляющий собой видоизменённый аппарат Энглера-Убеллоде (рис. 3).

В приборе имеется:

1. Стеклоянная колба Энглера.
2. Железный кожух для колбы, укрепленный на штативе и состоящий из двух частей: верхней (съёмной) и нижней (неподвижной), прикрепленной к штативу. В съёмной части кожуха сделан прорез для отводной трубки колбы. К верхнему краю нижней части кожуха прикрепляется металлическое кольцо, на выступающий диск которого кладётся асбестовая прокладка.
3. Холодильник, изготовленный из цельнотянутой латунной трубки и впаянный в металлическую ванну, которая снабжена трубками для подачи и отвода воды.
4. Термометр на длинной ножке с делениями от 0 до 350°C через 1°C.
5. Мерный цилиндр на 100 мл, градуированный при 20°C.
6. Электрический колбонагреватель.

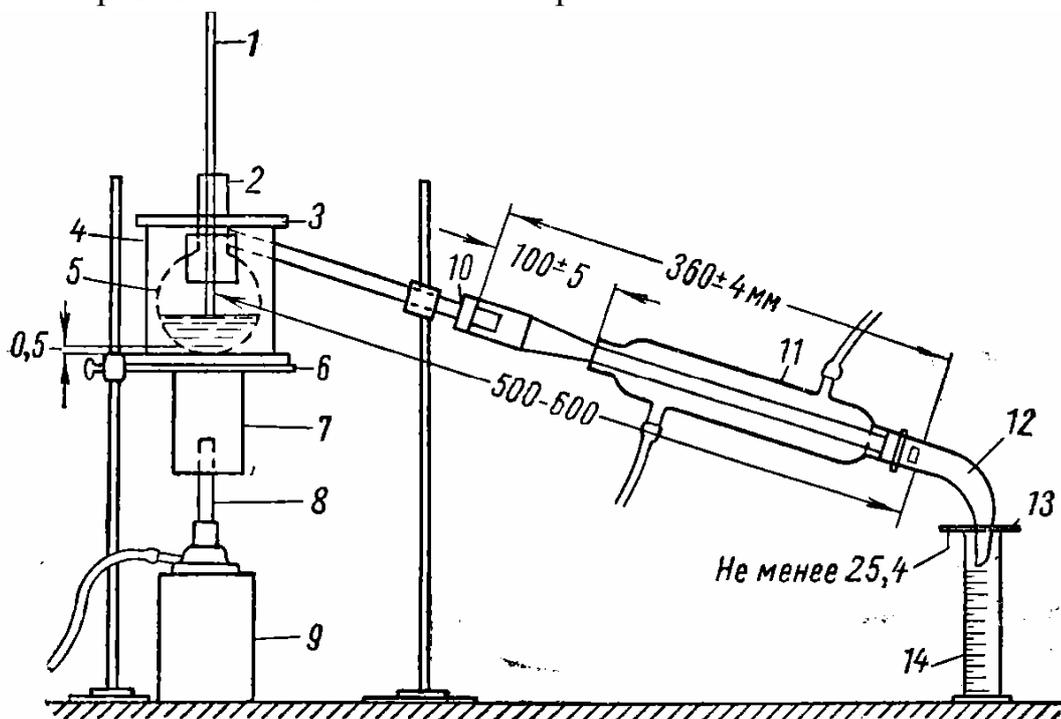
#### *Проведение анализа*

В мерный цилиндр берут 100 мл предварительно высушенной нефти и переливают в колбу Энглера (5) так, чтобы жидкость не попала в отводную трубку колбы (см. рис. 3). В перегонную колбу с испытуемым продуктом вставляют на пробке термометр (1). Верхний край ртутного шарика термометра дол-

жен быть на уровне нижнего края отводной трубки колбы. Колбу устанавливают на асбестовую прокладку колбонагревателя (6). Отводную трубку колбы соединяют пробкой с холодильником (11) так, чтобы отводная трубка входила в трубку холодильника на 25-40 мм и не касалась стенок последней, а колбу накрывают верхней съёмной частью кожуха (3). Мерный цилиндр (14) ставят под конец трубки холодильника и закрывают куском ваты. Трубка холодильника должна входить в цилиндр не менее чем на 25 мм, но не ниже метки 100 мл, и не должна касаться стенки цилиндра.

При перегонке нефти температура воды в холодильнике вначале должна быть 0-5°C. Перегонку ведут без подачи проточной воды. При перегонке парафинистых нефтей температуру воды в холодильнике доводят до 50°C, добавляя в него горячую воду.

Собрав прибор, начинают нагрев колбы, который регулируется таким образом, чтобы первая капля упала в приёмник не раньше чем через 10 мин. и не позднее чем через 15 мин. после начала нагрева.



- 1 – термометр; 2 – корковая пробка; 3 – окно из слюды; 4 – кожух;  
 5 – колба; 6 – прокладки из сетки; 7 – труба; 8 – горелка; 9 – подставка;  
 10 – соединение; 11 – холодильник; 12 – стеклянный слив;  
 13 – пропускная бумага; 14 – колбоприёмник

Рис. 3. Аппарат Энглера для фракционной разгонки нефти при атмосферном давлении

Температуру, которую показывает термометр при падении в приёмник капли, отмечают как температуру начала кипения. Затем цилиндр подвигают к концу трубки холодильника, чтобы дистиллят стекал по стенке цилиндра, и ре-

гулируют скорость перегонки так, чтобы в одну секунду капали две капли (не менее 4 и не более 5 мл/мин.).

Фракционный состав нефти устанавливают следующим образом. Отмечают объём собранного в приёмный цилиндр дистиллята в момент достижения определённых температур (от начала кипения до температуры, кратной  $10^{\circ}\text{C}$ , и далее через каждые  $10^{\circ}\text{C}$  до  $300^{\circ}\text{C}$ ). При достижении  $300^{\circ}\text{C}$  нагрев прекращают, дают стечь дистилляту в течение 5 мин. и записывают объём жидкости в цилиндре. Верхнюю часть кожуха снимают, горячий остаток из колбы выливают в градуированный мерный цилиндр, охлаждают до  $20^{\circ}\text{C}$  и отмечают полученный объём как остаток. Разность между 100 мл при перегонке и суммой остатка и отгона считается потерей при перегонке. Все отсчёты при перегонке берут с погрешностью 0,5 мл и  $1^{\circ}\text{C}$ .

### **Вопросы для контроля:**

1. Что такое фракционный состав?
2. Дайте название отдельных фракций нефти и охарактеризуйте температуры их выхода?
3. Как называется остаток нефти после атмосферной разгонки?
4. Существует ли зависимость между физико-химическими свойствами нефти и её фракционным составом? Если да, то каков её характер?
5. Как изменяются соотношения между отдельными компонентами и группами соединений нефти в различных фракциях с увеличением температуры выхода?
6. Какие виды фракционного анализа вы знаете?
7. У каких углеводородных флюидов можно определить температуру конца кипения и какими особенностями их состава это обусловлено?
8. Определите содержание керосиновой фракции в нефти, если:  
 $T_{нк} = 70^{\circ}\text{C}$ ;  
выход фракции до  $200^{\circ}\text{C} = 58\%$ ;  
выход фракции до  $300^{\circ}\text{C} = 65\%$ ?
9. Охарактеризуйте индивидуальный состав бензиновой фракции.

## Лабораторная работа №4

### «Определение компонентного состава нефти»

В нефтях содержатся углеводородные соединения и различные группы высокомолекулярных гетероатомных соединений, объединяемых общим термином «смолисто-асфальтеновые вещества».

Углеводородные компоненты варьируют в очень широком температурном диапазоне. К ним относятся бензиновые, керосино-газойлевые и масляные фракции.

Сумма смолисто-асфальтеновых компонентов в нефтях колеблется от 1-2% до 30-40%.

При аналитическом определении смолисто-асфальтеновые вещества делят на следующие группы:

- 1) асфальтены, не растворимые в лёгких парафиновых углеводородах (УВ);
- 2) асфальтеновые кислоты, не растворимые в лёгких парафиновых УВ, но растворимые в горячем этиловом спирте;
- 3) смолы, растворимые во всех нефтяных растворителях;
- 4) карбены, растворимые только в сероуглероде, и карбоиды, не растворимые в органических растворителях.

Нефтяные смолы представляют собой вязкую или твёрдую, но легко плавкую массу тёмно-бурого цвета. Содержание смол в нефтях различной плотности может колебаться от долей процента до 25-30%.

Нефтяные асфальтены по внешнему виду отличаются от смол чёрным цветом и хрупкостью. Значительное количество асфальтенов отмечается лишь в тяжёлых нефтях (до 10-15%).

Асфальтогеновые кислоты не играют существенной роли в составе нефти. Они представляют собой смолоподобные вещества неопределённой структуры. При анализе смолисто-асфальтеновых компонентов нефти асфальтогеновые кислоты осаждаются обычно вместе с асфальтенами. Отделяют их от асфальтенов вымыванием горячим этиловым спиртом.

В основу методов выделения и разделения смолисто-асфальтеновых веществ положены различная растворимость и сорбционная способность этих компонентов. В настоящее время широко применяется хроматографический (сорбционный) метод, обеспечивающий наиболее чёткое отделение смолистых веществ от углеводородной части нефти.

Последовательность выделения из нефти углеводородных и смолисто-асфальтеновых компонентов иллюстрируется схемой (рис. 4).

### *Сорбент и растворители*

1. Силикагель марки АСК (или КСК) с крупностью зёрен 0,2-0,5 мм (ГОСТ 3956-76). Силикагель сушат при 150°C в течение 8 часов.
2. Деароматизированная бензиновая фракция, выкипающая в пределах 60-80°C.
3. Петролейный эфир, выкипающий до 50°C.
4. Спирто-бензольная смесь в соотношении 1:1 по объёму.

### *Аппаратура*

Для определения компонентного состава нефтей применяется следующая аппаратура.

1. Адсорбционная колонка, представляющая собой стеклянную трубку высотой 500 мм, диаметром 15 мм, с резервуаром в верхней части. В нижней части колонки расположен кран для регулирования скорости ввода в сорбент исследуемой нефти и скорости десорбции. Для приёма элюатов используют набор конических колб вместимостью 500 мл.

Схема колонки и её размеры представлены на рис. 5а.

2. Колонка для выделения асфальтенов и асфальтогеновых кислот (рис. 2б) представляет собой стеклянную трубку высотой 350 мм. Для обогрева колонки служит водяная рубашка, соединённая с источником тёплой воды. В верхнюю часть трубки на шлифе вставляется воронка для введения продукта в колонку.

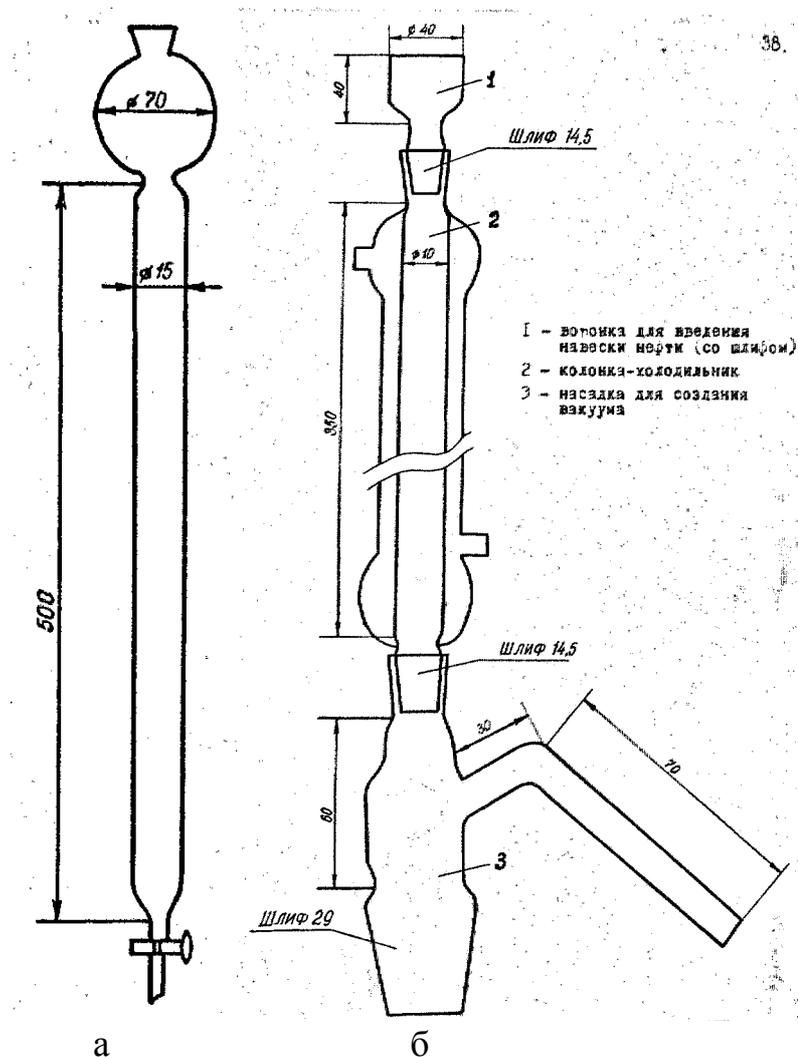
Снизу колонка на шлифе соединяется с насадкой для создания вакуума, имеющей боковой отвод для подсоединения через отвод к насосу.

Насадка на шлифе соединяется с круглодонной колбой вместимостью 0,5 л.

3. Аппараты для отгонки растворителей при атмосферном давлении (хлороформ, петролейный эфир, спиртобензольная смесь) (рис. 3). Аппарат состоит из отгонной колбы, которая на шлифе соединяется с дефлегматором, впаянным в дьюарообразный холодильник. В нижней части холодильника впаяна чашечка для улавливания воды, образующейся при его запотевании. В боковой тубус колбы на шлифе вставляется воронка со шлифованным внутрь капилляром. Через воронку в колбу заливают растворитель; капилляр обеспечивает равномерное кипение растворителя. Через этот же капилляр подаётся азот в отгонную колбу, если необходимо провести отгонку в токе азота.



Рис. 4. Схема хроматографического разделения сырой нефти



- 4 – вакуум-сушильный шкаф; 5 – баллон с углекислым газом или азотом, оборудованный редукционным вентилем; 6 – кислородные подушки; 7 – водяная баня; 8 – колбонагреватель закрытого типа; 9 – колба Энглера; 10 – термометр для отгона растворителя на аппарате Энглера; 11 – мерный цилиндр на 100 мл; 12 – рефрактометр; 13 – весы лабораторные; 14 – штатив для установления адсорбционной колонки

Рис. 5. Адсорбционная колонка для определения компонентного состава нефти (а) и колонка для отделения и промывки асфальтенов и асфальтогеновых кислот (б)

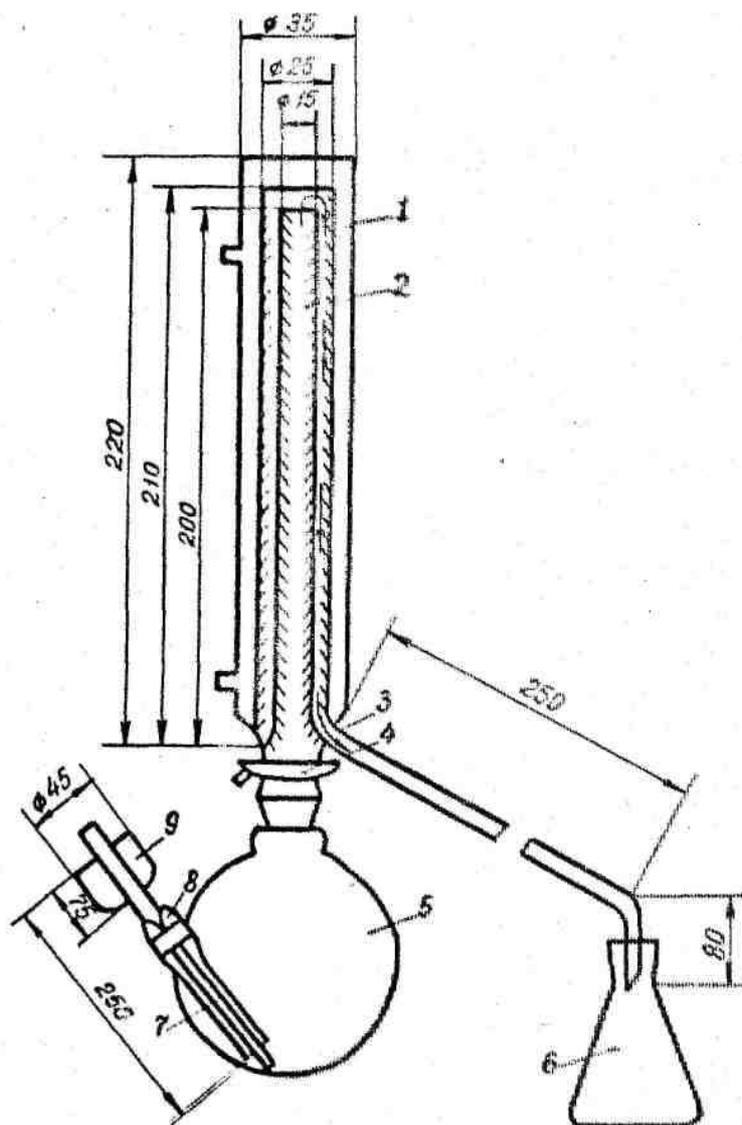


Рис. 6. Аппарат для отгонки растворителей

#### *Методика определения*

Навеску нефти весом 1 г разбавляют 40-кратным по объёму количеством петролейного эфира и тщательно перемешивают. Для полного осаждения асфальтенов раствор оставляют стоять в тёмном месте в течение 24 часов.

