

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального  
образования  
"Уфимский государственный нефтяной технический университет"  
Кафедра прикладной экологии

Сафаров А.М.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ  
АВАРИЙНЫХ УТЕЧКАХ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

Уфа 2010

## 1. Истечение нефти и нефтепродуктов из трубопроводов и резервуаров

Расход нефти (нефтепродукта), вытекающей через отверстия в стенке нефтепроводов и резервуаров, описывается формулой

$$Q_y = \mu_p \cdot f_p \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}, \quad (1.1)$$

где  $\mu_p$  – коэффициент расхода;  $f_p$  – площадь отверстия;  $\Delta H$  – напор, под действием которого происходит истечение.

В общем случае величина коэффициента расхода зависит от формы отверстия, толщины стенки сооружения, числа Рейнольдса для условий истечения, а также среды, в которую вытекает жидкость. Стенка считается тонкой, если ее толщина в 5 и более раз меньше диаметра отверстия.

При истечении маловязких жидкостей через отверстие в тонкой стенке величина коэффициента расхода может быть найдена по одной из формул:

$$\mu_p = \begin{cases} \frac{Re}{48} & \text{при } Re \leq 25 \\ \frac{Re}{1.5 + 1.4 \cdot Re} & \text{при } 25 < Re \leq 300 \\ 0.592 + \frac{0.27}{Re^{1/6}} & \text{при } 300 < Re \leq 10000 \\ 0.592 + \frac{5.5}{Re^{1/2}} & \text{при } 10000 < Re \end{cases} \quad (1.2)$$

Для нефтегазоконденсатных смесей получены следующие зависимости:

- истечение в атмосферу и воду:

$$\mu_p = \exp \left[ a_{m0} + \frac{a_{m1}}{Re} + k_{T0} \cdot \left( a_{m2} + \frac{a_{m3}}{Re} \right) + k_{T0}^2 \cdot \left( a_{m4} + \frac{a_{m5}}{Re} \right) \right] \quad (1.3)$$

- истечение в водонасыщенный грунт:

$$\mu_p = \frac{10^6 \exp(-Re \cdot 10^{-6})}{1640000 - 2.15 \cdot Re - (212000 - 2.67 \cdot Re) \cdot k_{T0} + (7500 - 0.733 \cdot Re) \cdot k_{T0}^2}, \quad (1.4)$$

где  $a_{m0} \dots a_{m5}$  - числовые коэффициенты, величина которых зависит от толщины стенки и среды, в которую происходит истечение (табл. 1.1);  $Re$  – число Рейнольдса для условий истечения

$$Re = \frac{L' \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}}{\nu}, \quad \text{где} \quad (1.5)$$

$L'$  – характерный линейный размер отверстия

$$L' = 4 \cdot \frac{f_p}{\mathcal{N}_p}, \text{ где} \quad (1.6)$$

$\mathcal{N}_p$  – периметр отверстия;

$k_{TO}$  – коэффициент, учитывающий форму отверстия:

$k_{TO} = 0$  – для ромба,

$k_{TO} = 1$  – для круга,

$k_{TO} = 2$  – для прямоугольника,

$k_{TO} = 3$  – для треугольника;

$\nu$  – кинематическая вязкость жидкости.

Таблица 1.1

Величины коэффициентов в формуле (1.3)

Среда в которую происходит истечение	Характеристика стенки	$a_{m0}$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	$a_{m4}$	$a_{m5}$
Атмосфера	тонкая	-0,335	110	-0,18	-340	0,066	10
	толстая	-0,588	1560	-0,269	2320	0,14	-930
Вода	толстая	-0,599	6410	0,167	-8610	-0,0057	-2340

Для оценочных расчетов можно принять  $\mu_p = 0,65$ .

