

26976-86



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР

# НЕФТЬ И НЕФТЕПРОДУКТЫ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ

ГОСТ 26976—86

Издание официальное



Цена 5 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва

**РАЗРАБОТАН** Миннефтепромом СССР, Госкомнефтепродуктом СССР и Минприбором СССР

**ИСПОЛНИТЕЛИ**

А. С. Апракин, А. Ш. Фатхутдинов, Ф. Ф. Хакимов, Л. И. Вдовыченко, В. С. Берсенов, В. А. Надин, В. Г. Володин, Н. Н. Хазиев, Е. В. Золотов, А. Г. Иоффе, Б. К. Насокин, Б. М. Прохоров

**ВНЕСЕН** Министерством нефтяной промышленности СССР

Член Коллегии Ю. Н. Байдинов

**УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 августа 1986 г. № 2495

## НЕФТЬ И НЕФТЕПРОДУКТЫ

## Методы измерения массы

Oil and petroleum products. Methods of mass measurement

ГОСТ  
26976—86Взамен  
ГОСТ 8.370—80 и  
ГОСТ 8.378—80

ОКСТУ 0001

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 августа 1986 г. № 2495 срок введения установлен

с 01.01.87

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт устанавливает методы измерения массы (далее — методы) нефти и жидких нефтепродуктов, а также битумов и пластических смазок (далее — продуктов).

Стандарт является основополагающим документом для разработки методик выполнения измерений.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Стандарт регламентирует методы измерений массы брутто и массы нетто продуктов.

Основным методом при поставках на экспорт и коммерческих операциях по нефти и нефтепродуктам, кроме мазутов, битумов и пластичных смазок, является динамический метод с применением счетчиков (расходомеров).

1.2. Продукты должны соответствовать требованиям действующей нормативно-технической документации.

1.3. Термины, используемые в настоящем стандарте, и пояснения к ним приведены в справочном приложении I.

### 2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. При проведении учетно-расчетных операций применяют прямые и косвенные методы.

2.2. При применении прямых методов измеряют массу продуктов с помощью весов, весовых дозаторов и устройств, массовых счетчиков или массовых расходомеров с интеграторами.



2.3. Косвенные методы подразделяют на объемно-массовый и гидростатический.

#### 2.3.1. Объемно-массовый метод

2.3.1.1. При применении объемно-массового метода измеряют объем и плотность продукта при одинаковых или приведенных к одним условиям (температура и давление), определяют массу брутто продукта, как произведение значений этих величин, а затем вычисляют массу нетто продукта.

2.3.1.2. Плотность продукта измеряют поточными плотномерами или ареометрами для нефти в объединенной пробе, а температуру продукта и давление при условиях измерения плотности и объема соответственно термометрами и манометрами.

#### 2.3.1.3. Определение массы нетто продукта

При определении массы нетто продукта определяют массу балласта. Для этого измеряют содержание воды и концентрацию хлористых солей в нефти и рассчитывают их массу.

Массу механических примесей определяют, принимая среднюю массовую долю их в нефти по ГОСТ 9965—76.

Содержание воды в нефти и концентрацию хлористых солей измеряют, соответственно, поточными влагомерами и солемерами или определяют по результатам лабораторных анализов объединенной пробы нефти.

2.3.1.4. В зависимости от способа измерений объема продукта объемно-массовый метод подразделяют на динамический и статический.

Динамический метод применяют при измерении массы продукта непосредственно на потоке в нефтепродуктопроводах. При этом объем продукта измеряют счетчиками или преобразователями расхода с интеграторами.

Статический метод применяют при измерении массы продукта в градуированных емкостях (вертикальные и горизонтальные резервуары, транспортные емкости и т. п.).

Объем продукта в резервуарах определяют с помощью градуировочных таблиц резервуаров по значениям уровня наполнения, измеренным уровнемером, метроштоком или металлической измерительной рулеткой. В емкостях, градуированных на полную вместимость, контролируют уровень наполнения, и определяют объем по паспортным данным.

#### 2.3.2. Гидростатический метод

2.3.2.1. При применении гидростатического метода измеряют гидростатическое давление столба продукта, определяют среднюю площадь заполненной части резервуара и рассчитывают массу продукта, как произведение значений этих величин, деленное на ускорение силы тяжести.

Массу отпущенного (принятого) продукта определяют двумя методами:

как разность масс, определенных в начале и в конце товарной операции вышеизложенным методом;

как произведение разности гидростатических давлений в начале и в конце товарной операции на среднюю площадь сечения части резервуара, из которого отпущен продукт, деленное на ускорение силы тяжести.

2.3.2.2. Гидростатическое давление столба продукта измеряют манометрическими приборами с учетом давления паров продукта.

2.3.2.3. Для определения средней площади сечения части резервуара металлической измерительной рулеткой или уровнемером измеряют уровни продукта в начале и в конце товарной операции и по данным градуировочной таблицы резервуара вычисляют соответствующие этим уровням средние площади сечения.