Подготавливают колонку для отделения и отмывки асфальтенов. Колонку заполняют ватой, которую слегка утрамбовывают. Затем через воронку в колонку вносят раствор нефти в петролейном эфире с осаждёнными асфальтенами. Асфальтены задерживаются на вате, а фильтрат собирается в круглодонную колбу, из которой потом отгоняется растворитель. Чтобы ускорить фильтрацию, к отводной трубе подключают насос.

Для отмывки асфальтенов от масел и смол через колонку, обогреваемую тёплой водой (40°C), пропускают петролейный эфир до исчезновения окраски вытекающего фильтрата.

Чтобы выделить из асфальтенов фракцию асфальтогеновых кислот, через колонку пропускают подогретый этиловый спирт. Промывку этиловым спир-

том проводят до получения бесцветного фильтрата. После отгонки растворителя асфальтены (и асфальтогеновые кислоты) с помощью небольшого количества хлороформа переводят в тарированный стаканчик и сушат сначала при комнатной температуре, а затем при 80°C в вакуум-сушильном шкафу до постоянной массы. Полученные асфальтены должны быть хрупкими и блестящими, чёрно-коричневого цвета. Матовый и мазеобразный вид асфальтенов указывает на присутствие в них масел и требует повторного осаждения.

Фильтрат после отмывки асфальтенов от масел и смол присоединяют к основному раствору, полученному при фильтровании асфальтенов, и удаляют растворитель (петролейный эфир). Масла со смолами в небольшом количестве растворителя переводят в стаканчик. Затем приступают к хроматографическому разделению масел и смол.

В адсорбционную колонку насыпают силикагель. Весовое отношение нефти к силикагелю должно составлять в случае высокомолекулярных нефтей от 1:20 до 1:30. Силикагель уплотняют постукиванием по колонке деревянной палочкой, а затем пропитывают его растворителем, взятым в количестве примерно 200-250 мл.

После того как растворитель полностью впитался в силикагель, в резервуар заливают разбавленный этим же растворителем в отношении 1:3 исследуемый образец нефти. Скорость ввода продукта в сорбент не должна превышать 100-120 мл/ч. Это достигается регулированием с помощью крана скорости отгона растворителя, которым пропитан силикагель. К десорбции приступают не ранее чем через 8 часов после того, как исходный продукт полностью впитался в силикагель.

Для десорбции углеводородной части в резервуар колонки заливают смесь бензола и бензиновой фракции 60-80°C (85%) в количестве 300-400 мл и одновременно снизу колонки начинают отбор элюата со скоростью 300-400 мл/ч.

Смолистые вещества элюируются спирто-бензольной смесью в количестве 150-200 мл. Элюаты спирто-бензольных смол отбирают до тех пор, пока снизу колонки не пойдёт некрашенный растворитель. Растворители отгоняют на водяной бане. Смолы и масла после отгонки основной массы растворителя переводят в тарированные стаканчики и сушат до постоянной массы в вакуум-сушильном шкафу при 70°C.

#### *Порядок расчёта*

Содержание масел, смол, асфальтенов и асфальтогеновых кислот, %:

$$X = 100 \frac{b}{a}, \quad (13)$$

где  $a$  – навеска нефти, г;

$b$  – масса каждого компонента, г.

Расхождения между двумя параллельными определениями не должны превышать следующих значений:

| Компонент  | Содержание, % | Допустимые расхождения, % |
|------------|---------------|---------------------------|
| Асфальтены | До 0,5        | 20                        |
|            | Более 0,5     | 10                        |
| Смолы      | До 10         | 10                        |
|            | Более 10      | 5                         |

**Вопросы для контроля:**

1. Какова последовательность изучения компонентного состава нефти?
2. Охарактеризуйте соединения, входящие в состав масел, твёрдых парафинов, бензольных смол, спирто-бензольных смол, асфальтенов, асфальтогеновых кислот.
3. Что такое мальтены?
4. Как разделяются нефти по содержанию парафинов, смол, асфальтенов?
5. Взаимосвязаны ли физико-химические свойства нефти и её компонентный состав?
6. Могут ли нефти содержать:
  - 10% смол, 30% смол, 50% смол?
  - 10% асфальтенов, 30% асфальтенов, 50% асфальтенов?
7. Могут ли в нефтях отсутствовать масла? Парафины? Смолы? Асфальтены? Если да, то каковы физико-химические свойства флюидов в этих случаях, как они (флюиды) называются и в каких условиях образуются?

## Лабораторная работа №5

### «Технологическая классификация нефти»

Наряду с классификациями нефтей по химическому составу, физико-химическим свойствам, углеводородному составу масел и т. д., в нашей стране действует технологическая классификация нефтей. Она отражает основное направление их переработки и использования. Все нефти подразделяются на классы, типы, группы, подгруппы и виды.

Классы нефтей выделяются по содержанию серы в нефти, бензине (НК-200°С) и дизельном топливе (240-350°С). Малосернистая нефть содержит не более 0,5% серы, при этом бензиновая и реактивно-топливная фракции – не более 0,1%, дизельная – не более 0,2%. Если серосодержащие соединения сосредоточены в тяжёлых остатках, дистиллятные топливные фракции содержат серу в количествах, не превышающих нормы, установленные для I класса, то нефть относят к малосернистой. Если содержание в каком-либо одном или нескольких видах дистиллятных топлив превышает указанные пределы, то нефть не может считаться малосернистой.

Сернистая нефть содержит от 0,51 до 2,0 серы, при этом бензиновая фракция – не более 0,10%, реактивно-топливная – не более 0,25%, дизельная – не более 1,0%. Если один или несколько видов дистиллятных топлив содержат серу в большем количестве, то нефть относят к высокосернистой.

Высокосернистая нефть содержит более 2% серы, содержание серы в дистиллятах из этой нефти составляют в бензиновом топливе – более 0,1%, реактивном – более 0,25%; дизельном – более 1%.

Если дистиллятные топлива из высокосернистой нефти содержат серу в меньших количествах и по содержанию серы отвечают требованиям, предъявляемым к топливам из сернистой нефти, то даже при содержании серы в нефти более 2% такую нефть следует отнести к сернистой.

По выходу светлых фракций, перегоняющихся до 350°С, нефти делятся на три типа (табл. 4). По суммарному содержанию дистиллятных и остаточных базовых масел – на четыре группы.

Базовые масла могут быть получены либо аналитическим путём, либо их содержание может быть определено расчётным способом.

Аналитическое определение базовых масел включает следующие операции. Исследуемую нефть подвергают разгонке и в зависимости от вида разгонки отбирают:

- фракции, выкипающие в пределах 350-450°, 450-480°, и остаток;
- фракции, выкипающие в пределах 300-350°, 350-400°, 400-450°, 450-460° (450-500°С), и остаток;
- остаток выше 350°С.

Полученные фракции и остаток подвергают депарафинизации, деасфальтенизации и адсорбционному разделению, последовательно смешивают отдельные группы УВ (рис. 7).

Так как не всегда возможно определение содержания базовых масел адсорбционным путём, то было выведено уравнение, связывающее их содержание с качеством нефти, а именно, с концентрациями смол, асфальтенов и парафина:

$$Y = 55,6 - 1,14(X-30,0), \quad (14)$$

где  $Y$  – суммарное содержание базовых масел, % масс., считая на остаток;  
 $X$  – суммарное содержание смол, асфальтенов и парафина, считая на остаток.

В зависимости от значения индекса вязкости базовых масел различают четыре подгруппы нефтей (табл. 4). Индекс вязкости (ИВ) характеризует изменение вязкости в зависимости от температуры. У масел с высоким индексом вязкости смазочных масел в зависимости от температуры изменение вязкости относительно небольшое, у масел с низким индексом вязкости – значительное.

Существует два метода расчёта ИВ смазочных масел на основе их кинематической вязкости при 40°C и 100°C:

А – для масел с ИВ менее 100;

Б – для масел с ИВ 100 и более.

Метод А. ИВ испытуемого масла вычисляют по формулам:

$$\text{ИВ} = \frac{v - v_1}{v - v_2} 100; \quad (15)$$

$$\text{ИВ} = \frac{v - v_1}{v_3} 100, \quad (16)$$

где  $v$  – кинематическая вязкость масла при 20°C с индексом вязкости, равным 0 и имеющим при 100°C такую же вязкость, как и исследуемое масло, мм<sup>2</sup>/с (сСт);

$v_1$  – кинематическая вязкость испытуемого масла при 40°C, мм<sup>2</sup>/с (сСт);

$v_2$  – кинематическая вязкость масла при 40°C с индексом вязкости 100 и имеющим при 100°C такую же вязкость, как и исследуемое масло, мм<sup>2</sup>/с (сСт).

Таблица 4. Технологическая классификация нефти

| Класс | Массовая доля серы, % |                          |                                  |                                 | Тип | Содержание фракции до 350°C, % | Группа | Потенциальное содержание базовых масел, % |                     | Класс | Подгруппа | Индекс вязкости базовых масел | Вид | Массовая доля парафинов в нефти, % | Депарафинизация  |  |
|-------|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----|--------------------------------|--------|---|---------------------|-------|-----------|-------------------------------|-----|------------------------------------|--|--|
|       | в нефти               | в бензине (н.к. – 180°C) | в реактивном топливе (180-240°C) | в дизельном топливе (240-350°C) |     |                                |        | на нефть                                  | на мазут выше 350°C |       |           |                               |     |                                    | не требуется   | требуется  |
| 1     | ≤0,50                 | ≤0,10                    | ≤0,01                            | ≤0,2                            | 1   | ≥55,0                          | 1      | >25,0                                     | >45,0               | 1     | 1         | >95                           | 1   | ≤1,5                               | Для получения реактивного и дизельного топлив, дистиллятов базовых масел | -  |
|       |                       |                          |                                  |                                 |     |                                | 2      | 15-24,9                                   | <45,0               |       | 2         | 90-95                         |     |                                    |  |  |
| 2     | 0,5-2,0               | ≤0,10                    | ≤0,25                            | ≤1,00                           | 2   | 45,0-54,9                      | 3      | 15,0-24,9                                 | 30,0-24,9           | 2     | 3         | 85-89,9                       | 2   | 1,51-6,00                          | Для получения реактивного и дизельного топлив                            | Для получения дизельного зимнего топлива и дистиллятов базовых масел     |
| 3     | >2,00                 | >0,10                    | >0,25                            | >1,00                           | 3   | <45,0                          | 4      | <15,0                                     | <30,0               | 3     | 4         | <85                           | 3   | >6,00                              |  | Для получения реактивного и дизельного топлив, дистиллятов базовых масел |