Площадь отверстия также рассчитывается в зависимости от его формы:

- для круглого коррозионного отверстия диаметром  $d_{cp}$

$$f_p = 0,25 \cdot \pi \cdot d_{cp}^2; \quad \mathcal{N}_p = \pi \cdot d_{cp}; \quad (1.7)$$

- для эллиптического коррозионного отверстия с размерами осей  $d_{min}$  и  $d_{max}$

$$f_p = 0,25 \cdot \pi \cdot d_{min} \cdot d_{max}; \quad \mathcal{N}_p = 0,5 \cdot \pi \cdot (d_{min} + d_{max}); \quad (1.8)$$

- для протяженного коррозионного повреждения длиной  $l_*$  и шириной  $b_*$ ,

$$f_p = l_* \cdot b_*; \quad \mathcal{N}_p = 2(l_* + b_*); \quad (1.9)$$

- для ромбовидного отверстия с длинами осей  $b_{min}$  и  $b_{max}$

$$f_p = 0,5 \cdot b_{max} \cdot b_{min}; \quad \mathcal{N}_p = 2 \sqrt{b_{max}^2 + b_{min}^2}; \quad (1.10)$$

- для разрывов кольцевых швов с расхождением кромок  $b_k$

$$f_p = \pi \cdot d \cdot b_k; \quad \mathcal{N}_p = 2 \cdot (\pi \cdot d + b_k); \quad (1.11)$$

- для разрывов заводских продольных и спиральных швов длиной  $l_p$  и шириной  $b_p$ , а также для разрывов по основному металлу тех же

размеров

$$f_p = 0.5 \cdot l_p \cdot b_p; \lambda'_p = l_p + 2 \cdot \sqrt{b_p^2 + \left(\frac{l_p}{2}\right)^2}; \quad (1.12)$$

Напор, под которым происходит истечение, находится в зависимости от конкретных условий.

Если истечение происходит из резервуара или простаивающего трубопровода через малое отверстие, когда потерями напора при движении жидкости к нему можно пренебречь, то

$$\Delta H = 0.5 \cdot (H_1 + H_2), \quad (1.13)$$

где  $H_1$  и  $H_2$ , напор жидкости соответственно в начальный и конечный моменты времени.

Для резервуаров и трубопроводов с сужающимся отверстием (или вантузом)  $H_i$  равно превышению уровня жидкости  $Z_{жи}$  над местом расположения отверстия  $Z_0$  в соответствующий момент времени, т. е.

$$H_i = Z_{жи} - Z_0; \quad (1.14)$$

Если воздух в трубопровод (над поверхностью жидкости) не поступает, то

$$H_i = Z_{жи} - Z_0 - \frac{P_a - P_s}{\rho \cdot g}; \quad (1.15)$$

Где  $P_s$  – давление насыщенных паров нефти (нефтепродукта) при температуре перекачки, а  $P_a$  давление атмосферного воздуха.

Средний расход, с которым нефть вытекает из работающего трубопровода, вычисляется по формуле (1), в которой

$$\Delta H = H_2 - \Delta Z_x + \sum_{i=1}^{n_1} A_i - (f_x + \sum_{i=1}^{n_1} B_i) Q^{2-m}; \quad (1.16)$$

Где  $\Delta Z_x$  – разность нивелирных отметок места разгерметизации трубы и головной насосной станции;  $x$  – расстояние до места утечки от начала трубопровода;  $n_1$  – число насосных станций, расположенных на участке длиной  $x$ ;  $Q$  – производительность трубопровода при наличии утечки

$$Q = \sqrt[2-m]{\frac{H_2 + \sum_{i=1}^n A_i - \Delta z - H_{кп}}{f_x + \sum_{i=1}^{n_1} B_i + \varphi^{2-m} [f \cdot (L - x) + \sum_{i=n_1+1}^n B_i]}}; \quad (1.17)$$

$\varphi$  – относительная величина утечки,  $\varphi = 1 - Q_y / Q$ .

Нетрудно видеть, что задача определения  $Q_y$  в данном случае решается методом последовательных приближений. Для инженерных целей, учитывая малость  $Q_y$ , можно рекомендовать следующий алгоритм.

Полагая  $\varphi = 0$ , по формуле (1.17) находится первое приближение  $Q$ , по формуле (1.16) - первое приближение  $\Delta H$  и далее по формуле (1.1) – первое приближение  $Q_y$ . Уточнив величину  $\varphi$ , расчет повторяют. Для нахождения  $Q_y$  с заданной точностью достаточно 2÷3 итераций.

## 2. Расчет безвозвратных потерь разлившейся нефти

Несмотря на все прилагаемые усилия по сбору разлившейся нефти определенная ее часть все-таки теряется вследствие испарения, инфильтрации в грунт и несовершенства средств сбора.