Допускается вместо измерения уровня измерять плотность продукта по п. 2.3.1.2 и определять:

уровень налива для определения средней площади сечения, как частного от деления гидростатического давления на плотность;

объем нефти для определения массы балласта, как частного от деления массы на плотность.

2.4. Математические модели прямых методов и их погрешностей приведены в ГОСТ 8.424—81.

Математические модели косвенных методов и их погрешностей приведены в обязательном приложении 2.

Примеры вычислений массы продукта и оценки погрешностей методов приведены в справочном приложении 3.

**Примечание.** Для внешнеторговых организаций при необходимости допускается рассчитывать массу в соответствии с положениями стандарта ИСО 91/1—82 и других международных документов, признанных в СССР.

### 3. ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ

3.1. Пределы относительной погрешности методов измерения массы должны быть не более:

при прямом методе:

$\pm 0,5\%$  — при измерении массы нетто нефтепродуктов до 100 т, а также массы нетто битумов;

$\pm 0,3\%$  — при измерении массы нетто пластических смазок;

при объемно-массовом динамическом методе:

$\pm 0,25\%$  — при измерении массы брутто нефти;

$\pm 0,35\%$  — при измерении массы нетто нефти;

$\pm 0,5\%$  — при измерении массы нетто нефтепродуктов от 100 т и выше;

$\pm 0,8\%$  — при измерении массы нетто нефтепродуктов до 100 т и обработанных нефтепродуктов;

при объемно-массовом статическом методе:  
±0,5% — при измерении массы нетто нефти, нефтепродуктов от 100 т и выше, а также массы нетто битумов;  
±0,8% — при измерении массы нетто нефтепродуктов до 100 т и отработанных нефтепродуктов;  
при гидростатическом методе:  
±0,5% — при измерении массы нетто нефти, нефтепродуктов от 100 т и выше;  
±0,8% — при измерении массы нетто нефтепродуктов до 100 т и отработанных нефтепродуктов.

---

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
*Справочное*

**ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТАНДАРТЕ, И ПОЯСНЕНИЯ К НИМ**

Масса брутто — масса нефти и нефтепродуктов, показатели качества которых соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

Масса балласта — общая масса воды, солей и механических примесей в нефти или масса воды в нефтепродуктах.

Масса нетто — разность масс брутто и массы балласта.

---

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**  
*Обязательное*

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ  
МАССЫ И ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

1. Модель объемно-массового динамического метода

$$m = V \cdot \rho \cdot (1 + \beta \delta_t) \cdot (1 + \gamma \delta_p), \quad (1)$$

где  $m$  — масса продукта, кг;

$V$  — объем продукта, м<sup>3</sup>;

$\rho$  — плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_t = (t_p - t_v)$  — разность температур продукта при измерении плотности ( $t_p$ ) и объема ( $t_v$ ), °С;

$\beta$  — коэффициент объемного расширения продукта, 1/°С;  
 $\delta_p = (P_v - P_p)$  — разность давлений при измерении объема ( $P_v$ ) и плотности ( $P_p$ ), МПа;

$\gamma$  — коэффициент сжимаемости от давления, 1/МПа.

## 1.1. Модель погрешности метода

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{\Delta V^2 + \Delta \rho^2 + \left( \beta \frac{\Delta \delta_t}{1 + \beta \delta_t} \cdot 100 \right)^2 + \Delta M^2}, \quad (2)$$

где  $\Delta m$  — относительная погрешность измерения массы продукта, %;  
 $\Delta V$  — относительная погрешность измерения объема, %;  
 $\Delta \rho$  — относительная погрешность измерения плотности, %;  
 $\Delta \delta_t$  — абсолютная погрешность измерения разности температур  $\delta_t$ , °C;  
 $\Delta M$  — относительная погрешность центрального блока обработки и индикации данных, %;

## 2. Модель объемно-массового статического метода

$$m = m_i - m_{i+1} = V_i (1 + 2 \alpha \delta_{t_{CT}}) \rho_i (1 + \beta \delta_{t_i}) - V_{i+1} (1 + 2 \alpha \delta_{t_{(i+1) CT}}) \times \\ \times \rho_{i+1} (1 + \beta \delta_{t_{(i+1)}}), \quad (3)$$

где  $V_i, V_{i+1}$  — объемы продукта, соответственно, в начале и конце товарной операции, определяемые по градуировочной таблице резервуара, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_i; \rho_{i+1}$  — средние плотности продукта, соответственно, в начале и в конце товарной операции, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала стенок резервуара, 1/°C;  
 $\delta_{t_{CT}} = (t_v - t_{гp})$  — разность температур стенок резервуара при измерении объема ( $t_v$ ) и при градуировке ( $t_{гp}$ ), °C.