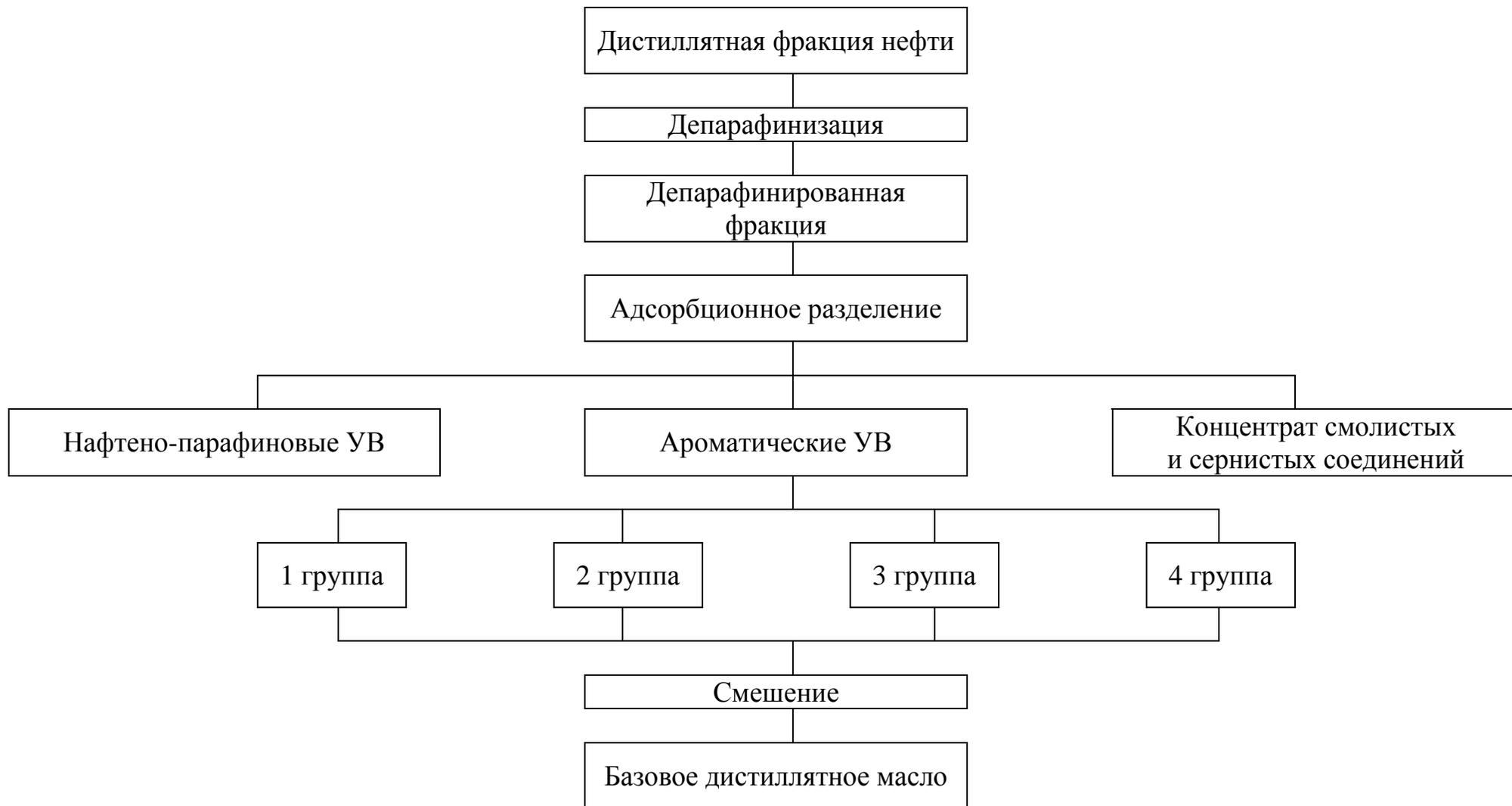


Рис. 7. Схема получения базовых масел из дистиллятных фракций

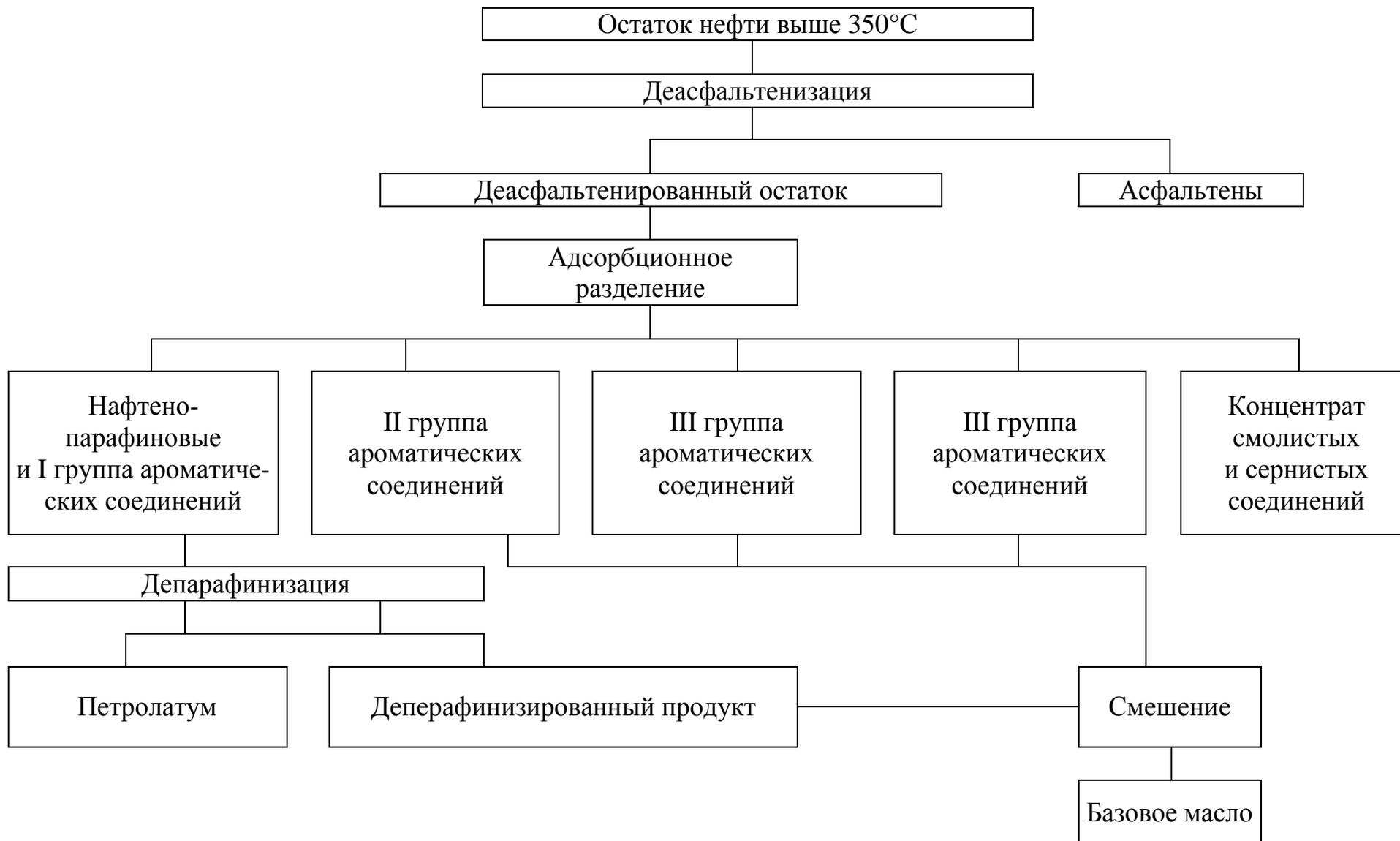


Рис. 8. Схема получения базовых масел из остатка

$$v_3 = v - v_2. \quad (17)$$

Если кинематическая вязкость масла при 100°С выше 70 мм<sup>2</sup>/с (сСт), значения  $v$  и  $v_3$  вычисляют по формулам:

$$v = 0,8353v_4^2 + 14,67v_4 - 216; \quad (18)$$

$$v_3 = 0,6669v_4^2 + 2,82v_4 - 119, \quad (19)$$

где  $v_3$  – кинематическая вязкость масла испытуемого масла при 100°С, мм<sup>2</sup>/с (сСт).

Для испытуемых продуктов, кинематическая вязкость которых при 100°С меньше 2 мм<sup>2</sup>/с (сСт), значения  $v$  и  $v_3$  вычисляют по формулам:

$$v = v_4 (1,5215 + 0,7092 v_4); \quad (20)$$

$$v_3 = v_4 (0,17129 + 0,11441 v_4); \quad (21)$$

$$v_2 = v_4 (1,35017 + 0,59482 v_4). \quad (22)$$

Если ИВ, вычисляемый по методу А, выше 100, расчёт ведут по методу Б. Метод Б.

$$\text{ИВ} = \frac{\log v_2 - \log v_1}{\log v_4}. \quad (23)$$

Если кинематическая вязкость масла при 100°С выше 70 мм<sup>2</sup>/с (сСт), значения  $v_2$  вычисляют по формуле:

$$v_2 = 0,1684v_4^2 + 11,85v_4 - 97. \quad (24)$$

Для продуктов, кинематическая вязкость которых при 100°С меньше 2 мм<sup>2</sup>/с (сСт):

$$v_2 = v_4 (1,35015 + 0,59482 v_4). \quad (25)$$

Значение ИВ округляют до целого числа.

По содержанию парафинов нефти делят на 3 вида (табл. 4). Если в нефти содержится не более 1,5% парафина из этой нефти можно без депарафинизации получить реактивное топливо, зимнее дизельное топливо с пределами перегонки 240-350°С и температурой застывания не выше -45°С, а также промышленные базовые масла, то такую нефть относят к малопарафинистым. Если в нефти содержится 1,5-6% парафинов и из нее можно без депарафинизации получить реактивное топливо и летнее дизельное топливо с пределами перегонки 240-350°С и температурой застывания не выше -10°С, то нефть относят к парафинистым. Для получения дизельного зимнего топлива и базовых дистиллятных масел из этих нефтей требуется депарафинизация. Нефть, в которой содержится более 6% парафинов, называют высокопарафинистой. Из неё и реактивное, и лёгкое дизельное топливо получают только после депарафинизации.

Если из парафинистой нефти летнее дизельное топливо можно получить только после депарафинизации, то нефть следует отнести к третьему классу. И, наоборот, если для выработки лёгкого дизельного топлива из нефти, содержащей больше 6% парафинов, депарафинизация не требуется, то такую нефть относят ко второму классу.

Таблица 5. Характеристика некоторых нефтей и их шифр по технологической классификации

| Название нефти         | Содержание серы |        |                    |                   | Выход фракций до 350°С | Потенциальное содержание базовых масел |          | Индекс вязкости | Содержание парафинов | Шифр  |
|------------------------|-----------------|--------|--------------------|-------------------|------------------------|--|----------|-----------------|----------------------|-------|
|                        | нефть           | бензин | реактивное топливо | дизельное топливо |                        | на нефть                               | на мазут |                 |                      |       |
| Туймазинская           | 1,44            | 0,03   | 0,14               | 0,96              | 53,4                   | 15,0                                   | 32,0     | 85-88           | 4,1                  | 22232 |
| Жирновская             | 0,29            | 0,10   | 0,13               | 0,18              | 50,8                   | 19,3                                   | 89,0     | 95-99           | 5,1                  | 22212 |
| Жетыбайская            | 0,10            | 0,005  | 0,008              | 0,03              | 41,2                   | 20,5                                   | 34,8     | 95-100          | 23,4                 | 12213 |
| Самотлорская           | 0,96            | -      | 0,036              | 0,50              | 58,2                   | 27,6                                   | 54,0     | 90-92           | 2,3                  | 21122 |
| Анастасиевско-Троицкая | 0,22            | -      | 0,061              | 0,08              | 46,3                   | 28,2                                   | 54,8     | 40-66           | 1,0                  | 12141 |

После определения класса, типа, группы, подгруппы и вида нефти составляют её технологический индекс. Он представляет собой сочетание пяти арабских цифр, каждая из которых отвечает соответствующей градации. Определение технологического индекса нефти является обязательным при подсчёте запасов нефти промышленных категорий.

Определение технологических свойств нефтей может выполняться по двум программам: полной и сокращённой. Полная программа предусматривает определение всех технологических показателей, в том числе содержания базовых масел и индекса вязкости аналитическим путём. Методика аналитических работ изложена выше. По сокращённой программе индекс вязкости базовых масел принимается равным 85 для всех нефтей, а содержание базовых масел рассчитывается по формуле (14). Пример определений технологического индекса нефти по полной схеме приведён в таблице 5. Образцы использования сокращённой программы приводятся ниже.

*Пример 1*

Определить технологический индекс нефти Хыльчуйского месторождения скв. 48 (P2).

Содержание парафина – 3,40%.

Содержание смол – 3,34%.

Содержание асфальтенов – 0,37%.

Содержание серы в нефти – 0,37%.

Содержание серы во фракциях:

НК-180°С – 0,05%;

180-240°С – 0,08%;

240-350°С – 0,18%.

Выход фракций до 350°С – 59,7%.

1. Выход остатка выше 350°С:

$$100\% - 59,7\% = 40,3\%.$$

2. Суммарное содержание смол, асфальтенов и парафина:

$$3,40\% + 3,34\% + 0,37\% = 7,11.$$

3. Выход смол, асфальтенов и парафинов на остаток:

$$7,11 \cdot 100 / 40,3 = 17,64\%.$$

4. Выход базовых масел в расчёте на остаток:

$$У = 55,6 - 1,14(17,64 - 30) = 55,6 + 14,09 = 69,69.$$

5. Выход базовых масел на нефть:

$$69,69 \cdot 40,4 / 100 = 28,09\%.$$

Индекс 1.1.1.3.2.

### *Пример 2*

Определить технологический индекс нефти Среднемакарихинского месторождения скв. 7.

Содержание парафина – 2,51%.

Содержание смол – 20,0%.

Содержание асфальтенов – 10,54%.

Содержание серы в нефти – 2,19%.

Содержание серы во фракциях:

НК-180°C – 0,30%;

180-240°C – 0,60%;

240-350°C – 1,95%.

Выход фракций до 350°C – 32,7%.

1. Выход остатка выше 350°C:

$$100\% - 32,7\% = 67,3\%.$$

2. Суммарное содержание смол, асфальтенов и парафина:

$$20,0\% + 10,54\% + 2,51\% = 33,05\%.$$

3. Выход смол, асфальтенов и парафинов на остаток:

$$33,05 \cdot 100 / 67,3 = 49,11\%.$$

4. Выход базовых масел в расчёте на остаток:

$$У = 55,6 - 1,14(49,11 - 30) = 55,6 + 21,79 = 77,39.$$

5. Выход базовых масел на нефть:

$$77,39 \cdot 67,3 / 100 = 52,12\%.$$

Индекс 3.3.3.3.2.

### **Вопросы для контроля:**

1. Что отражает технологический индекс нефти?

2. Что такое базовые масла?

3. Что показывает индекс вязкости базовых масел?

4. Поясните термины: дистилляция нефти, крекинг, каталитический риформинг, пиролиз нефтяного сырья.

### **Ход выполнения лабораторной работы:**

1. Определить технологический индекс трёх проб нефтей по сокращённой схеме и сделать вывод о наиболее целесообразном направлении их переработки.

Таблица 6. Исходные данные для выполнения лабораторной работы

|           | Параметр                      | Номер пробы |      |      |
|-----------|-------------------------------|-------------|------|------|
|           |                               | 1           | 2    | 3    |
| Вариант 1 | Массовая доля парафина, %     | 6           | 12   | 4    |
|           | Массовая доля смол, %         | 15,5        | 13   | 16,7 |
|           | Массовая доля асфальтенов, %  | 6,8         | 3,5  | 8,0  |
|           | Массовая доля серы в нефти, % | 1,5         | 0,5  | 2,0  |
|           | Выход фракций до 350°C, %     | 55,7        | 53,5 | 55,3 |
| Вариант 2 | Массовая доля парафина, %     | 15          | 5,8  | 4,0  |
|           | Массовая доля смол, %         | 10          | 24   | 18   |
|           | Массовая доля асфальтенов, %  | 3,8         | 6,3  | 10   |
|           | Массовая доля серы в нефти, % | 0,6         | 1,5  | 2,0  |
|           | Выход фракций до 350°C, %     | 51,2        | 47,7 | 52,0 |
| Вариант 3 | Массовая доля парафина, %     | 3,8         | 4,5  | 11,5 |
|           | Массовая доля смол, %         | 21          | 18   | 6    |
|           | Массовая доля асфальтенов, %  | 7,4         | 9    | 2    |
|           | Массовая доля серы в нефти, % | 1,5         | 1,8  | 1,1  |
|           | Выход фракций до 350°C, %     | 46,6        | 48,5 | 62,0 |
| Вариант 4 | Массовая доля парафина, %     | 4,8         | 3,5  | 8,4  |
|           | Массовая доля смол, %         | 25          | 17   | 14,5 |
|           | Массовая доля асфальтенов, %  | 10          | 9,5  | 4,5  |
|           | Массовая доля серы в нефти, % | 2,0         | 1,7  | 1,6  |
|           | Выход фракций до 350°C, %     | 40          | 49,5 | 49   |
| Вариант 5 | Массовая доля парафина, %     | 14          | 10   | 5,4  |
|           | Массовая доля смол, %         | 13,5        | 15   | 18,5 |
|           | Массовая доля асфальтенов, %  | 3,8         | 4,3  | 9,4  |
|           | Массовая доля серы в нефти, % | 0,7         | 0,8  | 1,5  |
|           | Выход фракций до 350°C, %     | 48,7        | 50,2 | 52,1 |

Продолжение таблицы 6

|            | Параметр                      | Номер пробы |      |      |
|------------|-------------------------------|-------------|------|------|
|            |                               | 1           | 2    | 3    |
| Вариант 6  | Массовая доля парафина, %     | 4           | 3,8  | 10   |
|            | Массовая доля смол, %         | 3,8         | 4,5  | 11   |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,5         | 0,6  | 3,9  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,09        | 0,08 | 0,26 |
|            | Выход фракций до 350°С, %     | 35,2        | 45,6 | 52,1 |
| Вариант 7  | Массовая доля парафина, %     | 6           | 6    | 15   |
|            | Массовая доля смол, %         | 4,5         | 15   | 13   |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,8         | 5    | 4,8  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,09        | 0,25 | 0,21 |
|            | Выход фракций до 350°С, %     | 43,7        | 57   | 56,2 |
| Вариант 8  | Массовая доля парафина, %     | 18          | 5    | 16   |
|            | Массовая доля смол, %         | 9,5         | 4,8  | 10,5 |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 3,5         | 0,7  | 3,8  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,2         | 0,07 | 0,23 |
|            | Выход фракций до 350°С, %     | 45          | 36,5 | 57,7 |
| Вариант 9  | Массовая доля парафина, %     | 6           | 6    | 12   |
|            | Массовая доля смол, %         | 15          | 4,8  | 13,9 |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 5           | 0,9  | 3,9  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,5         | 0,1  | 0,15 |
|            | Выход фракций до 350°С, %     | 62          | 60,3 | 50,2 |
| Вариант 10 | Массовая доля парафина, %     | 6           | 12,5 | 10   |
|            | Массовая доля смол, %         | 4,7         | 14,3 | 12   |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,8         | 4,2  | 3,8  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,07        | 0,2  | 0,45 |
|            | Выход фракций до 350°С, %     | 37,5        | 51,2 | 59,2 |

Продолжение таблицы 6

|            | Параметр                      | Номер пробы |       |       |
|------------|-------------------------------|-------------|-------|-------|
|            |                               | 1           | 2     | 3     |
| Вариант 11 | Массовая доля парафина, %     | 4           | 5     | 4,8   |
|            | Массовая доля смол, %         | 4           | 5     | 5,47  |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,5         | 0,3   | 2,61  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,07        | 0,06  | 0,21  |
|            | Выход фракций до 350°C, %     | 50,5        | 44,7  | 61,34 |
| Вариант 12 | Массовая доля парафина, %     | 4,1         | 7     | 8     |
|            | Массовая доля смол, %         | 4,12        | 10,1  | 12    |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,61        | 3     | 2,5   |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,1         | 0,23  | 0,24  |
|            | Выход фракций до 350°C, %     | 69,27       | 54,9  | 56,5  |
| Вариант 13 | Массовая доля парафина, %     | 4           | 3,5   | 8     |
|            | Массовая доля смол, %         | 4,8         | 4,3   | 7,5   |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,63        | 0,37  | 3,2   |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,08        | 0,1   | 0,11  |
|            | Выход фракций до 350°C, %     | 39,57       | 55,33 | 43,9  |
| Вариант 14 | Массовая доля парафина, %     | 2,5         | 4,8   | 6     |
|            | Массовая доля смол, %         | 10,8        | 3,4   | 2,5   |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 3,9         | 0,7   | 0,29  |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,5         | 0,09  | 0,07  |
|            | Выход фракций до 350°C, %     | 67,3        | 44,9  | 49,21 |
| Вариант 15 | Массовая доля парафина, %     | 4,2         | 5,4   | 7,3   |
|            | Массовая доля смол, %         | 3,8         | 9,7   | 12    |
|            | Массовая доля асфальтенов, %  | 0,57        | 3,5   | 4,7   |
|            | Массовая доля серы в нефти, % | 0,09        | 0,3   | 0,12  |
|            | Выход фракций до 350°C, %     | 48,63       | 61,8  | 58,8  |

**Лабораторная работа №6**  
**«Изучение физико-химических свойств нефтей.**  
**Построение тригонограмм»**

*Теоретическая часть*

Нефть в природных условиях представляет собой жидкую гидрофобную фазу, распределённую в поровом пространстве горной породы. Иногда встречаются «свободные» макроскопления нефти в виде нефтяных озёр или крупных трещин, заполненных чаще всего изменёнными нефтями – нафтидами. Вместе с минеральной частью породы нефть образует своеобразную природную систему, с определёнными качествами и особенностями, присущими именно данной системе. Эти качества обусловлены как свойствами отдельных компонентов этой системы, так и спецификой их сочетания, их взаимодействия и соотношения всей системы с окружающей средой.