### 2.1. Потери нефти от испарения с поверхности грунта и воды

Потери нефти от испарения с поверхности грунта и воды вычисляются по формуле:

$$G_{п.в.} = \sigma_n \cdot \rho \cdot V_{н.п.}, \text{ где} \quad (2.1)$$

$\sigma_n$  – массовая доля испарившейся нефти;  $\rho, V_{н.п.}$  – плотность и объем нефти, находящейся на поверхности грунта (воды).

Массовая доля испарившейся нефти

$$\sigma_n = \frac{A_0 \cdot \Phi_p \cdot \tau}{A_1 \cdot \Phi_p \cdot (2 - \omega_b^{B_0}) \cdot h_{н.п.}^{B_1} \cdot t_{н.п.}^{B_2} + \tau}, \text{ где} \quad (2.2)$$

$\Phi_p$  – т массовая доля в нефти углеводородов, выкипающих до 200 °С;

$\tau$  – продолжительность испарения, ч;

$\omega_b$  – скорость ветра на поверхности испарения, м/с;

$h_{н.п.}$  – средняя высота слоя испаряющейся нефти, м;

$t_{н.п.}$  – средняя за период испарения температура нефти, °С;

$A_0, A_1, B_0, B_1, B_2$ , – постоянные числовые коэффициенты, величина которых зависит от условий испарения (табл. 2.1).

При отсутствии экспериментальных данных по разгонке нефти массовая доля углеводородов, выкипающих до 200 °С, может быть найдена по эмпирической формуле

$$\Phi_p = \left( \frac{\mu_{293} - \mu_{323}}{\mu_{293} \cdot \mu_{323}} \right)^{0,67}, \text{ где} \quad (2.3)$$

$\mu_{293}, \mu_{323}$  – динамическая вязкость нефти при температурах 293К и 323К, соответственно.

### Максимально возможные потери нефти от инфильтрации в грунт

могут быть найдены по формуле

$$G_{\text{н.г.}} = \rho \cdot (V_y - V_c - S_{\text{н.п.}} \cdot h_{\text{н.п.}}), \text{ где} \quad (2.4)$$

$V_y, V_c$  – соответственно объем утечки и объем собранной нефти в результате аварийно-восстановительных работ);  $S_{\text{н.п.}}$  — площадь нефтяного пятна (зеркала нефти);  $h_{\text{н.п.}}$  – средняя высота слоя испаряющейся нефти

$$h_{\text{н.п.}} = \left( -k_h + \sqrt{k_h^2 + \frac{V_y - V_c}{S_{\text{н.п.}}}} \right)^2; \quad (2.5)$$

$k_h$  – расчетный коэффициент

$$k_h = \sqrt{\frac{k_\phi \cdot \tau_\phi \cdot m_\pi}{2}}; \quad (2.6)$$

$k_\phi, m_\pi$  – соответственно коэффициент фильтрации и пористость грунта (табл. 2.2);  $\tau_\phi$  – продолжительность фильтрации,  $\tau_\phi \approx \tau_p$ .

Для оценки площади нефтяного пятна можно воспользоваться одной из следующих зависимостей:

– на горизонтальной поверхности

$$S_{\text{н.п.}} = 0.36 \cdot \nu^{-0.367} \cdot Q_y^{0.764} \cdot \tau_p^{0.918} \quad (2.7)$$

– на наклонной поверхности ( $0 < \theta \leq 2,5$  град)

$$S_{\text{н.п.}} = 10.71 \cdot (\theta + 1)^{0.205} \cdot \nu^{0.727} \cdot Q_y^{-0.257} \cdot \tau_p^{1.075} \quad (2.8)$$

– при сборе разлившейся нефти в земляном амбаре с вертикальными стенками

$$S_{\text{н.п.}} = b_0 \cdot l_0 \quad (2.9)$$

– при сборе разлившейся нефти в земляном амбаре (обваловании) с наклонными стенками

$$S_{\text{н.п.}} = b \cdot l + 2 \cdot h_{\text{н.п.}} (b + l + 2 \cdot h_{\text{н.п.}} \cdot \cot \alpha) \cdot \cot \alpha, \text{ где} \quad (2.10)$$

$\nu$  – кинематическая вязкость растекающейся нефти,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $Q_y$  – расход утечки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\tau_p$  – продолжительность растекания нефти, с;  $\theta$  – угол наклона поверхности растечения, град;  $b_0, l_0$  – ширина и длина амбара, замеренные на уровне свободной

поверхности нефти, м;  $b, l$  – то же по основанию амбара (обвалования);  $\alpha$  – угол наклона боковых стенок амбара (обвалования).