## 2.1. Модель погрешности метода

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{\frac{m_i^2}{m^2} \left[ \left( \frac{\Delta H}{H_i} \cdot 100 \right)^2 + \Delta K^2 + \Delta \rho^2 + \left( \frac{\beta \Delta \delta_{t_i}}{1 + \beta \delta_{t_i}} \cdot 100 \right)^2 \right] + \\ + \frac{m_{i+1}^2}{m^2} \left[ \left( \frac{\Delta H}{H_{i+1}} \cdot 100 \right)^2 + \Delta K^2 + \Delta \rho^2 + \left( \frac{\beta \Delta \delta_{t_{i+1}}}{1 + \beta \delta_{t_{i+1}}} \cdot 100 \right)^2 \right] + \Delta M^2}, \quad (4)$$

где  $H$  — уровень продукта, в емкости, м;  
 $\Delta H$  — абсолютная погрешность измерения уровня наполнения продукта, м;  
 $\Delta K$  — относительная погрешность градуировки резервуара, %.

## 3. Модель гидростатического метода

$$m = \left( S_i \frac{\rho_i}{g} - S_{i+1} \frac{\rho_{i+1}}{g} \right) \quad (5) \quad \text{или} \quad m = \frac{\xi P}{g} \cdot S_{cp}, \quad (6)$$

где  $S_i; S_{i+1}$  — средние значения площади сечения резервуара, соответственно, в начале и в конце товарной операции, м<sup>2</sup>, определяемые

как  $S = \frac{V}{H}$  ( $V$  — объем продукта, м<sup>3</sup>,  $H$  — уровень наполнения емкости, м);

$S_{cp} = \frac{V_i - V_{i+1}}{H_i - H_{i+1}}$  — среднее значение площади сечения части резервуара, из которой отпущен продукт, м<sup>2</sup>;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$P_i$ ;  $P_{i+1}$  — давление продукта в начале и в конце товарной операции, Па;

$\xi P = P_i - P_{i+1}$  — разность давлений продукта в начале и в конце товарной операции, Па.

3.1. Модель погрешности метода для формулы (5)

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{\frac{P_i^2 \cdot S_i^2 \cdot \Delta S_i^2 + \Delta P_i^2}{g^2} + \frac{P_{i+1}^2 \cdot S_{i+1}^2 \cdot \Delta S_{i+1}^2 + \Delta P_{i+1}^2}{g^2} + \Delta M^2}, \quad (7)$$

для формулы (6)  $\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{\Delta \xi P^2 + \Delta S_{cp}^2 + \Delta M^2}, \quad (8)$

где  $\Delta S_i$ ,  $\Delta S_{i+1}$  — относительные погрешности измерения сечения резервуара, соответственно, в начале и в конце товарной операции, %;

$\Delta P_i$ ,  $\Delta P_{i+1}$  — относительные погрешности измерения давлений, соответственно, в начале и в конце товарной операции, %;

$\Delta \xi P$  — относительная погрешность измерения разности давлений  $\xi P$ , %;

$\Delta S_{cp}$  — относительная погрешность измерения среднего значения площади сечения резервуара, из которой отпущен продукт, %.

#### 4. Модели измерения массы нетто нефти

При применении объемно-массового метода измерения массы:

$$m_H = m - m_6 = V_p (1 + \beta \delta_t) (1 + \gamma \delta_p) \left( 1 - \frac{w_{мп}}{2 \cdot 100} \right) - V (1 + \beta \delta_t) \cdot \left( \frac{\varphi_B}{100} \cdot \rho_B + w_{xc} \right). \quad (9)$$

При применении гидростатического метода измерений массы:

$$m_H = m - m_6 = m \left( 1 - \frac{\frac{\varphi_B}{100} \cdot \rho_B + w_{xc}}{\rho} \right) \left( 1 - \frac{w_{мп}}{2 \cdot 100} \right), \quad (10)$$

где  $m_H$  — масса нефти нетто, кг;

$m_6$  — масса балласта, кг;

$\varphi_B$  — объемная доля воды в нефти, %;

$\rho_B$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{xc}$  — концентрация хлористых солей, кг/м<sup>3</sup>;

$w_{мп}$  — нормированная массовая доля механических примесей в нефти, %.

#### 4.1. Модели погрешности методов

для формулы (9)

$$\Delta m_H = \pm 1,1 \sqrt{\Delta V^2 + \left( \frac{\beta \Delta \delta_t \cdot 100}{1 + \beta \delta_t} \right)^2 + \frac{\left[ \left( \rho \cdot \frac{\Delta \rho}{100} \right)^2 + \left( \frac{\varphi_B}{100} \cdot \Delta \rho_B \right)^2 + \left( \frac{P_B}{100} \cdot \varphi_B \right)^2 + \Delta w_{xc}^2 \right] \cdot 100^2}{\left( \rho - \frac{\varphi_B}{100} \cdot \rho_B - w_{xc} \right)} + \Delta M^2}, \quad (11)$$