Нефть – единственный не водный жидкий раствор на Земле.

Дать определение понятия «нефть» можно с разных позиций.

Геологическое определение – жидкий каустобиолит, углеродистый минерал.

Органолептическое определение – маслянистая жидкость, бурого или чёрного цвета с характерным запахом, легче воды.

Химическое определение – естественная сложная смесь углеводородов и гетероатомных (преимущественно серо-, кислород- и азотсодержащих) органических соединений.

Генетическое определение – обособившиеся в самостоятельные скопления наиболее стойкие жидкие гидрофобные продукты фоссилизации органического вещества, захороненного в субаквальных отложениях.

Системное определение – система природного многокомпонентного углеводородного (УВ) раствора, в котором растворителем являются жидкие УВ, а растворённым веществом – твёрдые УВ (высокомолекулярные парафины, полициклические нафтенны, некоторые арены), газы, неуглеводородные соединения, как низкомолекулярные (азотистые, сернистые и др.), так и высокомолекулярные (смолы и асфальтены).

Пробы нефти могут отбираться на устье скважины при её фонтанировании либо различными приспособлениями из ствола скважины, если она заполнена нефтью. Для этой цели используют желонки.

При движении нефти по стволу скважины возможны изменения её состава, следовательно, и её свойств: может происходить выпадение тяжёлых парафинов, асфальтенов, нефть может претерпевать эффект хроматографического разделения.

Иногда отбор нефти производят после интенсификации притока, например после солянокислотной обработки пласта. Первые пробы, полученные после этого, обычно отличаются повышенной плотностью, высоким содержанием смол и асфальтенов. Они подлежат отбраковке.

Пробы могут отбираться на поверхности из ёмкости, в которой содержатся нефти разных пластов.

Наиболее достоверными являются глубинные пробы, отобранные глубинными пробоотборниками в условиях пласта, т. е. без снижения пластового давления и температуры.

Условия отбора пробы нефти должны всегда указываться на этикетках и в заключении после исследования её физико-химических свойств.

По внешнему виду большинство нефтей представляют собой маслянистую жидкость от светло-коричневого до чёрного цвета. Известны также светлые, даже белые нефти. Нефть может быть очень вязкой – практически нетекучей при обычной температуре, и жидкой, маловязкой, легкоподвижной. Все нефти отличаются характерным бензиновым запахом, который сильнее у более лёгких нефтей.

Конденсаты в поверхностных условиях представляют собой бесцветную или светло-жёлтую жидкость, отличающуюся низкой вязкостью, хорошей текучестью. В условиях высокого пластового давления и температуры (в залежи) жидкие и твёрдые УВ находятся в состоянии обратного (ретроградного) испарения в газе. При снижении давления ниже критического из газоконденсатной системы выделяется жидкая фаза – конденсат.

#### *Основные физико-химические свойства нефти*

**Плотность** – масса вещества в единице объема. Обычно определяют абсолютную плотность. Единица измерения плотности в системе СИ –  $\text{кг}/\text{м}^3$ , или  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Плотность нефти определяется либо пикнометрическим методом, либо ареометрическим. Для нефтей и нефтяных фракций принято пользоваться относительной плотностью, выражающей отношение массы нефти (фракции) к массе чистой воды при  $4^\circ\text{C}$  (при этой температуре вода имеет наивысшую плотность), взятой в том же объёме. Численные значения абсолютной и относительной плотности отличаются незначительно, но относительная плотность – величина безразмерная. Для большинства нефтей плотность измеряется при  $20^\circ\text{C}$ , для вязких – высокосмолистых или высокопарафинистых нефтей – при  $70^\circ\text{C}$ .

**Вязкость** – это свойство молекул текучих тел сопротивляться их взаимному перемещению, которое зависит от размера перемещающихся поверхностей, температуры и скорости их перемещения.

Вязкость нефти определяется структурой слагающих нефть УВ и гетероатомных соединений.

Наиболее распространённой для характеристики нефтей и нефтяных фракций является кинематическая вязкость – это отношение абсолютной вязкости к плотности жидкости при температуре определения.

Абсолютная вязкость представляет собой скорость истечения жидкости из определённого объёма и измеряется в пуазах (г/см·с), в системе СИ – паскаль в с (Па·с) – это сопротивление, оказываемое жидкостью при перемещении относительно друг друга со скоростью 1 м/с двух её слоёв площадью 1 м<sup>2</sup> каждый, находящихся на расстоянии 1 м, под действием приложенной силы в 1 Н.

За единицу кинематической вязкости принят 1 стокс – это кинематическая вязкость жидкости с абсолютной вязкостью в 1 Па·с и плотностью 1 кг/м<sup>3</sup>.

**Молярная масса (M)** нефти и фракций – масса усреднённой (гипотетической) молекулы. Молекулярная масса (вес) большинства нефтей изменяется от 180 до 250, для тяжёлых нефтей, достигая величины 450 и более. Самую высокую молекулярную массу из нефтяных компонентов имеют асфальтены – до 10 000.

**Температура застывания** нефти или потеря подвижности может быть выше нуля (до +16\*0) и ниже (до -20°C). Зависит от содержания высокомолекулярных соединений – твёрдых парафинов и смолисто-асфальтовых веществ (САВ).

**Фракционный состав** нефтей основан на разделении их на фракции с определёнными интервалами температур кипения. Принцип фракционной разгонки заключается в том, что углеводородные растворы разделяются на фракции по температурам кипения входящих в эти фракции соединений.

Предварительно нефть дегазируют и освобождают от механических примесей и воды.

В аналитической практике нефти часто разгоняют на 10-градусные фракции – так называемая разгонка по Энглеру.

В геохимической практике фракции, выкипающие до 200°C, относят к бензиновым, от 200 до 300°C – к керосиновым, все остальные высококипящие фракции – к масляным.

Остаток, выкипающий выше 300°C, называют мазутом, а всё, что остаётся после отбора до 550°C, – гудроном.

**Групповой (компонентный) состав** – под ним понимают выделение групп компонентов, входящих в состав нефти, близких по свойствам и составу.

Выделяемые группы компонентов являются аналитическими и могут в разных нефтях иметь неодинаковый состав. Анализ ведут в следующей последовательности: сначала петролейным эфиром выделяют асфальтены, наиболее высокомолекулярные соединения сложного строения, содержащие гетероатомные соединения. По свойствам они близки к кристаллическим телам. Нефть, лишённая асфальтенов, называется мальтеновой. Мальтены содержат масла и смолы. Затем мальтены разделяют на силикагеле, который адсорбирует смолы,

вещества с меньшим, по сравнению с асфальтенами, молекулярным весом. Масла – это углеводородная часть нефти.

Масла, смолы и асфальтены составляют в сумме 100%.

#### *Применение тригонограмм*

**Тригонограмма** – это один из способов графического изображения аналитических данных. В основном они используются для отображения состава трёхкомпонентных систем и широко применяются в геологии, литологии, органической химии и т. д.

Кратко принципы построения тригонограмм заключаются в следующем.

График имеет форму равностороннего треугольника. Каждая его сторона представляет собой шкалу концентраций одного компонента от 0 до 100%. Положение любой точки на графике задано тремя координатами, сумма которых постоянна.

A, B, C – это условные наименования компонентов, фракций, элементов в составе анализируемых объектов.

Для применения тригонограммы на практике необходимо отчётливо представлять себе и научиться отличать линии одинаковых концентраций каждого компонента смеси, т. е. видеть линии одинаковых концентраций одного компонента так, как показано на рис. 9а. Если в точке вершины A содержание компонента A равно 100%, то вдоль противоположной стороны треугольника расположены точки с нулевым его содержанием. Все линии равных концентраций компонента A (10%, 20%, 30% и т. д.) будут параллельны линии нулевой концентрации или линии нулевых координат BC.

Аналогично проведены координатные линии второго и третьего компонентов (рис. 9б и 9в). Для примера показано положение точки с координатами A = 60%, B = 20%, C = 20% (рис. 9г). Чтобы нанести на диаграмму эту точку по заданным координатам (рис. 9д), достаточно найти две её координаты на шкале компонентов A и B и провести координатные линии до их пересечения. Это и будет искомая точка. Значение третьей координаты будет удовлетворено само по себе как недостающая разность до 100%.

Следует избегать ошибок при неправильном выборе отрезка координатной линии. Так, для определения координат точки на диаграмме значением координаты компонента A будет величина a, но не б', значением координаты компонента B будет b, но не с', значением координаты третьего компонента C будет величина с, но не а'. Сумма правильно найденных координат всегда составляет 100.

В практике геохимических исследований приходится иметь дело, как правило, не с единичными определениями, а с большой группой анализов. Они изображаются на диаграмме в форме поля, ограниченного координатными линиями так, что все анализы этой группы попадают в данное поле.

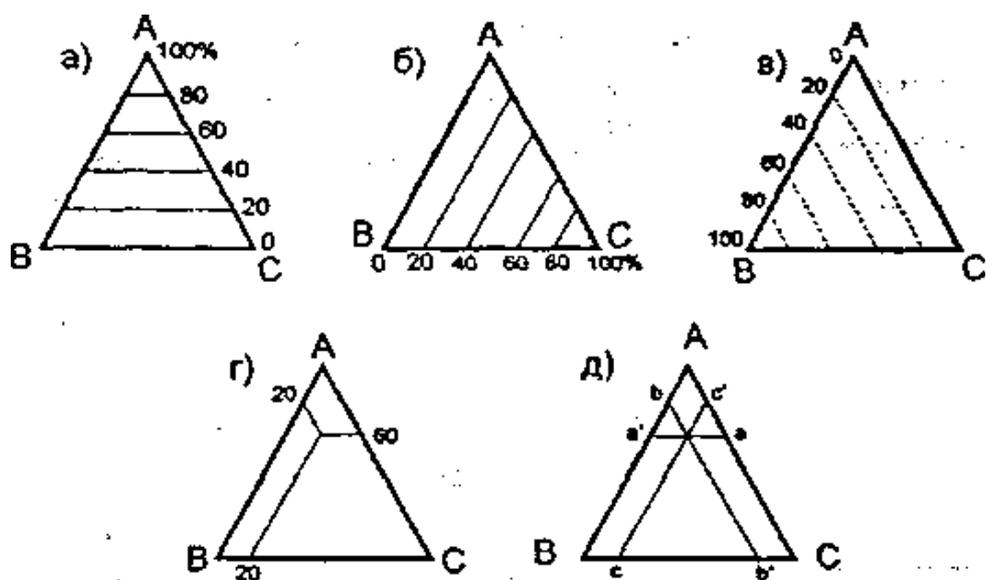


Рис. 9. Построение тригонограмм

**Ход выполнения лабораторной работы:**

1. По данным таблиц №№ 7-10 составить четыре треугольные диаграммы.
2. Проанализировать построенные тригонограммы и выявить закономерности в составе горючих ископаемых.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

Таблица 7. Фракционный состав

| Вариант | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Температура начала кипения, °С | Выход |      |         |         |
|---------|------------------------------|--------------------------------|-------|------|---------|---------|
|         |                              |                                | 100   | 200  | 300     | остаток |
| 1.      | 0,871                        | 137                            | 0     | 12   | 37      | 63      |
| 2.      | 0,888                        | 81                             | 2     | 15,6 | 47      | 53      |
| 3.      | 0,835                        | 75                             | 2     | 23,6 | 47,5    | 52,5    |
| 4.      | 0,735                        | 35                             | 24,5  | 60,1 | 95      | 5       |
| 5.      | 0,749                        | 44                             | 21    | 65   | 84      | 16      |
| 6.      | 0,740                        | 37                             | 34    | 83   | кк 285° | 17      |
| 7.      | 0,724                        | 32                             | 20    | 62   | 76      | 24      |
| 8.      | 0,797                        | 67                             | 7     | 44,5 | 68      | 32      |
| 9.      | 0,808                        | 63                             | 6,5   | 38   | 61      | 39      |
| 10.     | 0,831                        | 100                            | 1     | 13   | 34      | 66      |
| 11.     | 0,860                        | 95                             | 1,2   | 12   | 44      | 56      |
| 12.     | 0,804                        | 63                             | 5     | 47   | 70      | 30      |
| 13.     | 0,869                        | 101                            | 0     | 9    | 39      | 61      |
| 14.     | 0,791                        | 87                             | 6     | 62   | 86      | 14      |
| 15.     | 0,970                        | 140                            | 0     | 7    | 18      | 82      |
| 16.     | 0,792                        | 84                             | 7     | 60   | 83      | 17      |
| 17.     | 0,800                        | 61                             | 6     | 40   | 65      | 35      |
| 18.     | 0,740                        | 35                             | 30    | 80   | кк 290° | 20      |
| 19.     | 0,890                        | 90                             | 2     | 12,4 | 39      | 61      |
| 20.     | 0,854                        | 100                            | 0     | 9    | 35      | 65      |

Таблица 8. Элементный состав

| Вариант | Вещество       | Элементный состав, % |           |        |        |            |
|---------|----------------|----------------------|-----------|--------|--------|------------|
|         |                | Углерод С            | Водород Н | Сера S | Азот N | Кислород О |
| 1.      | нефть          | 86,4                 | 11,7      | 0,6    | 1,1    | 0,2        |
| 2.      | нефть          | 85,8                 | 14        | -      | 0,06   | 0,14       |
| 3.      | нефть          | 84,9                 | 9,3       | 4,3    | 0,4    | 1,1        |
| 4.      | нефть          | 83,7                 | 12,3      | 1,09   | 2      | 0,91       |
| 5.      | нефть          | 87                   | 12,1      | 0,4    | -      | 0,5        |
| 6.      | торф           | 57,4                 | 6,1       | 0,2    | 1,6    | 34,7       |
| 7.      | торф           | 57                   | 5,9       | 0,4    | 1,6    | 35,1       |
| 8.      | бурый уголь    | 72,6                 | 5,4       | 0,4    | 1,6    | 20         |
| 9.      | каменный уголь | 82                   | 5         | 1      | 1      | 11         |
| 10.     | каменный уголь | 85                   | 5         | 2      | 2      | 6          |
| 11.     | асфальт        | 83                   | 11        | 1      | 0,5    | 4,5        |
| 12.     | керит          | 84                   | 8         | 1,5    | 1,3    | 5,2        |
| 13.     | нефть          | 85,7                 | 13,6      | 0,3    | 0,3    | 0,1        |
| 14.     | нефть          | 83,6                 | 13,4      | 0,6    | -      | 2,4        |
| 15.     | нефть          | 87,4                 | 12,5      | -      | -      | 0,1        |
| 16.     | нефть          | 82,4                 | 8         | 3,2    | 0,2    | 6,2        |
| 17.     | нефть          | 84                   | 10        | 2,2    | 0,4    | 3,4        |
| 18.     | нефть          | 85                   | 10        | 1,5    | 0,4    | 3,1        |
| 19.     | нефть          | 86                   | 11        | 0,4    | 1,5    | 1,1        |
| 20.     | нефть          | 86,5                 | 12        | 0,3    | 1      | 0,2        |