### Примеры расчетов:

**Пример 1.** Определить какой объем бензина вытечет через коррозионный свищ диаметром 1 мм в стенке резервуара, находящемся на расстоянии 1,5 м от дна. Уровень разлива в резервуаре в период истечения составлял 7 м. Продолжительность истечения 8 ч. Вязкость бензина при условиях истечения принять равной  $0,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

#### Решение

1. Напор, под которым происходит истечение

$$\Delta H = 7 - 1,5 = 5,5 \text{ м};$$

2. Площадь сечения, периметр и характерный линейный размер отверстия по формулам (1.6), (1.7):

$$K_p = 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$f_p = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2;$$

$$L' = \frac{4 \cdot 7,85 \cdot 10^{-7}}{3,14 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

3. Число Рейнольдса для условий истечения по формуле (1.5)

$$Re = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5,5}}{0,85 \cdot 10^{-6}} = 12221;$$

4. Коэффициент расхода по формуле (1.2)

$$\mu_p = 0,592 + \frac{5,5}{12221^{1/2}} = 0,642;$$

5. Расход бензина, вытекающего через отверстие в стенке резервуара, по формуле (1.1)

$$Q_y = 0,642 \cdot 7,85 \cdot 10^{-7} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5,5} = 5,24 \cdot \frac{10^{-6} \text{ м}^3}{\text{с}} = 0,0189 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

6. Объем бензина, вытекающего за рассматриваемый период

$$V_y = 0,0189 \cdot 8 = 0,151 \text{ м}^3;$$

**Пример 2.** Повторить расчёт при условиях примера 1, полагая, что в резервуаре хранилась нефтегазоконденсатная смесь вязкостью  $21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

#### Решение

1. Число Рейнольдса для условий истечения по формуле (1.5)

$$Re = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5,5}}{21 \cdot 10^{-6}} = 495;$$

2. Коэффициент расхода по формуле (1.3) с учетом, что для круглого отверстия  $k_{TO}=1$ ,

$$\mu_p = \exp \left[ -0,335 + \frac{110}{495} + 1 \cdot \left( -0,18 - \frac{340}{495} \right) + 1^2 \cdot \left( 0,066 + \frac{10}{495} \right) \right] = 0,409;$$

3. Расход истечения и объём вытекшей нефтегазоконденсатной смеси

$$Q_y = 0,409 \cdot 7,85 \cdot 10^{-7} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5,5} = 3,34 \cdot \frac{10^{-6} \text{ м}^3}{\text{с}} = 0,0112 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}};$$

$$V_y = 0,0112 \cdot 8 = 0,096 \text{ м}^3;$$

Сравнивая результаты расчёта в примерах 1 и 2, видим, что увеличение вязкости вытекающей жидкости почти в 25 раз приводит к уменьшению расхода утечки только на 37 %.

**Пример 3.** На надземном участке конденсатопровода обнаружено отверстие, имеющее ромбовидную форму. Измерения на месте показали, что диагонали ромба равны  $1,5 \cdot 10^{-5}$  м и  $4 \cdot 10^{-3}$  м, а его можно классифицировать как отверстие в толстой стенке. Давление в трубопроводе в месте обнаружения отверстия составляет  $15 \cdot 10^5$  Па. Кинематическая вязкость нефтегазоконденсатной смеси равна  $2,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, а её плотность – 740 кг/м<sup>3</sup>. Определить расход утечки.

### Решение

1. Напор, при котором происходило истечение

$$\Delta H = \frac{15 \cdot 10^5}{740 \cdot 9,81} = 206,6 \text{ м};$$

2. Площадь и периметр отверстия по формулам (1.12):

$$f_p = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$S_p = 2 \cdot \sqrt{(1,5 \cdot 10^{-3})^2 + (4 \cdot 10^{-3})^2} = 8,54 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

3. Характерный размер отверстия по формуле (1.6)

$$L' = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{8,54 \cdot 10^{-3}} = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

4. Число Рейнольдса для условий истечения по формуле (1.5)

$$Re = \frac{1,41 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 206,6}}{2,3 \cdot 10^{-6}} = 39031;$$