для формулы (10)

$$\Delta m_{\text{н}} = \pm 1,1 \sqrt{\frac{\Delta m + \frac{\left[ \left( \frac{\varphi_{\text{в}}}{100} \cdot \rho_{\text{в}} + w_{\text{хс}} \right)^2 \cdot \frac{\Delta \rho^2}{\rho^4} + \right.}{\left. \left[ 1 - \frac{1}{\rho} \cdot \left( \frac{\varphi_{\text{в}}}{100} \cdot \rho_{\text{в}} + w_{\text{хс}} \right) \right]^2 \right]}{\frac{\left[ \left( \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{100} \cdot \Delta \varphi_{\text{в}} \right)^2 + \left( \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\varphi_{\text{в}}}{100} \cdot \Delta \rho_{\text{в}} \right)^2 + \left( \frac{1}{\rho} \cdot \Delta w_{\text{хс}} \right)^2 \right] \cdot 100^2}}{\left[ 1 - \frac{1}{\rho} \cdot \left( \frac{\varphi_{\text{в}}}{100} \cdot \rho_{\text{в}} + w_{\text{хс}} \right) \right]^2}} + \Delta M^2, \quad (12)$$

где  $\Delta \rho_{\text{в}}$  — абсолютная погрешность измерения плотности воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta \varphi_{\text{в}}$  — абсолютная погрешность измерения содержания воды, % объемных;

$\Delta w_{\text{х.с}}$  — абсолютная погрешность измерения концентрации хлористых солей, кг/м<sup>3</sup>;

**Примечание.** Погрешности измерения параметров  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta_{\rho}$ ,  $\alpha$ ,  $\delta_{t_{\text{ст}}}$ ,  $\delta_{w_{\text{мп}}}$  в моделях погрешностей методов не учитывают ввиду их малого влияния.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Справочное

#### ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ МАССЫ ПРОДУКТА И ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТОДОВ

##### 1. Объемно-массовый динамический метод

1.1 При применении объемно-массового динамического метода применяют следующие средства измерений:

турбинный счетчик с пределами допускаемых значений относительной погрешности (в дальнейшем погрешностью)  $\Delta V = \pm 0,2\%$ ;

поточный плотномер с абсолютной погрешностью  $\delta_{\rho} = \pm 1,3$  кг/м<sup>3</sup>;

термометры с абсолютной погрешностью  $\Delta t = \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;

манометры класса I с верхним пределом диапазона измерения  $P_{\text{max}} = 10$  МПа.

Обработка результатов измерений производится на ЭВМ с относительной погрешностью  $\Delta M = \pm 0,1\%$ .

1.2. Измеренный объем продукта  $V = 687344$  м<sup>3</sup>.

1.3. По результатам измерений за время прохождения объема вычисляют следующие параметры (средние арифметические значения):

температуру продукта при измерении объема  $t_{\text{в}} = 32^{\circ}\text{C}$ ;

давление при измерении объема  $P_{\text{в}} = 5,4$  МПа;

температуру продукта при измерении плотности  $t_{\rho} = 30^{\circ}\text{C}$ ;

давление при измерении плотности  $P_{\rho} = 5,5$  МПа;

плотность продукта  $\rho = 781$  кг/м<sup>3</sup>.

1.4. По справочникам определяют:

коэффициент объемного расширения продукта  $\beta = 8 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ;  
коэффициент сжимаемости продукта от давления  $\gamma = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ .

1.5. Массу прошедшего по трубопроводу продукта вычисляют по формуле (1)

$$m = 687344 \cdot 781 \cdot [1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 32)] \cdot [1 + 1,2 \cdot 10^{-3} (5,4 - 5,5)] = \\ = 535892444 \text{ кг} = 535,9 \text{ тыс. т.}$$

1.6. Для определения погрешности метода вычисляют: относительную погрешность измерения плотности по формуле

$$\Delta \rho = \frac{\delta \rho}{\rho_{\min}} \cdot 100\% = \frac{1,3}{750} \cdot 100\% = 0,17\%,$$

где  $\rho_{\min}$  — минимальное допускаемое в методике выполнения измерений (МВИ) значение плотности продукта;

абсолютную погрешность измерения разности температур

$$\Delta \delta_t = \pm \sqrt{\Delta t_v^2 + \Delta t_p^2} = \pm \sqrt{0,5^2 + 0,5^2} = \pm 0,7^\circ\text{C}.$$

1.7. При определении погрешности метода учитывают, что она достигает максимума при максимально допускаемом превышении температуры  $t_p$  над температурой  $t_p$ , которое должно указываться в МВИ. Для примера принимаем, что в МВИ задано значение  $10^\circ\text{C}$ .