Таблица 9. Групповой состав нефтей, %

| Вариант | Газ+бензин | Масла |                 | Смолы | Асфальтены |
|---------|------------|-------|-----------------|-------|------------|
|         |            |       | в т. ч. парафин |       |            |
| 1.      | 4,9        | 82,53 | 1,4             | 10,02 | 2,55       |
| 2.      | 29,82      | 61,65 | 3,6             | 6,95  | 1,58       |
| 3.      | 25,27      | 74,06 | 6,2             | 0,67  | 0          |
| 4.      | 9,71       | 80,54 | 4,5             | 8,12  | 1,63       |
| 5.      | 20,58      | 71,34 | 4,8             | 5,47  | 2,61       |
| 6.      | 3,69       | 75,67 | -               | 14,29 | 6,35       |
| 7.      | 11,31      | 70,31 | 0,5             | 11,99 | 6,39       |
| 8.      | 7,55       | 70,61 | 1,2             | 10,80 | 11,04      |
| 9.      | 34,54      | 60,73 | 4,1             | 4,12  | 0,61       |
| 10.     | 8,16       | 66,76 | 0,9             | 15,44 | 9,64       |
| 11.     | 9,02       | 71,87 | 1,6             | 10,35 | 8,76       |
| 12.     | 5,43       | 84,96 | 1,3             | 4,16  | 5,45       |
| 13.     | 14,65      | 82,03 | 3,3             | 2,84  | 0,48       |

## Окончание таблицы 9

|     |       |       |     |       |      |
|-----|-------|-------|-----|-------|------|
| 14. | 23,07 | 61,66 | 5,2 | 10,37 | 4,9  |
| 15. | 16,83 | 69,28 | 5,4 | 11,64 | 2,25 |
| 16. | 15,73 | 69,11 | 4,2 | 10,31 | 4,85 |
| 17. | 14,13 | 83,05 | 5,4 | 2,11  | 0,71 |
| 18. | 23,0  | 62,0  | 3,3 | 10,2  | 4,8  |
| 19. | 9,0   | 72,0  | 1,2 | 15,4  | 3,6  |
| 20. | 34,5  | 60,5  | 4,0 | 4,0   | 1,0  |

Таблица 10. Углеводородный состав нефтей и фракций, %

| Вариант | Тип флюида | Алканы | Цикланы | Арены |
|---------|------------|--------|---------|-------|
| 1.      | Метан      | 100    | 0       | 0     |
| 2.      | Бензин     | 35     | 20      | 45    |
| 3.      | Бензин     | 40     | 25      | 35    |
| 4.      | Керосин    | 70     | 20      | 10    |
| 5.      | Нефть      | 54     | 26      | 20    |
| 6.      | Нефть      | 70     | 20      | 10    |
| 7.      | Нефть      | 50     | 25      | 25    |
| 8.      | Нефть      | 59     | 30      | 11    |
| 9.      | Нефть      | 50     | 49      | 1     |
| 10.     | Нефть      | 59     | 25      | 16    |
| 11.     | Нефть      | 70     | 17      | 13    |
| 12.     | Гудрон     | 0      | 10      | 90    |
| 13.     | Гудрон     | 0,5    | 29      | 70,5  |
| 14.     | Керосин    | 10     | 70      | 20    |
| 15.     | Бензин     | 15     | 65      | 20    |
| 16.     | Нефть      | 44     | 20      | 36    |
| 17.     | Нефть      | 42     | 22      | 36    |
| 18.     | Нефть      | 70     | 25      | 5     |
| 19.     | Конденсат  | 80     | 10      | 10    |
| 20.     | Конденсат  | 75     | 20      | 5     |

## Лабораторная работа № 7

### «Выявление закономерностей изменения свойств нефтей по разрезу месторождения»

#### *Цель работы*

Овладение навыками первичной геологической и геохимической интерпретации аналитических данных по составу нефтей и конденсатов.

#### *Теоретическая часть*

В связи с тем, что нефть представляет собой весьма сложный природный объект, изучение её проводится в различных аспектах. Исследуется генезис нефти и формирование нефтяных месторождений, вопросы их поиска и разведки, исследование химического состава нефтей и разработка путей их переработки.

Существенную помощь в решении всех этих вопросов оказывает рациональная классификация, позволяющая достаточно полно и чётко характеризовать нефть как с научной, так и с практической точек зрения.

#### *Классификация нефтей по физико-химическим свойствам*

Основываются на различиях физико-химического состава нефтей и их отдельных фракций. Они могут играть как самостоятельную роль, так и являться частью или служить основой технологических и геохимических классификаций.

Классификационными параметрами служат плотность нефти, выход светлых фракций (перегоняющихся до 300°C) и содержание серы, смолисто-асфальтеновых веществ, твёрдых углеводородов.

Для каждого параметра приняты следующие интервалы:

Плотность нефти ( $\rho_4^{20}$ , г/см<sup>3</sup>):

- очень лёгкие, с весьма низкой плотностью ( $\rho_4^{20} \leq 0,810$ );
- лёгкие, с низкой плотностью ( $0,810 < \rho_4^{20} \leq 0,850$ );
- нефти со средней плотностью ( $0,850 < \rho_4^{20} \leq 0,890$ );
- тяжёлые, с высокой плотностью ( $0,890 < \rho_4^{20} \leq 0,920$ );
- очень тяжёлые, с весьма высокой плотностью ( $\rho_4^{20} > 0,920$ ).

Массовое содержание светлых фракций ( $q_{300}$ , %):

- нефти с низким содержанием светлых фракций ( $q_{300} \leq 25$ );
- нефти со средним содержанием светлых фракций ( $25 < q_{300} \leq 50$ );
- нефти с высоким содержанием светлых фракций ( $50 < q_{300} \leq 75$ );
- нефти с весьма высоким содержанием светлых фракций ( $75 < q_{300} \leq 100$ ).

Массовое содержание серы (S, %):

- малосернистые нефти ( $0 \leq S \leq 0,5$ );
- нефти средней сернистости ( $0,5 \leq S \leq 1$ );

- сернистые нефти ( $1 \leq S \leq 3$ );
- высокосернистые нефти ( $S > 3$ ).

Массовое содержание смолисто-асфальтеновых веществ ( $A_s$ , %):

- малосмолистые нефти ( $A_s \leq 10$ );
- смолистые нефти ( $10 < A_s \leq 20$ );
- высокосмолистые нефти ( $20 < A_s \leq 35$ ).

Массовое содержание твёрдых углеводородов (парафина,  $\Pi$ , %):

- малопарафинистые нефти ( $\Pi \leq 5$ );
- парафинистые нефти ( $5 < \Pi \leq 10$ );
- высокопарафинистые нефти ( $\Pi > 10$ ).

В соответствии с современными теоретическими представлениями, которые рассматриваются в лекционной части курса «Химия горючих ископаемых», нефть, газ, конденсат являются продуктами преобразования рассеянного органического вещества осадочных горных пород в ходе прогрессивного литогенеза. Установлена стадийность нефтегазообразования, проявляющаяся в закономерной смене состава УВ-флюидов с глубиной – вертикальная генетическая зональность. В конкретной геологической ситуации эта теоретическая зональность может нарушаться вследствие различных причин структурно-тектонического, геохимического и иного характера.

С практической точки зрения, использование данных по составу УВ-флюидов, получаемых даже в результате несложных массовых исследований, может способствовать выявлению особенностей геологического строения и образования месторождений.

Для оценки взаимосвязей между несколькими параметрами нефтей целесообразно использовать наглядный и простой графический метод построения огив-субогив. Огивой называется график, на котором по оси ординат откладываются значения основного показателя (в виде прямоугольников), а по оси абсцисс через равные промежутки ранжированные по величине основного показателя номера проб. Положение на оси абсцисс определяет ранг каждой пробы и сохраняется на остальных графиках (субогивах).

Пример. Построить графики огив-субогив для следующей совокупности проб нефтей (табл. 11). В качестве огивы использовать значение плотности.

Таблица 11. Физико-химические характеристики нефтей

| № п/п | Плотность нефти, г/см <sup>3</sup> | Молекулярная масса | <i>T<sub>н.к.</sub></i> , °С | Газ+бензин,% | Ранг |
|-------|------------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------|------|
| 1.    | 0,8993                             | 251                | 79                           | 15,66        | 3    |
| 2.    | 0,9203                             | 303                | 113                          | 6,17         | 5    |
| 3.    | 0,9686                             | 336                | 152                          | 4,0          | 8    |
| 4.    | 0,9325                             | 266                | 113                          | 8,0          | 6    |
| 5.    | 0,9037                             | 258                | 82                           | 14,04        | 4    |
| 6.    | 0,9379                             | 310                | 130                          | 6,58         | 7    |
| 7.    | 0,9860                             | 325                | 159                          | 1,10         | 9    |
| 8.    | 0,9940                             | 360                | 210                          | 0            | 10   |
| 9.    | 0,8350                             | 206                | 72                           | 23,85        | 1    |
| 10.   | 0,8560                             | 209                | 63                           | 22,70        | 2    |