5. Коэффициент расхода по формуле (1.3) с учётом табл. 1.1



$$\mu_p = \exp \left[ -0,588 + \frac{1560}{39031} \right] = 0,578;$$

6. Расход нефтегазоконденсатной смеси при истечении по формуле (1.1)

$$Q_y = 0,578 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 206,6} = 1,1 \cdot \frac{10^{-4} \text{ м}^3}{\text{с}} = \frac{0,4 \text{ м}^3}{\text{ч}}.$$

**Пример 4.** Используя данные примера 3, рассчитать потери нефти от инфильтрации в грунт. Истечение продолжалось в течение 10 часов на наклонную поверхность ( $\Theta \approx 1,5^\circ$ ). Грунт в месте утечки представлен легкими суглинками. В результате аварийно-восстановительных работ удалось собрать  $0,5 \text{ м}^3$  нефти.

### Решение

1. Объём вытекшей нефти

$$V_y = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 \cdot 11 = 4,356 \text{ м}^3.$$

2. Площадь нефтяного загрязнения по формуле (2.8)

$$S_{\text{н.п.}} = 10,71 \cdot (1,5+1)^{0,205} \cdot (2,3 \cdot 10^{-6})^{0,727} \cdot (1,1 \cdot 10^{-4})^{-0,257} \cdot (11 \cdot 3600)^{1,075} = 5093,58 \text{ м}^2.$$

3. По табл. 3 Приложения выбираем величины  $k_{\phi} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$  и  $m_{\text{п}} = 0,07$ .

4. Расчётный коэффициент  $k_{\text{н}}$  по формуле (2.6)

$$K_{\text{н}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 11 \cdot 3600 \cdot 0,07}{2}} = 0,0583 \text{ м}^{0,5}.$$

5. Средняя высота испаряющегося слоя нефти на поверхности грунта по формуле (2.5)

$$h_{\text{н.п.}} = \left( -0,0583 + \sqrt{0,0583^2 + \frac{4,356 - 0,5}{5093,58}} \right)^2 = 3,801 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

6. Потери нефти от инфильтрации в грунт по формуле (2.4)

$$G_{\text{нт}} = 740 \cdot (4,356 - 0,5 - 5093,58 \cdot 3,801 \cdot 10^{-5}) = 3222,75 \text{ кг}.$$

### Расчетное задание № 1

Определить какой объем жидкости вытечет через коррозионный свищ диаметром **a** мм в стенке резервуара, находящемся на расстоянии **b** м от дна. Уровень разлива в резервуаре в период истечения составлял **c** м. Продолжительность истечения **d** ч. Вязкость жидкости при условиях истечения принять равной **e** м<sup>2</sup>/с.

Повторить расчёт при условиях примера 1, полагая, что в резервуаре хранилась иная жидкость вязкостью **f** м<sup>2</sup>/с.

### Расчетное задание № 2

На надземном участке нефтепродуктопровода обнаружено отверстие, имеющее форму **A**. Измерения на месте показали, что диагонали формы равны **B**\*10<sup>-5</sup> м и **B**\*10<sup>-5</sup> м, а его можно классифицировать как отверстие в толстой стенке. Давление в трубопроводе в месте обнаружения отверстия составляет **Г** кгс/см<sup>2</sup>. Кинематическая вязкость нефтегазоконденсатной смеси равна **Д**, а её плотность – **Р** кг/м<sup>3</sup>. Определить расход утечки.

### Расчетное задание № 3

Используя данные примера 2, рассчитать потери нефти от инфильтрации в грунт. Истечение продолжалось в течение **К** часов на наклонную поверхность ( $\Theta \approx \text{Л}^\circ$ ). Грунт в месте утечки представлен **М**. В результате аварийно-восстановительных работ удалось собрать **Н** % вышедшей нефти.