1.8. Погрешность объемно-массового динамического метода измерения вычисляют по формуле (2) приложения 2:

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{0,2^2 + 0,17^2 + 8 \cdot 10^{-4} \left[ \frac{0,7 \cdot 100}{1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot (-10)} \right]^2 + 0,1^2} = \pm 0,33\%.$$

## 2. Объемно-массовый статический метод

2.1. При применении объемно-массового статического метода использованы следующие средства измерений:

стальной вертикальный цилиндрический резервуар вместимостью  $10000 \text{ м}^3$ , отградуированный с относительной погрешностью  $\Delta K = \pm 0,1\%$  при температуре  $t_{i,p} = 18^\circ\text{C}$ ;

уровнемер с абсолютной погрешностью  $\Delta H = \pm 12 \text{ мм}$ ;

ареометр для нефти (нефтеденсиметр) с абсолютной погрешностью  $\Delta \rho = 0,5 \text{ кг/м}^3$ ;

термометры с абсолютной погрешностью  $\Delta t = \pm 1^\circ\text{C}$ .

Обработка результатов измерений производится на ЭВМ с относительной погрешностью  $\Delta M = \pm 0,1\%$ .

2.2. При измерениях перед отпуском продукта получены следующие результаты:

высота налива продукта  $H_i = 11,574 \text{ м}$ ;

плотность продукта из объединенной пробы в лабораторных условиях при температуре  $t_{p,i} = 22^\circ\text{C}$   $\rho_i = 787 \text{ кг/м}^3$ ;

средняя температура продукта в резервуаре  $t_{v,i} = 34^\circ\text{C}$ ;

температура окружающего воздуха  $t_i = -12^\circ\text{C}$ .

2.3. При измерениях после отпуска продукта получены следующие результаты:

высота налива продукта  $H_{i+1} = 1,391 \text{ м}$ ;

плотность продукта из объединенной пробы в лабораторных условиях при температуре  $t_{p,i+1} = 22^\circ\text{C}$  —  $\rho_{i+1} = 781 \text{ кг/м}^3$ ;

средняя температура продукта в резервуаре  $t_{v_{i+1}} = 32^\circ\text{C}$ ;  
температура окружающего воздуха  $t_{i+1} = -18^\circ\text{C}$ .

2.4. По справочникам определяют:

коэффициент линейного расширения материала стенок резервуара

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C};$$

коэффициент объемного расширения продукта

$$\beta = 8 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}.$$

2.5. По градуировочной таблице резервуара определяют:  
объем продукта в резервуаре перед отпуском  $V_i = 10673,7 \text{ м}^3$ ;  
объем продукта в резервуаре после отпуска  $V_{i+1} = 1108,2 \text{ м}^3$ .

2.6. Вычисляют температуру стенок резервуара:

перед отпуском продукта

$$t'_{v_i} = \frac{t_{v_i} - t_i}{2} = \frac{34 - 12}{2} = 11^\circ\text{C},$$

после отпуска продукта

$$t_{v_{i+1}} = \frac{t_{v_{i+1}} - t_{i+1}}{2} = \frac{32 - 18}{2} = 7^\circ\text{C}.$$

2.7. Массу отпущенного продукта определяют по формуле (3) приложения 2:

$$\begin{aligned} m &= 10673,7 \cdot [1 + 2 \cdot 12 \cdot 10^{-6} (11 - 18)] \cdot 784 \cdot [1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot (22 - 34)] - 1108,2 \times \\ &\times [1 + 2 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (7 - 18)] \cdot 781 \cdot [1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot (22 - 32)] = 8286454 - 858353 = \\ &= 7428101 \text{ кг} = 7430 \text{ т}. \end{aligned}$$

2.8. Для определения погрешности метода вычисляют:  
относительную погрешность измерения плотности продукта

$$\Delta \rho = \frac{\delta \rho}{\rho_{\min}} \cdot 100\% = \frac{\pm 0,5}{750} \cdot 100\% = 0,066\%:$$

абсолютную погрешность измерения разности температур:

$$\Delta \delta_t = \pm \sqrt{\Delta t_{\text{в}}^2 + \Delta t_{\text{пр}}^2} = \pm \sqrt{1^2 + 1^2} = 1,4^\circ\text{C}.$$

2.9. При определении погрешности метода учитывают, что она достигает максимума при максимальном для данного резервуара значении  $H_{i_{\max}}$ , указанном в паспорте на резервуар, а также при минимальной разности  $(H_i - H_{i+1})_{\min}$  и максимальном превышении температуры  $t_v$  над температурой  $t_p$ , которые должны указываться в МВИ.

2.9.1. В рассматриваемом случае, например, используют резервуар с  $H_{i_{\max}} = 12 \text{ м}$  и заданы  $(H_i - H_{i+1})_{\min} = 8 \text{ м}$  следовательно  $H_{(i+1)_{\max}} = 4 \text{ м}$  и  $(t_{p_i} - t_{v_i})_{\min} = (t_{p_{i+1}} - t_{v_{i+1}})_{\min} = -10^\circ\text{C}$ .