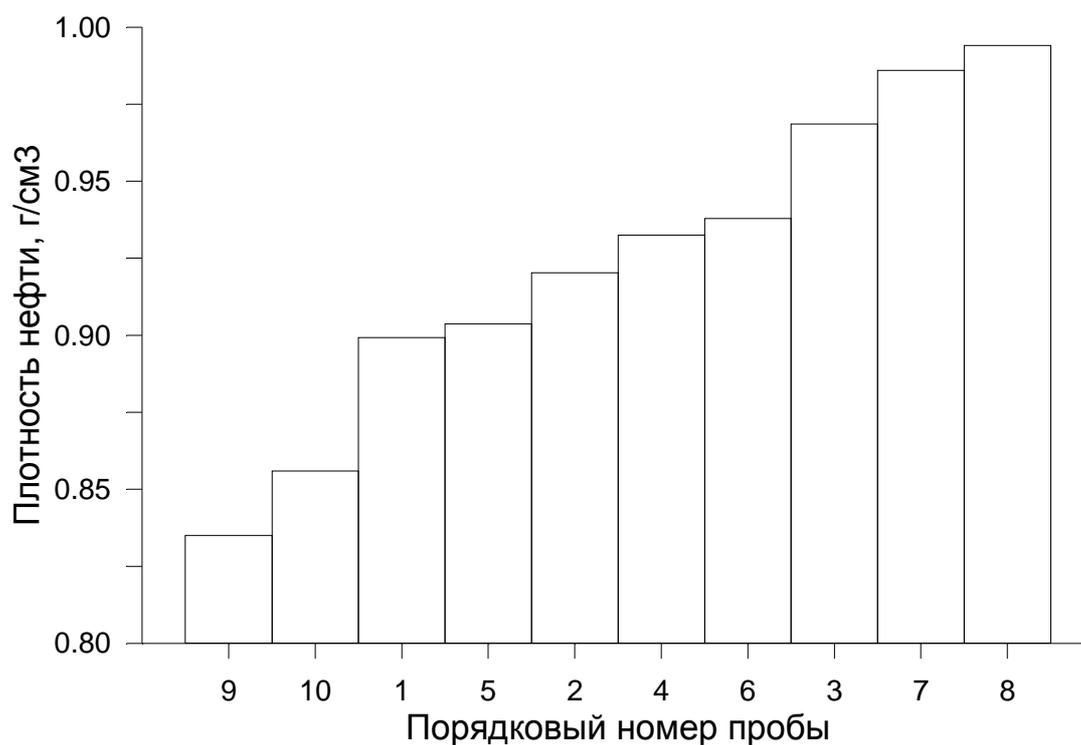


Рис. 10. График огиб по изменению плотности

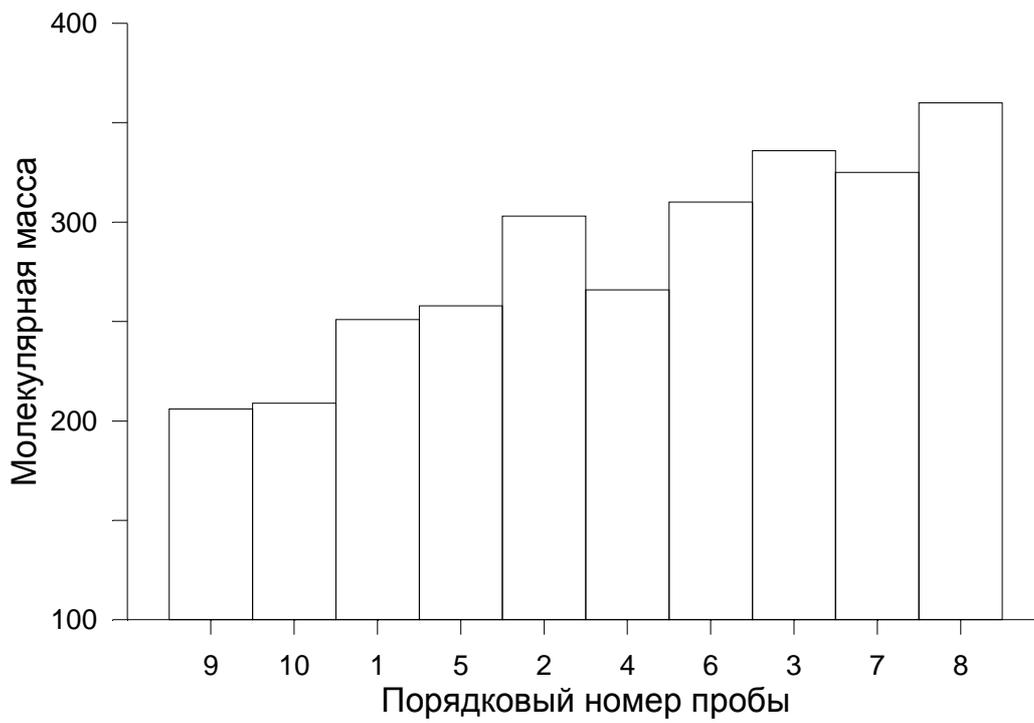


Рис. 11. График субогив по изменению молекулярной массы

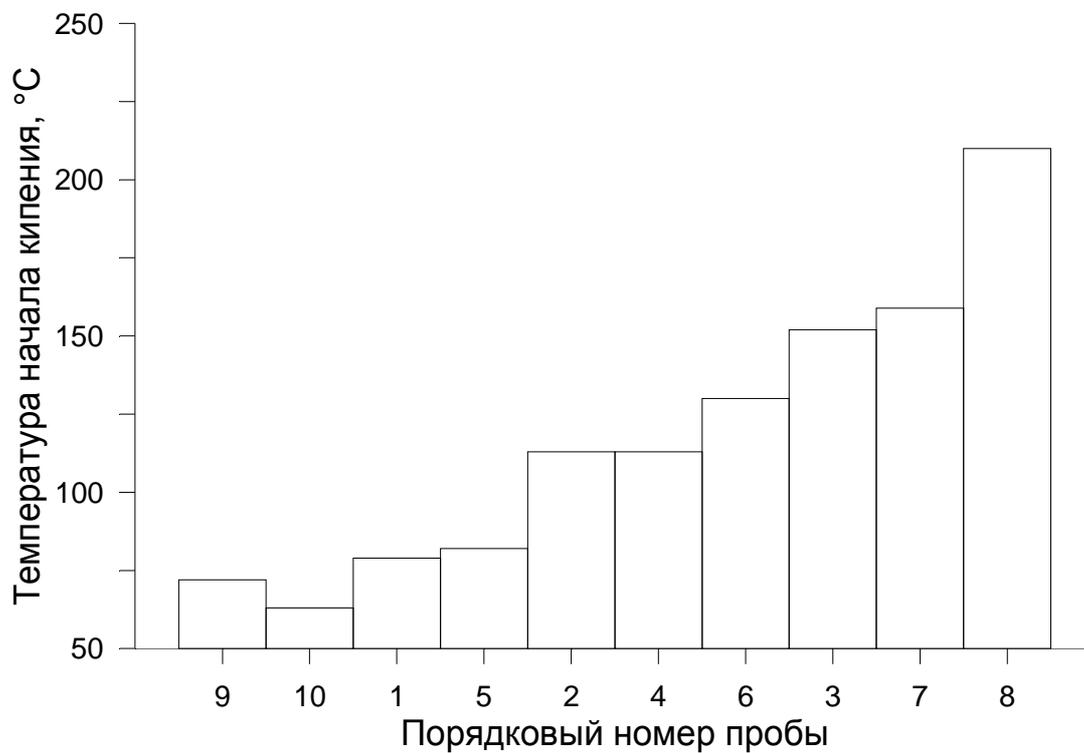


Рис. 12. График субогив по изменению температуры кипения

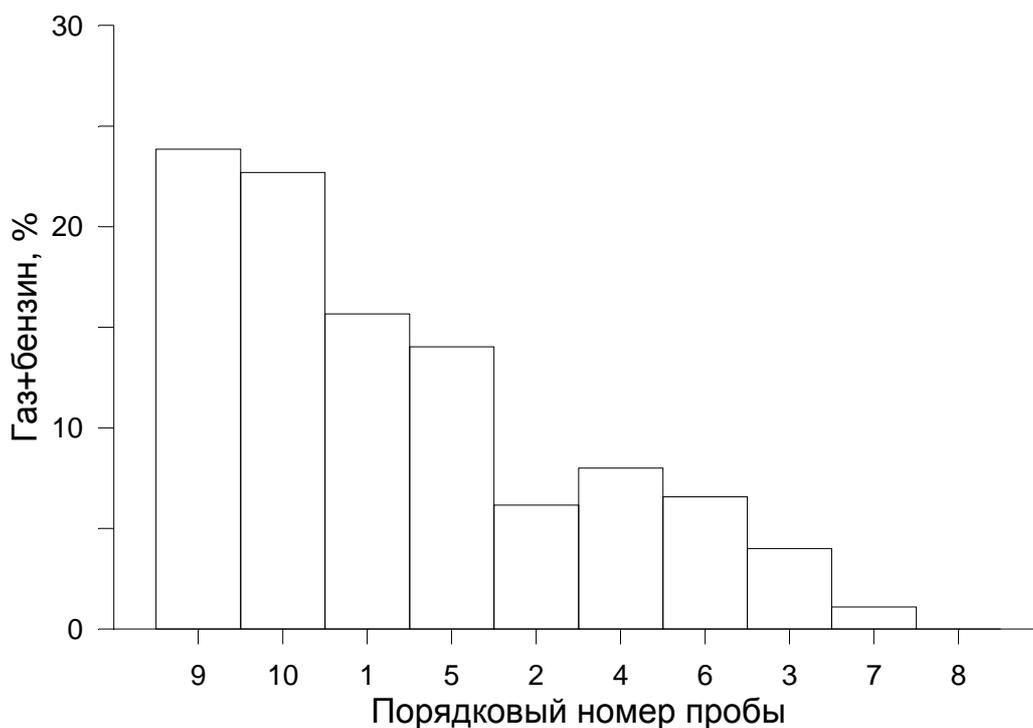


Рис. 13. График субогив по изменению содержания лёгких фракций в нефти

**Ход выполнения лабораторной работы:**

1. По данным, приведённым в таблице каждого варианта, определить количество скважин, объектов опробывания, количество залежей.

2. Построить графики огив-субогив, приняв в качестве огивы плотность нефти, субогивы – молекулярную массу, вязкость, содержание смол и асфальтенов, газ+бензин.

3. Дать характеристику флюидам каждой из залежей в соответствии с классификацией по физико-химическим свойствам.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы:

## Вариант 1

| П/п | Скважина | Глубина, м | Возраст           | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Вязкость, сСт | Молярная масса | Сера, % | Тн.к., °С | Газ + бензин, % | Масла, % |                 | Смолы, % | Асфальтены, % |
|-----|----------|------------|-------------------|------------------------------|---------------|----------------|---------|-----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|
|     |          |            |                   |                              |               |                |         |           |                 |          | в т. ч. парафин |          |               |
| 1   | 1        | 2730-2738  | D <sub>3</sub> ps | 0,890                        | 56,0          | 260            | 1,5     | 90        | 12              | 65,7     | 6               | 15,5     | 6,8           |
| 2   | 3        | 3610-3615  | D <sub>2</sub> qv | 0,834                        | 29,0          | 219            | 0,5     | 79        | 20              | 63,5     | 12              | 13       | 3,5           |
| 3   | 4        | 2870-2878  | D <sub>3</sub> ps | 0,920                        | 64,3          | 280            | 2,0     | 110       | 10              | 65,3     | 4,0             | 16,7     | 8,0           |
| 4   | 1        | 3500-3510  | D <sub>2</sub> qv | 0,844                        | 31,0          | 220            | 0,6     | 69        | 25              | 61,2     | 15              | 10,0     | 3,8           |
| 5   | 3        | 2605-2615  | D <sub>3</sub> ps | 0,892                        | 4,8           | 275            | 1,5     | 98        | 12              | 57,7     | 5,8             | 24,0     | 6,3           |
| 6   | 5        | 2510-2530  | D <sub>3</sub> ps | 0,910                        | 59,0          | 280            | 2,0     | 110       | 10              | 62,0     | 4,0             | 18,0     | 10,0          |
| 7   | 5        | 2800-2810  | D <sub>3</sub> ps | 0,891                        | 64,0          | 270            | 1,5     | 92        | 15              | 56,6     | 3,8             | 21,0     | 7,4           |
| 8   | 8        | 2390-2400  | D <sub>3</sub> ps | 0,895                        | 35,0          | 275            | 1,8     | 110       | 14,5            | 58,5     | 4,5             | 18,0     | 9,0           |
| 9   | 7        | 3560-3610  | D <sub>2</sub> qv | 0,840                        | 31,0          | 225            | 1,1     | 79        | 20              | 72,0     | 11,5            | 6,0      | 2,0           |
| 10  | 10       | 2390-2700  | D <sub>3</sub> ps | 0,900                        | 54,3          | 270            | 2,0     | 110       | 15              | 50       | 4,8             | 25       | 10            |
| 11  | 11       | 2350-2555  | D <sub>3</sub> ps | 0,895                        | 43,0          | 278            | 1,7     | 95        | 14              | 59,5     | 3,5             | 17,0     | 9,5           |
| 12  | 5        | 3200-3300  | D <sub>2</sub> qv | 0,850                        | 35,0          | 230            | 1,6     | 75        | 22              | 59       | 8,4             | 14,5     | 4,5           |
| 13  | 7        | 3540-3560  | D <sub>2</sub> qv | 0,834                        | 29,0          | 220            | 0,7     | 60        | 24              | 58,7     | 14              | 13,5     | 3,8           |
| 14  | 8        | 2745-2755  | D <sub>3</sub> ps | 0,855                        | 33,0          | 234            | 0,8     | 75        | 20,5            | 60,2     | 10,0            | 15,0     | 4,3           |
| 15  | 13       | 2840-2815  | D <sub>3</sub> ps | 0,895                        | 54,5          | 265            | 1,5     | 90        | 10,0            | 62,1     | 5,4             | 18,5     | 9,4           |

## Вариант 2

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плот-<br>ность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                      |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 1             | 2600-2607  | P <sub>1a-s</sub> | 0,765                                | 1,9              | 182               | 0,09    | 54           | 50,5                  | 45,2     | 4,0                | 3,8         | 0,5                   |
| 2   | 3             | 2300-2510  | P <sub>1a-s</sub> | 0,770                                | 2,2              | 195               | 0,08    | 68           | 39,3                  | 55,6     | 3,8                | 4,5         | 0,6                   |
| 3   | 9             | 2700-2707  | C <sub>3</sub>    | 0,840                                | 29,0             | 220               | 0,26    | 82           | 23,0                  | 62,1     | 10,0               | 11          | 3,9                   |
| 4   | 8             | 2534-2540  | P <sub>1a-s</sub> | 0,805                                | 15,0             | 195               | 0,09    | 69           | 41,0                  | 53,7     | 6,0                | 4,5         | 0,8                   |
| 5   | 8             | 3310-3312  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                                | 32,0             | 250               | 0,25    | 92           | 13,0                  | 67       | 6,0                | 15          | 5                     |
| 6   | 12            | 2900-2907  | C <sub>3</sub>    | 0,844                                | 30,7             | 228               | 0,21    | 85           | 16,0                  | 66,2     | 15,0               | 13          | 4,8                   |
| 7   | 7             | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,838                                | 29,7             | 234               | 0,20    | 75           | 32,0                  | 55       | 18,0               | 9,5         | 3,5                   |
| 8   | 4             | 2330-2335  | P <sub>1a-s</sub> | 0,772                                | 2,0              | 194               | 0,07    | 49           | 48,0                  | 66,2     | 5,0                | 4,8         | 0,7                   |
| 9   | 5             | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,842                                | 29,6             | 219               | 0,23    | 78           | 18,0                  | 67,7     | 16,0               | 10,5        | 3,8                   |
| 10  | 13            | 3402-3415  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                                | 59,7             | 393               | 0,5     | 140          | 8,0                   | 72,0     | 6,0                | 15,0        | 5,0                   |
| 11  | 6             | 2957-2963  | P <sub>1a-s</sub> | 0,811                                | 12,0             | 202               | 0,10    | 83           | 24,0                  | 70,3     | 6,0                | 4,8         | 0,9                   |
| 12  | 12            | 2729-2800  | C <sub>3</sub>    | 0,838                                | 29,0             | 220               | 0,15    | 80           | 22,0                  | 60,2     | 12                 | 13,9        | 3,9                   |
| 13  | 12            | 2200-2350  | P <sub>1a-s</sub> | 0,750                                | 1,9              | 185               | 0,07    | 45           | 47                    | 47,5     | 6,0                | 4,7         | 0,8                   |
| 14  | 12            | 2838-2860  | C <sub>3</sub>    | 0,844                                | 10,5             | 220               | 0,20    | 80           | 20,3                  | 61,2     | 12,5               | 14,3        | 4,2                   |
| 15  | 1             | 2800-2832  | C <sub>3</sub>    | 0,835                                | 29,0             | 200               | 0,45    | 100          | 15,0                  | 69,2     | 10,0               | 12,0        | 3,8                   |

### Вариант 3

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 2             | 2500-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7480                          | 1,60             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>1</sub> bb | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 19                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>1</sub> bb | 0,8240                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 3210-3212  | D <sub>2</sub> st | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>1</sub> bb | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 38                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>1</sub> bb | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 5             | 3400-3420  | D <sub>2</sub> st | 0,8700                          | 46,5             | 284               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>2</sub> st | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

Вариант 4

| п/п | Скважина | Глубина, м | Возраст         | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Вязкость, сСт | Молярная масса | Сера, % | Тн.к., °С | Газ + бензин, % | Масла, % |                 | Смолы, % | Асфальтены, % |
|-----|----------|------------|-----------------|------------------------------|---------------|----------------|---------|-----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|
|     |          |            |                 |                              |               |                |         |           |                 |          | в т. ч. парафин |          |               |
| 1   | .2       | 2733-2738  | C <sub>2m</sub> | 0,891                        | 56,0          | 259            | 1,5     | 91        | 12              | 65,7     | 6               | 15,5     | 6,8           |
| 2   | 3        | 3613-3615  | C <sub>1</sub>  | 0,834                        | 29,0          | 219            | 0,5     | 79        | 20              | 63,5     | 12              | 13       | 3,5           |
| 3   | 4        | 2872-2878  | C <sub>2m</sub> | 0,920                        | 64,3          | 280            | 2,0     | 110       | 10              | 65,3     | 4,0             | 16,7     | 8,0           |
| 4   | 2        | 3500-3510  | C <sub>1</sub>  | 0,844                        | 31,0          | 220            | 0,6     | 69        | 25              | 61,2     | 15              | 10,0     | 3,8           |
| 5   | 3        | 2600-2615  | C <sub>2m</sub> | 0,892                        | 44,8          | 273            | 1,5     | 98        | 12              | 57,7     | 5,8             | 24,0     | 6,3           |
| 6   | 5        | 2510-2530  | C <sub>2m</sub> | 0,910                        | 59,0          | 280            | 2,0     | 110       | 10              | 62,0     | 4,0             | 18,0     | 10,0          |
| 7   | 5        | 2800-2810  | C <sub>2m</sub> | 0,891                        | 64,0          | 270            | 1,5     | 92        | 15              | 56,6     | 3,8             | 21,0     | 7,4           |
| 8   | 8        | 2395-2400  | C <sub>2m</sub> | 0,895                        | 35,0          | 275            | 1,8     | 110       | 14,5            | 58,5     | 4,5             | 18,0     | 9,0           |
| 9   | 7        | 3560-3610  | C <sub>1</sub>  | 0,840                        | 31,0          | 225            | 1,1     | 79        | 20              | 72,0     | 11,5            | 6,0      | 2,0           |
| 10  | 10       | 2390 2700  | C <sub>2m</sub> | 0,900                        | 54,3          | 270            | 2,0     | 110       | 15              | 50       | 4,8             | 25       | 10            |
| 11  | 11       | 2350-2555  | C <sub>2m</sub> | 0,895                        | 43,3          | 278            | 1,7     | 95        | 14              | 59,5     | 3,5             | 17,0     | 9,5           |
| 12  | 5        | 3200-3300  | C <sub>1</sub>  | 0 850                        | 35,0          | 230            | 1,6     | 75        | 22              | 59       | 8,4             | 14,5     | 4,5           |
| 13  | 7        | 3540-3560  | C <sub>1</sub>  | 0,834                        | 29,0          | 220            | 0,7     | 60        | 24              | 58,7     | 14              | 13,5     | 3,8           |
| 14  | 8        | 2745-2755  | C <sub>2m</sub> | 0,855                        | 33,0          | 234            | 0,8     | 75        | 20,5            | 60,2     | 10,0            | 15,0     | 4,3           |
| 15  | 13       | 2810-2815  | C <sub>2m</sub> | 0,895                        | 54,5          | 265            | 1,5     | 90        | 10,0            | 62,1     | 5,4             | 18,5     | 9,4           |

### Вариант 5

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 7             | 2050-2070  | P <sub>2</sub>    | 0,8700                          | 46,5             | 284               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7480                          | 1,60             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>1</sub> bb | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 19                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>1</sub> bb | 0,8210                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 2000-2005  | P <sub>2</sub>    | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>1</sub> bb | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 38                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>1</sub> bb | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 2             | 2500-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>3</sub> fr | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

### Вариант 6

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 7             | 2050-2070  | P <sub>2</sub>    | 0,8730                          | 47,5             | 290               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>2</sub> m  | 0,7480                          | 1,61             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>2</sub> m  | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 19                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>2</sub> m  | 0,8210                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>2</sub> m  | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 2000-2005  | P <sub>2</sub>    | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>2</sub> m  | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>2</sub> m  | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 33                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>2</sub> m  | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 2             | 2500-2510  | C <sub>2</sub> m  | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>3</sub> fr | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