### Варианты Расчетного задания №1

Вариант	<b>a, мм</b>	<b>b, м</b>	<b>c, м</b>	<b>d, ч</b>	<b>e, 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup>/с</b>	<b>f, 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup>/с</b>
1	2,1	4,2	5,0	6	0,220	0,0250
2	3,5	4,5	7,0	2	0,0509	0,045
3	4,5	6,3	9,0	3	0,8167	0,025
4	7,0	5,1	6,0	4	0,26	0,0053
5	2,3	1,2	9,0	5	0,12	0,0250
6	4,1	5,3	7,0	6	0,220	0,045
7	1,5	7,2	10,0	7	0,0509	0,025
8	2,6	5,9	12,0	8	0,8167	0,0053
9	8,1	1,1	4,5	9	0,26	0,0250
10	4,3	9,2	13,5	10	0,12	0,045
11	6,5	2,6	7,5	11	0,220	0,025
12	0,4	7,3	12,9	0,5	0,0509	0,0053
13	2,5	5,1	6,0	9	0,8167	0,0250
14	4,2	1,4	3,2	8	0,26	0,045
15	5,6	3,6	15,2	0,4	0,12	0,025
16	5,3	5,3	14,2	6	0,220	0,0053
17	4,6	4,9	10,4	5	0,0509	0,0250
18	2,0	4,2	6,3	4	0,8167	0,045
19	9,1	1,8	5,7	3	0,26	0,025
20	5,9	2,7	7,2	2	0,12	0,0053

### Варианты Расчетного задания №2

Вариант	<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>	<b>Д, 10<sup>-4</sup> м<sup>2</sup>/с</b>	<b>Р</b>
1	ромб	4,2	5000	63	0,220	893
2	круг	450	450	28	0,0509	823
3	прямоугольник	603	900	35	0,8167	921
4	эллипс	5,1	600	41	0,26	892
5	ромб	102	9,0	54	0,12	862
6	круг	503	503	26	0,220	893
7	прямоугольник	7,2	1000	37	0,0509	823
8	эллипс	5,9	1200	58	0,8167	921
9	ромб	1010	4,5	29	0,26	892
10	круг	902	902	10	0,12	862
11	прямоугольник	2060	7,5	11	0,220	893
12	эллипс	7,3	1209	53	0,0509	823
13	ромб	5,1	6050	29	0,8167	921
14	круг	1400	1400	38	0,26	892
15	прямоугольник	306	1502	40	0,12	862
16	эллипс	5030	14,2	61	0,220	893
17	ромб	400	1000	53	0,0509	823
18	круг	400	400	24	0,8167	921
19	прямоугольник	5030	14,2	33	0,26	892
20	эллипс	7,2	1000	27	0,12	862

### Варианты Расчетного задания №3

Вариант	<b>М</b>	<b>К</b>	<b>Л</b>	<b>Н</b>
1	Гравий	1,5	0	2
2	Крупный и средний песок	3,4	0,1	3
3	Мелкий песок	1,8	0,2	5
4	Торфы слабой степени разложения, супеси	4,8	0,3	10
5	Торфы средней степени разложения, легкие суглинки	2,5	0,4	12
6	Торфы высокой степени разложения, суглинки	8,1	0,5	6
7	Торфы очень высокой степени разложения, легкие глины	1,2	0,6	5
8	Песчаник	3,8	0,7	4
9	Известняки, доломиты	4,7	0,8	10
10	Гравий	5,6	0,9	12
11	Крупный и средний песок	3,4	1,0	8
12	Мелкий песок	2,8	1,1	6
13	Торфы слабой степени разложения, супеси	1,2	1,2	7
14	Торфы средней степени разложения, легкие суглинки	4,7	1,3	2
15	Торфы высокой степени разложения, суглинки	3,2	1,4	0
16	Торфы очень высокой степени разложения, легкие глины	5,1	1,5	9
17	Песчаник	7,2	1,6	20
18	Известняки, доломиты	2,1	1,7	5
19	Гравий	1,5	1,8	7
20	Крупный и средний песок	8,4	1,9	6

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Справочные данные для расчета.

Таблица 1. Величины коэффициентов в формуле (1.3)

Среда в которую происходит истечение	Хар-ка стенки	$a_{m0}$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$	$a_{m4}$	$a_{m5}$
Атмосфера	тонкая	-0,335	110	-0,18	-340	0,066	10
	толстая	-0,588	1560	-0,269	2320	0,14	-930
Вода	толстая	-0,599	6410	0,167	-8610	-0,0057	-2340

Таблица 2. Рекомендуемые величины числовых коэффициентов в формуле (2.2)