2.9.2. По градуировочной таблице резервуара определяют объемы, соответствующие уровням п. 2.9.1.:

$$V_{i_{\max}} = 11112,1 \text{ м}^3, V_{(i+1)_{\max}} = 3566,4 \text{ м}^3 \text{ и } V = (V_{i_{\max}} - V_{(i+1)_{\max}}) = 7545,7 \text{ м}^3.$$

2.9.3. Для расчета погрешности определяют значения

$$\frac{m_{i \max}^2}{m^2} = \frac{V_{i \max}^2}{V^2} = \frac{11112,1^2}{7545,7^2} = 2,169 \text{ и}$$

$$\frac{m_{(i+1) \max}^2}{m^2} = \frac{V_{(i+1) \max}^2}{V^2} = \frac{3566,4^2}{7545,7^2} = 0,223.$$

Примечание. В данных расчетах принято допущение о равенстве плотности продукта в резервуаре до начала и после окончания отпуска и плотности отпущенного продукта, что существенно не влияет на оценку погрешности.

2.10. Погрешность объемно-массового статического метода вычисляют по формуле (4) приложения 2:

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{2,169 \left[ \left( \frac{12}{12000} \cdot 100 \right)^2 + 0,1^2 + 0,066^2 + \left( \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,4 \cdot 100}{1 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot 10} \right)^2 \right] + 0,223 \left[ \left( \frac{12}{4000} \cdot 100 \right)^2 + 0,1^2 + 0,066^2 + \left( \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,4 \cdot 100}{1 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot 10} \right)^2 \right] + 0,1^2} = 0,41 \%$$

### 3. Гидростатический метод

3.1. При применении гидростатического метода используют следующие средства измерений:

стальной вертикальный цилиндрический резервуар вместимостью 10000 м<sup>3</sup>, отградуированный с относительной погрешностью  $\Delta K = \pm 0,1\%$  при температуре  $t_{гг} = 18^\circ\text{C}$ ;

уровнемер с абсолютной погрешностью  $\Delta H = \pm 12$  мм;

дифференциальный манометр с относительной погрешностью  $\Delta P_i = \Delta P_{i+1} = \pm 0,25\%$ .

Обработка результатов измерений производится на ЭВМ с относительной погрешностью  $\Delta M = \pm 0,1\%$ .

3.2. При измерениях получены результаты:

высота налива продукта перед отпуском  $H_i = 10,972$  м;

дифференциальное давление перед отпуском  $P_i' = 86100$  Па;

высота налива продукта после отпуска  $H_{i+1} = 1,353$  м;

дифференциальное давление после отпуска  $P_{i+1} = 11800$  Па.

3.3. По справочнику определяют значение ускорения свободного падения для данной местности  $g = 9,815$  м/с<sup>2</sup>.

3.4. По градуировочной таблице резервуара определяют:

объем продукта перед отпуском  $V_i = 10581,4$  м<sup>3</sup>;

объем продукта после отпуска  $V_{i+1} = 1297,1$  м<sup>3</sup>.

3.5. Вычисляются следующие значения величин:

при применении для расчета формулы (5) приложения 2 среднее значение площади сечения резервуара перед отпуском продукта

$$S_i = \frac{V_i}{H_i} = \frac{10581,4}{10,972} = 964,4 \text{ м}^2$$

и после отпуска продукта

$$S_{i+1} = \frac{V_{i+1}}{H_{i+1}} = \frac{1297,1}{1,353} = 958,7 \text{ м}^2;$$

при применении для расчета формулы (6) приложения 2 среднее значение площади сечения части резервуара, из которого отпущен продукт

$$S_{\text{ср}} = \frac{V_i - V_{i+1}}{H_i - H_{i+1}} = \frac{10581,4 - 1297,1}{10,972 - 1,353} = 965,2 \text{ м}^2,$$

разность давлений продукта в начале и в конце товарной операции с учетом изменившегося столба воздуха в резервуаре

$$\begin{aligned} \xi P &= P_i - P_{i+1} = P'_i - P'_{i+1} + \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot (H_i - H_{i+1}) = \\ &= 86100 - 11800 - 1,3 \cdot 9,815 \cdot (10,972 - 1,353) = 74200 \text{ Па}, \end{aligned}$$

где  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ .

3.6. Массу отпущенного продукта вычисляют по формуле (5) или (6), соответственно:

$$m = \left( 964,4 \cdot \frac{86100}{9,815} - 958,7 \cdot \frac{11800}{9,815} \right) = 7297637,3 \text{ кг} = 7,3 \text{ тыс. т.}$$

или

$$m = \frac{74200}{9,815} \cdot 965,2 = 7296774,3 \text{ кг} = 7,3 \text{ тыс. т.}$$

3.7. При определении погрешности метода учитывают, что она достигает максимума при максимальном для данного резервуара значении  $H_{i_{\text{max}}}$ , указанного в паспорте на резервуар, а также при минимальном значении отпущенного продукта  $m_{\text{min}}$  и его максимальной плотности  $\rho_{\text{max}}$ , которые должны указываться в МВИ.

3.7.1. В рассматриваемом случае, например, используют резервуар с  $H_{i_{\text{max}}} = 12 \text{ м}$  и заданными  $m_{\text{min}} = 7000 \text{ т}$  и  $\rho_{\text{max}} = 860 \text{ кг/м}^3$ .