Вариант 7

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 4             | 2733-2738  | D <sub>3</sub> fr | 0,891                           | 56,0             | 259               | 1,5     | 91           | 12                    | 65,7     | 6                  | 15,5        | 6,8                   |
| 2   | 3             | 3615-3615  | D <sub>2</sub> st | 0,834                           | 29,0             | 219               | 0,5     | 79           | 20                    | 63,5     | 12                 | 13          | 3,5                   |
| 3   | 4             | 2872-2878  | D <sub>3</sub> fr | 0,920                           | 64,3             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 65,3     | 4,0                | 16,7        | 8,0                   |
| 4   | 4             | 3500-3510  | D <sub>2</sub> st | 0,844                           | 31,0             | 220               | 0,6     | 69           | 25                    | 61,2     | 15                 | 10,0        | 3,8                   |
| 5   | 3             | 2600-2615  | D <sub>3</sub> fr | 0,892                           | 4,8              | 273               | 1,5     | 98           | 12                    | 57,7     | 5,8                | 24,0        | 6,3                   |
| 6   | 2             | 2510-2530  | D <sub>3</sub> fr | 0,910                           | 59,0             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 62,0     | 4,0                | 18,0        | 10,0                  |
| 7   | 2             | 2800-2810  | D <sub>3</sub> fr | 0,891                           | 64,0             | 270               | 1,5     | 92           | 15                    | 56,6     | 3,8                | 21,0        | 7,4                   |
| 8   | 8             | 2395-2400  | D <sub>3</sub> fr | 0,895                           | 35,0             | 275               | 1,8     | 110          | 14,5                  | 58,5     | 4,5                | 18,0        | 9,0                   |
| 9   | 7             | 3560-3610  | D <sub>2</sub> st | 0,840                           | 31,0             | 225               | 1,1     | 79           | 20                    | 72,0     | 11,5               | 6,0         | 2,0                   |
| 10  | 10            | 2390-2700  | D <sub>3</sub> fr | 0,900                           | 54,3             | 270               | 2,0     | 110          | 15                    | 50       | 4,8                | 25          | 10                    |
| 11  | 11            | 2350-2555  | D <sub>3</sub> fr | 0,895                           | 43,3             | 278               | 1,7     | 95           | 14                    | 59,5     | 3,5                | 17,0        | 9,5                   |
| 12  | 2             | 3200-3300  | D <sub>2</sub> st | 0 850                           | 35,0             | 230               | 1,6     | 75           | 22                    | 59       | 8,4                | 14,5        | 4,5                   |
| 13  | 7             | 3540-3560  | D <sub>2</sub> st | 0,834                           | 29,0             | 220               | 0,7     | 60           | 24                    | 58,7     | 14                 | 13,5        | 3,8                   |
| 14  | 8             | 2745-2755  | D <sub>3</sub> fr | 0,855                           | 33,0             | 234               | 0,8     | 75           | 20,5                  | 60,2     | 10,0               | 15,0        | 4,3                   |
| 15  | 13            | 2810-2815  | D <sub>3</sub> fr | 0,895                           | 54,5             | 265               | 1,5     | 90           | 10,0                  | 62,1     | 5,4                | 18,5        | 9,4                   |

### Вариант 8

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 1             | 2600-2607  | P <sub>1a-s</sub> | 0,765                           | 1,9              | 182               | 0,09    | 54           | 50,5                  | 45,2     | 4,0                | 3,8         | 0,5                   |
| 2   | 3             | 2300-2510  | P <sub>1a-s</sub> | 0,770                           | 2,2              | 195               | 0,08    | 68           | 39,3                  | 55,6     | 3,8                | 4,5         | 0,6                   |
| 3   | 9             | 2700-2707  | C <sub>3</sub>    | 0,840                           | 29,0             | 220               | 0,26    | 82           | 23,0                  | 62,1     | 10,0               | 11          | 3,9                   |
| 4   | 8             | 2534-2540  | P <sub>1a-s</sub> | 0,805                           | 15,0             | 195               | 0,09    | 69           | 41,0                  | 53,7     | 6,0                | 4,5         | 0,8                   |
| 5   | 8             | 3310-3312  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                           | 32,0             | 250               | 0,25    | 92           | 13,0                  | 67       | 6,0                | 15          | 5                     |
| 6   | 12            | 2900-2907  | C <sub>3</sub>    | 0,844                           | 30,7             | 228               | 0,21    | 85           | 16,0                  | 66,2     | 15,0               | 13          | 4,8                   |
| 7   | 7             | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,838                           | 29,7             | 234               | 0,20    | 75           | 32,0                  | 55       | 18,0               | 9,5         | 3,5                   |
| 8   | 4             | 2330-2335  | P <sub>1a-s</sub> | 0,772                           | 2,0              | 194               | 0,07    | 49           | 48,0                  | 66,2     | 5,0                | 4,8         | 0,7                   |
| 9   | 5             | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,842                           | 29,6             | 219               | 0,23    | 78           | 18,0                  | 67,7     | 16,0               | 10,5        | 3,8                   |
| 10  | 13            | 3402-3415  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                           | 59,7             | 393               | 0,5     | 140          | 8,0                   | 72,0     | 6,0                | 15,0        | 5,0                   |
| 11  | 6             | 2957-2963  | P <sub>1a-s</sub> | 0,811                           | 12,0             | 202               | 0,10    | 83           | 24,0                  | 70,3     | 6,0                | 4,8         | 0,9                   |
| 12  | 12            | 2729-2800  | C <sub>3</sub>    | 0,838                           | 29,0             | 220               | 0,15    | 80           | 22,0                  | 60,2     | 12                 | 13,9        | 3,9                   |
| 13  | 12            | 2200-2350  | P <sub>1a-s</sub> | 0,750                           | 1,9              | 185               | 0,07    | 45           | 47                    | 47,5     | 6,0                | 4,7         | 0,8                   |
| 14  | 12            | 2838-2860  | C <sub>3</sub>    | 0,844                           | 10,5             | 220               | 0,20    | 80           | 20,3                  | 61,2     | 12,5               | 14,3        | 4,2                   |
| 15  | 1             | 2800-2832  | C <sub>3</sub>    | 0,835                           | 29,0             | 200               | 0,45    | 100          | 15,0                  | 69,2     | 10,0               | 12,0        | 3,8                   |

### Вариант 9

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 2             | 2500-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7480                          | 1,60             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>1</sub> bb | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 1?                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>1</sub> bb | 0,8240                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 3210-3212  | D <sub>2</sub> st | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>1</sub> bb | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 38                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>1</sub> bb | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 5             | 3400-3420  | D <sub>2</sub> st | 0,8700                          | 46,5             | 284               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>2</sub> st | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

### Вариант 10

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст         | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-----------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                 |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 4.            | 2733-2738  | C <sub>2m</sub> | 0,891                           | 56,0             | 259               | 1,5     | 91           | 12                    | 65,7     | 6                  | 15,5        | 6,8                   |
| 2   | 3             | 3615-3615  | C <sub>1</sub>  | 0,834                           | 29,0             | 219               | 0,5     | 79           | 20                    | 63,5     | 12                 | 13          | 3,5                   |
| 3   | 4             | 2872-2878  | C <sub>2m</sub> | 0,920                           | 64,3             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 65,3     | 4,0                | 16,7        | 8,0                   |
| 4   | 4             | 3500-3510  | C <sub>1</sub>  | 0,844                           | 31,0             | 220               | 0,6     | 69           | 25                    | 61,2     | 15                 | 10,0        | 3,8                   |
| 5   | 3             | 2600-2615  | C <sub>2m</sub> | 0,892                           | 4,8              | 273               | 1,5     | 98           | 12                    | 57,7     | 5,8                | 24,0        | 6,3                   |
| 6   | 2             | 2510-2530  | C <sub>2m</sub> | 0,910                           | 59,0             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 62,0     | 4,0                | 18,0        | 10,0                  |
| 7   | 2             | 2800-2810  | C <sub>2m</sub> | 0,891                           | 64,0             | 270               | 1,5     | 92           | 15                    | 56,6     | 3,8                | 21,0        | 7,4                   |
| 8   | 8             | 2395-2400  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 35,0             | 275               | 1,8     | 110          | 14,5                  | 58,5     | 4,5                | 18,0        | 9,0                   |
| 9   | 7             | 3560-3610  | C <sub>1</sub>  | 0,840                           | 31,0             | 225               | 1,1     | 79           | 20                    | 72,0     | 11,5               | 6,0         | 2,0                   |
| 10  | 10            | 2390-2700  | C <sub>2m</sub> | 0,900                           | 54,3             | 270               | 2,0     | 110          | 15                    | 50       | 4,8                | 25          | 10                    |
| 11  | 11            | 2350-2555  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 43,3             | 278               | 1,7     | 95           | 14                    | 59,5     | 3,5                | 17,0        | 9,5                   |
| 12  | 2             | 3200-3300  | C <sub>1</sub>  | 0,850                           | 35,0             | 230               | 1,6     | 75           | 22                    | 59       | 8,4                | 14,5        | 4,5                   |
| 13  | 7             | 3540-3560  | C <sub>1</sub>  | 0,834                           | 29,0             | 220               | 0,7     | 60           | 24                    | 58,7     | 14                 | 13,5        | 3,8                   |
| 14  | 8             | 2745-2755  | C <sub>2m</sub> | 0,855                           | 33,0             | 234               | 0,8     | 75           | 20,5                  | 60,2     | 10,0               | 15,0        | 4,3                   |
| 15  | 13            | 2810-2815  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 54,5             | 265               | 1,5     | 90           | 10,0                  | 62,1     | 5,4                | 18,5        | 9,4                   |

## Вариант 11

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плот-<br>ность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                      |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 1             | 2730-2738  | D <sub>3</sub> ps | 0,890                                | 56,0             | 260               | 1,5     | 90           | 12                    | 65,7     | 6                  | 15,5        | 6,8                   |
| 2   | 3             | 3610-3615  | D <sub>2</sub> qv | 0,834                                | 29,0             | 219               | 0,5     | 79           | 20                    | 63,5     | 12                 | 13          | 3,5                   |
| 3   | 4             | 2870-2878  | D <sub>3</sub> ps | 0,920                                | 64,3             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 65,3     | 4,0                | 16,7        | 8,0                   |
| 4   | 1             | 3500-3510  | D <sub>2</sub> qv | 0,844                                | 31,0             | 220               | 0,6     | 69           | 25                    | 61,2     | 15                 | 10,0        | 3,8                   |
| 5   | 3             | 2605-2615  | D <sub>3</sub> ps | 0,892                                | 4,8              | 275               | 1,5     | 98           | 12                    | 57,7     | 5,8                | 24,0        | 6,3                   |
| 6   | 5             | 2510-2530  | D <sub>3</sub> ps | 0,910                                | 59,0             | 280.              | 2,0     | 110          | 10                    | 62,0     | 4,0                | 18,0        | 10,0                  |
| 7   | 5             | 2800,2810  | D <sub>3</sub> ps | 0,891                                | 64,0             | 270               | 1,5     | 92           | 15                    | 56,6     | 3,8                | 21,0        | 7,4                   |
| 8   | 8             | 2390-2400  | D <sub>3</sub> ps | 0,895                                | 35,0             | 275               | 1,8     | 110          | 14,5                  | 58,5     | 4,5                | 18,0        | 9,0                   |
| 9   | 7             | 3560-3610  | D <sub>2</sub> qv | 0,840                                | 31,0             | 225               | 1,1     | 79           | 20                    | 72,0     | 11,5               | 6,0         | 2,0                   |
| 10  | 10            | 2390-2700  | D <sub>3</sub> ps | 0,900                                | 54,3             | 270               | 2,0     | 110          | 15                    | 50       | 4,8                | 25          | 10                    |
| 11  | 11            | 2350-2555  | D <sub>3</sub> ps | 0,895                                | 43,0             | 278               | 1,7     | 95           | 14                    | 59,5     | 3,5                | 17,0        | 9,5                   |
| 12  | 5             | 3200-3300  | D <sub>2</sub> qv | 0,850                                | 35,0             | 230               | 1,6     | 75           | 22                    | 59       | 8,4                | 14,5        | 4,5                   |
| 13  | 7             | 3540-3560  | D <sub>2</sub> qv | 0,834                                | 29,0             | 220               | 0,7     | 60           | 24                    | 58,7     | 14                 | 13,5        | 3,8                   |
| 14  | 8             | 2745-2755  | D <sub>3</sub> ps | 0,855                                | 33,0             | 234               | 0,8     | 75           | 20,5                  | 60,2     | 10,0               | 15,0        | 4,3                   |
| 15  | 13            | 2840-2815  | D <sub>3</sub> ps | 0,895                                | 54,5             | 265               | 1,5     | 90           | 10,0                  | 62,1     | 5,4                | 18,5        | 9,4                   |

Вариант 12

| п/п | Скважина | Глубина, м | Возраст           | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Вязкость, сСт | Молярная масса | Сера, % | Тн.к., °С | Газ + бензин, % | Масла, % |                 | Смолы, % | Асфальтены, % |
|-----|----------|------------|-------------------|------------------------------|---------------|----------------|---------|-----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|
|     |          |            |                   |                              |               |                |         |           |                 |          | в т. ч. парафин |          |               |
| 1   | 1        | 2600-2607  | P <sub>1a-s</sub> | 0,765                        | 1,9           | 182            | 0,09    | 54        | 50,5            | 45,2     | 4,0             | 3,8      | 0,5           |
| 2   | 3        | 2300-2510  | P <sub>1a-s</sub> | 0,770                        | 2,2           | 195            | 0,08    | 68        | 39,3            | 55,6     | 3,8             | 4,5      | 0,6           |
| 3   | 9        | 2700-2707  | C <sub>3</sub>    | 0,840                        | 29,0          | 220            | 0,26    | 82        | 23,0            | 62,1     | 10,0            | 11       | 3,9           |
| 4   | 8        | 2534-2540  | P <sub>1a-s</sub> | 0,805                        | 15,0          | 195            | 0,09    | 69        | 41,0            | 53,7     | 6,0             | 4,5      | 0,8           |
| 5   | 8        | 3310-3312  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                        | 32,0          | 250            | 0,25    | 92        | 13,0            | 67       | 6,0             | 15       | 5             |
| 6   | 12       | 2900-2907  | C <sub>3</sub>    | 0,844                        | 30,7          | 228            | 0,21    | 85        | 16,0            | 66,2     | 15,0            | 13       | 4,8           |
| 7   | 7        | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,838                        | 29,7          | 234            | 0,20    | 75        | 32,0            | 55       | 18,0            | 9,5      | 3,5           |
| 8   | 4        | 2330-2335  | P <sub>1a-s</sub> | 0,772                        | 2,0           | 194            | 0,07    | 49        | 48,0            | 66,2     | 5,0             | 4,8      | 0,7           |
| 9   | 5        | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,842                        | 29,6          | 219            | 0,23    | 78        | 18,0            | 67,7     | 16,0            | 10,5     | 3,8           |
| 10  | 13       | 3402-3415  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                        | 59,7          | 393            | 0,5     | 140       | 8,0             | 72,0     | 6,0             | 15,0     | 5,0           |
| 11  | 6        | 2957-2963  | P <sub>1a-s</sub> | 0,811                        | 12,0          | 202            | 0,10    | 83        | 24,0            | 70,3     | 6,0             | 4,8      | 0,9           |
| 12  | 12       | 2729-2800  | C <sub>3</sub>    | 0,838                        | 29,0          | 220            | 0,15    | 80        | 22,0            | 60,2     | 12              | 13,9     | 3,9           |
| 13  | 12       | 2200-2350  | P <sub>1a-s</sub> | 0,750                        | 1,9           | 185            | 0,07    | 45        | 47              | 47,5     | 6,0             | 4,7      | 0,8           |
| 14  | 12       | 2838-2860  | C <sub>3</sub>    | 0,844                        | 10,5          | 220            | 0,20    | 80        | 20,3            | 61,2     | 12,5            | 14,3     | 4,2           |
| 15  | 1        | 2800-2832  | C <sub>3</sub>    | 0,835                        | 29,0          | 200            | 0,45    | 100       | 15,0            | 69,2     | 10,0            | 12,0     | 3,8           |

### Вариант 13

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 2             | 2500-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7480                          | 1,60             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>1</sub> bb | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 19                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>1</sub> bb | 0,8240                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 3210-3212  | D <sub>2</sub> st | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>1</sub> bb | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 38                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>1</sub> bb | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 5             | 3400-3420  | D <sub>2</sub> st | 0,8700                          | 46,5             | 284               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>2</sub> st | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