Условия испарения	$A_0$	$A_1 \cdot 10^{-2}$	$B_0$	$B_1$	$B_2$
С поверхности воды	1	51,7	0,38	0	-1,75
С поверхности грунта					
$0,005 \text{ м} \leq h_{н.п.} < 0,05 \text{ м}$	1	1990	0,38	0,88	-1,30
$0,05 \text{ м} \leq h_{н.п.} < 0,20 \text{ м}$	0,447	473	0,25	0,25	-2,10
$0,20 \text{ м} \leq h_{н.п.}$	0,360	592,5	0,20	0,25	-2,10

Таблица 3. Характеристики некоторых типов грунта

Тип грунта	$k_f, \text{ м/с}$	$m_n$
Гравий	$(0,5 \div 5) \cdot 10^{-3}$	$0,5 \div 0,6$
Крупный и средний песок	$(1 \div 10) \cdot 10^{-3}$	$0,2 \div 0,5$
Мелкий песок	$(1 \div 10) \cdot 10^{-4}$	$0,1 \div 0,3$
Торфы слабой степени разложения, супеси	$(1 \div 10) \cdot 10^{-5}$	$0,05 \div 0,2$
Торфы средней степени разложения, легкие суглинки	$(1 \div 10) \cdot 10^{-6}$	$0,04 \div 0,1$
Торфы высокой степени разложения, суглинки	$(1 \div 10) \cdot 10^{-7}$	$0,03 \div 0,01$
Торфы очень высокой степени разложения, легкие глины	$(1 \div 10) \cdot 10^{-8}$	$0,02 \div 0,04$
Песчаник	$(1 \div 10) \cdot 10^{-8}$	$0,001 \div 0,003$
Известняки, доломиты	$(1 \div 10) \cdot 10^{-8}$	$0,005 \div 0,02$

Таблица 3. Справочная таблица по нефтепродуктам

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость, (м <sup>2</sup> /с) · 10 <sup>-4</sup> , при температуре, К			
		239	303	313	323
Нефть:					
Бугурусланская	893	0,325	0,220	0,153	0,109
Приволжская	823	0,0835	0,0509	0,0346	0,0269
Воткинская	921	1,633	0,8167	0,5227	0,2821
Арланская	892	0,397	0,26	0,176	0,135
Ромашкинская	862	0,1422	0,12	0,09	0,059
Нефтепродукты:					
Керосин	780	0,0328	-	0,0250	-
Дизельное топливо ДЛ	835	0,06	0,050	0,045	0,042
Дизельное топливо ДА	830	0,03	0,027	0,025	0,024
Бензин автомобильный АИ-93	760	0,0063	0,0057	0,0053	-

Таблица 4. Основные данные по стальным вертикальным цилиндрическим резервуарам для нефти и нефтепродуктов.

Номинальный объем, м <sup>3</sup>	Диаметр, м	Высота, м	Высота кровли, м		Резервуар без понтона		Резервуар со стальным пунктоном	
			конический	сферической	Геометрическая вместимость, м <sup>3</sup>	Масса, т	Геометрическая вместимость, м <sup>3</sup>	Масса, т
100	4,73	5,96	0,12	-	105	5,44	92	7,01
200	6,63	5,96	0,16	-	206	7,94	182	9,38
300	7,58	7,45	0,19	-	336	10,57	305	13,26
400	8,53	7,45	0,21	-	426	12,36	386	15,85
700	10,43	8,94	0,26	-	764	17,75	704	22,46
1000	12,33	8,94	0,31	2,5	1066	22,91	984	28,84
						26,45		32,38
2000	15,18	11,92	0,38	3,0	2157	44,25	2010	51,44
						48,56		55,51
3000	18,98	11,92	0,48	3,0	3370	62,84	3150	74,89
						67,10		83,46
5000	22,8	11,92	0,57	3,0	4866	93,44	4380	111,86
						100,20		118,21
10000	34,2	11,92	0,65	3,0	10950	200,34	9590	244,77
						220,18		253,99
15000	39,9	11,92	0,74	3,5	14900	268,52	13050	322,88
						295,92		338,40
20000	45,6	11,92	0,85	4,0	19450	353,81	17050	422,77
						390,77		440,32
30000	47,4	17,9	0,98	4,0	29420	597,70	28600	684,10
40000	53,4	17,9	-	-	38630	778,80	-	-
5000	60,7	17,9	-	-	47830	959,90	46460	1075,30