3.7.2. По градуировочной таблице резервуара определяют объем  $V_{i_{\text{max}}} = 11112,1 \text{ м}^3$ , соответствующий  $H_{i_{\text{max}}}$ , рассчитывают минимальное изменение объема  $\Delta V$  и максимальное значение объема  $V_{(i+1)_{\text{max}}}$ :

$$\Delta V = \frac{m_{\text{min}}}{\rho_{\text{max}}} = \frac{7000000}{860} = 8139,5 \text{ м}^3 \text{ и}$$

$$V_{(i+1)_{\text{max}}} = V_{i_{\text{max}}} - \Delta V = 2972,6 \text{ м}^3.$$

По градуировочной таблице резервуара определяют уровень  $H_{(i+1)_{\text{max}}} = 3,25 \text{ м}$ , соответствующий  $V_{(i+1)_{\text{max}}}$ .

3.8. Для расчета погрешности определяют максимальное значение давления столба продукта перед отпуском:

$$P_{i_{\text{max}}} = \rho_{\text{max}} \cdot g \cdot H_{i_{\text{max}}} = 860 \cdot 9,815 \cdot 12 = 101290,8 \text{ Па},$$

после отпуска:

$$P_{(i+1)_{\text{max}}} = \rho_{\text{max}} \cdot g \cdot H_{(i+1)_{\text{max}}} = 860 \cdot 9,815 \cdot 3,25 = 27432,9 \text{ Па};$$

среднее значение площади сечения резервуара, соответствующее  $H_{i_{\max}}$  и  $H_{(i+1)_{\max}}$ :

$$S_i = \frac{V_{i_{\max}}}{H_{i_{\max}}} = \frac{1112,1}{12} = 926 \text{ м}^2,$$

$$S_{(i+1)} = \frac{V_{(i+1)_{\max}}}{H_{(i+1)_{\max}}} = \frac{2972,6}{3,25} = 914,6 \text{ м}^2.$$

относительную погрешность измерения разности давлений

$$\Delta \xi P = \pm \sqrt{2 \Delta P^2} = \pm \sqrt{2 \cdot 0,25^2} = \pm 0,353 \text{ \%}.$$

3.9. Погрешность гидростатического метода определяют по формуле (7) или (8) приложения 2, соответственно:

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{\frac{101290,8^2 \cdot 926^2 \cdot (0,1^2 + 0,25^2)}{9,815^2 \cdot 7000000^2} + \frac{27432,9^2 \cdot 914,6^2 \cdot (0,1^2 + 0,25^2)}{9,815^2 \cdot 7000000^2} + 0,1^2} = \pm 0,43 \text{ \%},$$

$$\Delta m = \pm 1,1 \sqrt{0,353^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = \pm 0,42 \text{ \%}.$$

Примечание. В данных расчетах за погрешность  $\Delta S_i$ ,  $\Delta S_{(i+1)}$  и  $\Delta S_{\text{ср}}$  принимается погрешность градуировки резервуара  $\Delta K$ , равная 0,1%, так как погрешность измерения уровня при применении метода градуировки по ГОСТ 8.380—80 не оказывает существенного влияния на погрешность измерения площадей.

#### 4. Методы измерения массы нефти нетто

4.1. При измерении массы нефти брутто были использованы средства измерений и получены результаты, приведенные в пп. 1 и 3.

4.2. Дополнительно для измерения массы нефти нетто были использованы: влагомер с абсолютной погрешностью  $\Delta \varphi_{\text{в}} = \pm 0,18 \text{ \%}$  (по объему),

солемер с абсолютной погрешностью  $\Delta \omega_{\text{хс}} = \pm 0,25 \text{ кг/м}^3$ , ареометр для измерения плотности воды с абсолютной погрешностью  $\Delta \rho_{\text{в}} = 0,5 \text{ кг/м}^3$ .

4.3. По результатам измерений за время отпуска продукта вычисляют следующие параметры (средние арифметические значения):

объемную долю воды в нефти  $\varphi_{\text{в}} = 0,7 \text{ \%}$  (по объему);

концентрацию хлористых солей в нефти  $\omega_{\text{хс}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;

плотность воды, содержащейся в нефти  $\rho_{\text{в}} = 1050 \text{ кг/м}^3$ .

4.4. Массовая доля механических примесей в нефти принимается равной предельному значению по ГОСТ 9965—76,  $\omega_{\text{мп}} = 0,05 \text{ \%}$  (по массе).