### Вариант 14

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст         | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-----------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                 |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | .2            | 2733-2738  | C <sub>2m</sub> | 0,891                           | 56,0             | 259               | 1,5     | 91           | 12                    | 65,7     | 6                  | 15,5        | 6,8                   |
| 2   | 3             | 3613-3615  | C <sub>1</sub>  | 0,834                           | 29,0             | 219               | 0,5     | 79           | 20                    | 63,5     | 12                 | 13          | 3,5                   |
| 3   | 4             | 2872-2878  | C <sub>2m</sub> | 0,920                           | 64,3             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 65,3     | 4,0                | 16,7        | 8,0                   |
| 4   | 2             | 3500-3510  | C <sub>1</sub>  | 0,844                           | 31,0             | 220               | 0,6     | 69           | 25                    | 61,2     | 15                 | 10,0        | 3,8                   |
| 5   | 3             | 2600-2615  | C <sub>2m</sub> | 0,892                           | 44,8             | 273               | 1,5     | 98           | 12                    | 57,7     | 5,8                | 24,0        | 6,3                   |
| 6   | 5             | 2510-2530  | C <sub>2m</sub> | 0,910                           | 59,0             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 62,0     | 4,0                | 18,0        | 10,0                  |
| 7   | 5             | 2800-2810  | C <sub>2m</sub> | 0,891                           | 64,0             | 270               | 1,5     | 92           | 15                    | 56,6     | 3,8                | 21,0        | 7,4                   |
| 8   | 8             | 2395-2400  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 35,0             | 275               | 1,8     | 110          | 14,5                  | 58,5     | 4,5                | 18,0        | 9,0                   |
| 9   | 7             | 3560-3610  | C <sub>1</sub>  | 0,840                           | 31,0             | 225               | 1,1     | 79           | 20                    | 72,0     | 11,5               | 6,0         | 2,0                   |
| 10  | 10            | 2390 2700  | C <sub>2m</sub> | 0,900                           | 54,3             | 270               | 2,0     | 110          | 15                    | 50       | 4,8                | 25          | 10                    |
| 11  | 11            | 2350-2555  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 43,3             | 278               | 1,7     | 95           | 14                    | 59,5     | 3,5                | 17,0        | 9,5                   |
| 12  | 5             | 3200-3300  | C <sub>1</sub>  | 0 850                           | 35,0             | 230               | 1,6     | 75           | 22                    | 59       | 8,4                | 14,5        | 4,5                   |
| 13  | 7             | 3540-3560  | C <sub>1</sub>  | 0,834                           | 29,0             | 220               | 0,7     | 60           | 24                    | 58,7     | 14                 | 13,5        | 3,8                   |
| 14  | 8             | 2745-2755  | C <sub>2m</sub> | 0,855                           | 33,0             | 234               | 0,8     | 75           | 20,5                  | 60,2     | 10,0               | 15,0        | 4,3                   |
| 15  | 13            | 2810-2815  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 54,5             | 265               | 1,5     | 90           | 10,0                  | 62,1     | 5,4                | 18,5        | 9,4                   |

### Вариант 15

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 7             | 2050-2070  | P <sub>2</sub>    | 0,8700                          | 46,5             | 284               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7480                          | 1,60             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>1</sub> bb | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 19                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>1</sub> bb | 0,8210                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 2000-2005  | P <sub>2</sub>    | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>1</sub> bb | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 38                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>1</sub> bb | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 2             | 2500-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>3</sub> fr | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

### Вариант 16

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 7             | 2050-2070  | P <sub>2</sub>    | 0,8730                          | 47,5             | 290               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>2</sub> m  | 0,7480                          | 1,61             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>2</sub> m  | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 19                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>2</sub> m  | 0,8210                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>2</sub> m  | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 2000-2005  | P <sub>2</sub>    | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>2</sub> m  | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>2</sub> m  | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 33                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>2</sub> m  | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 2             | 2500-2510  | C <sub>2</sub> m  | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>3</sub> fr | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

Вариант 17

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 4             | 2733-2738  | D <sub>3</sub> fr | 0,891                           | 56,0             | 259               | 1,5     | 91           | 12                    | 65,7     | 6                  | 15,5        | 6,8                   |
| 2   | 3             | 3615-3615  | D <sub>2</sub> st | 0,834                           | 29,0             | 219               | 0,5     | 79           | 20                    | 63,5     | 12                 | 13          | 3,5                   |
| 3   | 4             | 2872-2878  | D <sub>3</sub> fr | 0,920                           | 64,3             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 65,3     | 4,0                | 16,7        | 8,0                   |
| 4   | 4             | 3500-3510  | D <sub>2</sub> st | 0,844                           | 31,0             | 220               | 0,6     | 69           | 25                    | 61,2     | 15                 | 10,0        | 3,8                   |
| 5   | 3             | 2600-2615  | D <sub>3</sub> fr | 0,892                           | 4,8              | 273               | 1,5     | 98           | 12                    | 57,7     | 5,8                | 24,0        | 6,3                   |
| 6   | 2             | 2510-2530  | D <sub>3</sub> fr | 0,910                           | 59,0             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 62,0     | 4,0                | 18,0        | 10,0                  |
| 7   | 2             | 2800-2810  | D <sub>3</sub> fr | 0,891                           | 64,0             | 270               | 1,5     | 92           | 15                    | 56,6     | 3,8                | 21,0        | 7,4                   |
| 8   | 8             | 2395-2400  | D <sub>3</sub> fr | 0,895                           | 35,0             | 275               | 1,8     | 110          | 14,5                  | 58,5     | 4,5                | 18,0        | 9,0                   |
| 9   | 7             | 3560-3610  | D <sub>2</sub> st | 0,840                           | 31,0             | 225               | 1,1     | 79           | 20                    | 72,0     | 11,5               | 6,0         | 2,0                   |
| 10  | 10            | 2390-2700  | D <sub>3</sub> fr | 0,900                           | 54,3             | 270               | 2,0     | 110          | 15                    | 50       | 4,8                | 25          | 10                    |
| 11  | 11            | 2350-2555  | D <sub>3</sub> fr | 0,895                           | 43,3             | 278               | 1,7     | 95           | 14                    | 59,5     | 3,5                | 17,0        | 9,5                   |
| 12  | 2             | 3200-3300  | D <sub>2</sub> st | 0,850                           | 35,0             | 230               | 1,6     | 75           | 22                    | 59       | 8,4                | 14,5        | 4,5                   |
| 13  | 7             | 3540-3560  | D <sub>2</sub> st | 0,834                           | 29,0             | 220               | 0,7     | 60           | 24                    | 58,7     | 14                 | 13,5        | 3,8                   |
| 14  | 8             | 2745-2755  | D <sub>3</sub> fr | 0,855                           | 33,0             | 234               | 0,8     | 75           | 20,5                  | 60,2     | 10,0               | 15,0        | 4,3                   |
| 15  | 13            | 2810-2815  | D <sub>3</sub> fr | 0,895                           | 54,5             | 265               | 1,5     | 90           | 10,0                  | 62,1     | 5,4                | 18,5        | 9,4                   |

### Вариант 18

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 1             | 2600-2607  | P <sub>1a-s</sub> | 0,765                           | 1,9              | 182               | 0,09    | 54           | 50,5                  | 45,2     | 4,0                | 3,8         | 0,5                   |
| 2   | 3             | 2300-2510  | P <sub>1a-s</sub> | 0,770                           | 2,2              | 195               | 0,08    | 68           | 39,3                  | 55,6     | 3,8                | 4,5         | 0,6                   |
| 3   | 9             | 2700-2707  | C <sub>3</sub>    | 0,840                           | 29,0             | 220               | 0,26    | 82           | 23,0                  | 62,1     | 10,0               | 11          | 3,9                   |
| 4   | 8             | 2534-2540  | P <sub>1a-s</sub> | 0,805                           | 15,0             | 195               | 0,09    | 69           | 41,0                  | 53,7     | 6,0                | 4,5         | 0,8                   |
| 5   | 8             | 3310-3312  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                           | 32,0             | 250               | 0,25    | 92           | 13,0                  | 67       | 6,0                | 15          | 5                     |
| 6   | 12            | 2900-2907  | C <sub>3</sub>    | 0,844                           | 30,7             | 228               | 0,21    | 85           | 16,0                  | 66,2     | 15,0               | 13          | 4,8                   |
| 7   | 7             | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,838                           | 29,7             | 234               | 0,20    | 75           | 32,0                  | 55       | 18,0               | 9,5         | 3,5                   |
| 8   | 4             | 2330-2335  | P <sub>1a-s</sub> | 0,772                           | 2,0              | 194               | 0,07    | 49           | 48,0                  | 66,2     | 5,0                | 4,8         | 0,7                   |
| 9   | 5             | 2870-2900  | C <sub>3</sub>    | 0,842                           | 29,6             | 219               | 0,23    | 78           | 18,0                  | 67,7     | 16,0               | 10,5        | 3,8                   |
| 10  | 13            | 3402-3415  | C <sub>2m</sub>   | 0,860                           | 59,7             | 393               | 0,5     | 140          | 8,0                   | 72,0     | 6,0                | 15,0        | 5,0                   |
| 11  | 6             | 2957-2963  | P <sub>1a-s</sub> | 0,811                           | 12,0             | 202               | 0,10    | 83           | 24,0                  | 70,3     | 6,0                | 4,8         | 0,9                   |
| 12  | 12            | 2729-2800  | C <sub>3</sub>    | 0,838                           | 29,0             | 220               | 0,15    | 80           | 22,0                  | 60,2     | 12                 | 13,9        | 3,9                   |
| 13  | 12            | 2200-2350  | P <sub>1a-s</sub> | 0,750                           | 1,9              | 185               | 0,07    | 45           | 47                    | 47,5     | 6,0                | 4,7         | 0,8                   |
| 14  | 12            | 2838-2860  | C <sub>3</sub>    | 0,844                           | 10,5             | 220               | 0,20    | 80           | 20,3                  | 61,2     | 12,5               | 14,3        | 4,2                   |
| 15  | 1             | 2800-2832  | C <sub>3</sub>    | 0,835                           | 29,0             | 200               | 0,45    | 100          | 15,0                  | 69,2     | 10,0               | 12,0        | 3,8                   |

### Вариант 19

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст           | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                   |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 2             | 2500-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7530                          | 1,75             | 170               | 0,07    | 65           | 39                    | 60,5     | 4,0                | 4,0         | 0,5                   |
| 2   | 4             | 2300-2510  | C <sub>1</sub> bb | 0,7480                          | 1,60             | 169               | 0,06    | 45           | 40                    | 54,7     | 5,0                | 5,0         | 0,3                   |
| 3   | 2             | 2800-2832  | D <sub>3</sub> fr | 0,8446                          | 29,3             | 224               | 0,21    | 80           | 19                    | 71,34    | 4,8                | 5,47        | 2,61                  |
| 4   | 5             | 2700-2707  | C <sub>1</sub> bb | 0,8200                          | 15,0             | 198               | 0,10    | 100          | 16                    | 79,27    | 4,1                | 4,12        | 0,61                  |
| 5   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8480                          | 30,7             | 210               | 0,23    | 87           | 22                    | 64,9     | 7,0                | 10,1        | 3,0                   |
| 6   | 9             | 2838-2860  | D <sub>3</sub> fr | 0,8500                          | 27,9             | 216               | 0,24    | 90           | 1?                    | 66,5     | 8                  | 12,0        | 2,5                   |
| 7   | 10            | 2740-2747  | C <sub>1</sub> bb | 0,8240                          | 5,0              | 184               | 0,08    | 54           | 45                    | 49,57    | 4                  | 4,8         | 0,63                  |
| 8   | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,8190                          | 6,7              | 203               | 0,10    | 65           | 30                    | 65,33    | 3,5                | 4,3         | 0,37                  |
| 9   | 13            | 2900-2907  | D <sub>3</sub> fr | 0,8378                          | 29,7             | 218               | 0,11    | 80           | 35,4                  | 53,9     | 8,0                | 7,5         | 3,2                   |
| 10  | 5             | 3210-3212  | D <sub>2</sub> st | 0,8604                          | 59,7             | 384               | 0,50    | 140          | 8                     | 77,3     | 2,5                | 10,8        | 3,9                   |
| 11  | 4             | 2607-2624  | C <sub>1</sub> bb | 0,7930                          | 6,5              | 196               | 0,09    | 64           | 41                    | 54,9     | 4,8                | 3,4         | 0,7                   |
| 12  | 11            | 2504-2514  | C <sub>1</sub> bb | 0,8103                          | 5,7              | 189               | 0,07    | 49           | 38                    | 59,21    | 6,0                | 2,5         | 0,29                  |
| 13  | 10            | 2330-2335  | C <sub>1</sub> bb | 0,7730                          | 3,5              | 191               | 0,09    | 69           | 37                    | 58,63    | 4,2                | 3,8         | 0,57                  |
| 14  | 5             | 3400-3420  | D <sub>2</sub> st | 0,8700                          | 46,5             | 284               | 0,30    | 90           | 15                    | 71,8     | 5,4                | 9,7         | 3,5                   |
| 15  | 2             | 2904-2914  | D <sub>2</sub> st | 0,8450                          | 31,5             | 211               | 0,12    | 84           | 14,5                  | 68,8     | 7,3                | 12,0        | 4,7                   |

Вариант 20

| п/п | Сква-<br>жина | Глубина, м | Возраст         | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Вязкость,<br>сСт | Молярная<br>масса | Сера, % | Тн.к.,<br>°С | Газ +<br>бензин,<br>% | Масла, % |                    | Смолы,<br>% | Асфаль-<br>тены,<br>% |
|-----|---------------|------------|-----------------|---------------------------------|------------------|-------------------|---------|--------------|-----------------------|----------|--------------------|-------------|-----------------------|
|     |               |            |                 |                                 |                  |                   |         |              |                       |          | в т. ч.<br>парафин |             |                       |
| 1   | 4.            | 2733-2738  | C <sub>2m</sub> | 0,891                           | 56,0             | 259               | 1,5     | 91           | 12                    | 65,7     | 6                  | 15,5        | 6,8                   |
| 2   | 3             | 3615-3615  | C <sub>1</sub>  | 0,834                           | 29,0             | 219               | 0,5     | 79           | 20                    | 63,5     | 12                 | 13          | 3,5                   |
| 3   | 4             | 2872-2878  | C <sub>2m</sub> | 0,920                           | 64,3             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 65,3     | 4,0                | 16,7        | 8,0                   |
| 4   | 4             | 3500-3510  | C <sub>1</sub>  | 0,844                           | 31,0             | 220               | 0,6     | 69           | 25                    | 61,2     | 15                 | 10,0        | 3,8                   |
| 5   | 3             | 2600-2615  | C <sub>2m</sub> | 0,892                           | 4,8              | 273               | 1,5     | 98           | 12                    | 57,7     | 5,8                | 24,0        | 6,3                   |
| 6   | 2             | 2510-2530  | C <sub>2m</sub> | 0,910                           | 59,0             | 280               | 2,0     | 110          | 10                    | 62,0     | 4,0                | 18,0        | 10,0                  |
| 7   | 2             | 2800-2810  | C <sub>2m</sub> | 0,891                           | 64,0             | 270               | 1,5     | 92           | 15                    | 56,6     | 3,8                | 21,0        | 7,4                   |
| 8   | 8             | 2395-2400  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 35,0             | 275               | 1,8     | 110          | 14,5                  | 58,5     | 4,5                | 18,0        | 9,0                   |
| 9   | 7             | 3560-3610  | C <sub>1</sub>  | 0,840                           | 31,0             | 225               | 1,1     | 79           | 20                    | 72,0     | 11,5               | 6,0         | 2,0                   |
| 10  | 10            | 2390-2700  | C <sub>2m</sub> | 0,900                           | 54,3             | 270               | 2,0     | 110          | 15                    | 50       | 4,8                | 25          | 10                    |
| 11  | 11            | 2350-2555  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 43,3             | 278               | 1,7     | 95           | 14                    | 59,5     | 3,5                | 17,0        | 9,5                   |
| 12  | 2             | 3200-3300  | C <sub>1</sub>  | 0,850                           | 35,0             | 230               | 1,6     | 75           | 22                    | 59       | 8,4                | 14,5        | 4,5                   |
| 13  | 7             | 3540-3560  | C <sub>1</sub>  | 0,834                           | 29,0             | 220               | 0,7     | 60           | 24                    | 58,7     | 14                 | 13,5        | 3,8                   |
| 14  | 8             | 2745-2755  | C <sub>2m</sub> | 0,855                           | 33,0             | 234               | 0,8     | 75           | 20,5                  | 60,2     | 10,0               | 15,0        | 4,3                   |
| 15  | 13            | 2810-2815  | C <sub>2m</sub> | 0,895                           | 54,5             | 265               | 1,5     | 90           | 10,0                  | 62,1     | 5,4                | 18,5        | 9,4                   |