4.5. При применении объемно-массового метода (см. п. 1) массу нефти нетто определяют по формуле (9) приложения 2:

$$m_{\text{н}} = 687344 \cdot 781 [1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 32)] \cdot [1 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (5,4 - 5,5)] \times \\ \times \left(1 - \frac{0,025}{2 \cdot 100}\right) - 687344 [1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 32)] \cdot \left(\frac{0,7}{100} \cdot 1050 + 1,2\right) = \\ = 530671229 \text{ кг} = 530,7 \text{ тыс. т.}$$

4.6. При применении гидростатического метода (см. п. 3) предварительно определяют:

$$\rho = \frac{\xi p}{g(H_i - H_{i+1})} = \frac{74200}{9,815(10,972 - 1,353)} = 785,9 \text{ кг/м}^3.$$

Массу нефти в этом случае определяют по формуле (10) приложения 2:

$$m_n = 7296774,3 \left( \frac{1 - \frac{0,7}{100} \cdot 1050 + 1,2}{785,9} \right) \cdot \left( 1 - \frac{0,05}{2 \cdot 100} \right) = \\ = 7215586,5 \text{ кг} = 7,216 \text{ тыс. т.}$$

4.7. При определении погрешностей методов учитывается, что они достигают максимума при максимально допускаемых значениях плотности воды  $\rho_v$ , содержания воды  $\varphi_v$  и концентрации хлористых солей  $w_{xc}$  в нефти, при максимальном превышении температуры  $t_v$  над температурой  $t_p$  и минимально допускаемом значении плотности нефти  $\rho$ , которые должны указываться в МВИ.

4.7.1. В рассматриваемом случае, например, в МВИ заданы:

$$\rho_{v \max} = 1120 \text{ кг/м}^3; \quad \varphi_{v \max} = 1\%; \quad w_{xc \max} = 1,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\min} = 780 \text{ кг/м}^3; \quad \text{и } (t_p - t_v) = -10^\circ\text{C.}$$

4.8. Погрешность объемно-массового метода измерения массы нефти нетто по формуле (11) приложения 2:

$$m_n = \pm 1,1 \sqrt{0,2^2 + \left( \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7 \cdot 100}{1 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot 10} \right)^2 + \frac{\left[ \left( \frac{780}{100} \cdot 0,17 \right)^2 + \left( \frac{1}{100} \cdot 0,5 \right)^2 \right]}{780 - \frac{1}{100} \cdot 1120 - 1,8} + \frac{\left[ \left( \frac{1120}{100} \cdot 0,18 \right)^2 + 0,25^2 \right] \cdot 100^2}{780 - \frac{1}{100} \cdot 1120 - 1,8}} + 0,1^2 = 0,50\%.$$

4.8.1. При применении объемно-массового статического метода (см. п. 2) погрешность определяют также по формуле (11) приложения 2, однако требуется определить погрешность косвенного измерения объема  $\Delta V$ , которую рассчитывают по формуле:

$$\Delta V = \pm \sqrt{\Delta K^2 \cdot \frac{V_{i \max}^2 + V_{(i+1) \max}^2}{(V_{i \max} - V_{(i+1) \max})^2} + \frac{\Delta H^2 \cdot 100^2}{(H_i - H_{i+1})_{\min}^2}} = \\ = \pm \sqrt{0,1^2 \cdot \frac{11112,1^2 + 3566,4^2}{7545,7^2} + \frac{0,012^2 \cdot 100^2}{8^2}} = 0,215\%.$$

4.9. Для расчета погрешности гидростатического метода измерения массы нефти предварительно определяют абсолютную погрешность измерения плотности (см. п. 3)

$$\delta_p = \pm \sqrt{\left[ \frac{P_{i_{\max}} - P_{(i+1)_{\max}}}{g (H_i - H_{i+1})_{\min}} \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{\Delta \xi P}{100} \right)^2 + \frac{\Delta H^2}{(H_i - H_{i+1})_{\min}^2} \right]} =$$

$$= \pm \sqrt{\left[ \frac{101290,8 - 27432,9}{9,815 (12 - 3,25)} \right]^2 \cdot \left[ \left( \frac{0,353}{100} \right)^2 + \frac{0,012}{(12 - 3,25)^2} \right]} = 3,257 \text{ кг/м}^3.$$

Погрешность гидростатического метода измерения массы нефти нетто вычисляют по формуле (12) приложения 2:

$$\Delta m_n = \pm 1,1 \sqrt{0,42^2 + \frac{\left[ \left( \frac{1}{100} \cdot 1120 \right)^2 \cdot \frac{3,257^2}{780^4} + \left( \frac{1 \cdot 1120}{780 \cdot 100} \cdot 0,18 \right)^2 \right]}{\left[ 1 - \frac{1}{780} \left( \frac{1}{100} \cdot 1120 + 1,8 \right) \right]^2} + \frac{\left[ \left( \frac{1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5}{780 \cdot 100} \right)^2 + \left( \frac{1}{780} \cdot 0,25 \right)^2 \right] \cdot 100^2}{\left[ 1 - \frac{1}{780} \left( \frac{1}{100} \cdot 1120 + 1,8 \right) \right]^2} + 0,1^2} = 0,58\%.$$

Редактор *Р. С. Федорова*  
Технический редактор *М. И. Максимова*  
Корректор *В. С. Черная*