

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *горного дела и строительства*
Кафедра «Геотехнологии и строительство подземных сооружений»

Утверждено на заседании кафедры
«Геотехнологии и строительство
подземных сооружений»
«24» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Н.М. Качурин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Эксплуатация нефтебаз и нефтехранилищ»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
21.03.01 Нефтегазовое дело

с направленностью (профилем)
Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти,
газа и продуктов переработки

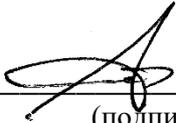
Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 210301-01-23

Тула 2023 год

Разработчик методических указаний

Сарычев В.И., проф., д-р техн. наук, доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Определение плотности и молекулярной массы нефтепродуктов | 4 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Давление насыщенных паров | 9 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Определение вязкости нефтепродуктов | 14 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Определение естественной убыли нефтепродуктов при их хранении | 18 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. Определение вместимости резервуарных парков нефтебаз | 27 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. Подбор предохранительных клапанов | 32 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7. Теплофизические свойства нефтепродуктов и резервуарный парк | 39 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8. Расчет количества сливно-наливных устройств | 48 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9. Самотечный слив и налив нефтепродуктов | 57 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10. Принудительный слив нефтепродуктов из танкеров и барж | 66 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11. Сифонный слив железнодорожных цистерн нефтепродуктов | 73 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12. Принудительный налив нефтепродуктов в транспортные емкости | 79 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13. Расчет необходимого давления на входе в насос при перекачке нефти и нефтепродуктов. Оценка фактических потерь | 84 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14. Расчет механических дыхательных клапанов | 91 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 93 |

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Определение плотности и молекулярной массы нефтепродуктов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения теплофизических характеристик нефтепродуктов в системе нефтехранилищ.

Задачи работы заключаются в определении плотности и молекулярной массы нефтепродуктов.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для гидравлического и теплового расчетов необходимо знать теплофизические характеристики нефтепродуктов, одной из которых является плотность нефти и нефтепродуктов.

Плотностью нефтепродуктов называется количество покоящейся массы в единице объема. Определение плотности нефти и нефтепродуктов весьма облегчает возможные расчеты, связанные с расчетом их массового количества.

Плотность имеет размерность кг/м^3 .

Плотность нефтепродуктов ρ находится в пределах $700\text{-}1100 \text{ кг/м}^3$.

При изменении температуры плотность нефтепродуктов изменяется: при повышении температуры она уменьшается, при понижении температуры – увеличивается.

Изменение плотности вследствие изменения температуры T определяют по формуле Менделеева:

$$\rho_T = \frac{\rho_{293}}{1 + \beta_p(T - 293)}, \quad (1)$$

где ρ_T , ρ_{293} – плотность нефтепродукта соответственно при температурах T и 293°K ;

β_p – коэффициент объемного расширения.

Плотность нефтепродуктов может быть определена по следующему уравнению:

$$\rho_T = \rho_{293} + \xi(293 - T), \quad (2)$$

где ξ – температурная поправка, ориентировочно ее можно рассчитать по формуле

$$\xi = 1,825 - 0,001315 \rho_{293} \quad (3)$$

или по табл. 1.

Таблица 1 – Температурная поправка

| Плотность ρ , кг/м ³ | ξ , (1/К) |
|--------------------------------------|---------------|
| 700 – 719 | 0,001225 |
| 720 – 739 | 0,001183 |
| 740 – 759 | 0,001118 |
| 760 – 779 | 0,001054 |
| 780 – 799 | 0,000995 |
| 800 – 819 | 0,000937 |
| 820 – 839 | 0,000882 |
| 840 – 859 | 0,000831 |
| 860 – 880 | 0,000782 |

Несмотря на то, что нефтепродукты являются практически несжимаемыми жидкостями, изменение их плотности при изменении давления все же происходит. При увеличении давления плотность нефтепродукта возрастает, а при уменьшении давления – убывает. Изменения плотности малы по сравнению с ее номинальным значением. Соответствующие поправки необходимо учитывать при осуществлении приемораздаточных операций и при инвентаризациях.

Зависимость плотности ρ нефтепродукта от давления представляется формулой:

$$\rho(p) = \rho_0 [1 + \beta(p - p_0)], \quad (4)$$

где ρ_0 – плотность нефтепродукта при стандартных условиях (атмосферном давлении p_0 и температуре $+20^\circ\text{C}$);

β (1/Па) – коэффициент сжимаемости продукта.

Для вычисления поправок к плотности на давление используют также модуль упругости K (Па) нефтепродукта, который равен $1/\beta$. Тогда (4) записывается иначе:

$$\rho(p) = \rho_0 \left[1 + \frac{p - p_0}{K} \right]. \quad (5)$$

Средние значения модуля K упругости нефтепродуктов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Средние значения модуля упругости

| Наименование нефтепродукта | K , Па |
|----------------------------|----------|
| бензин | 10^9 |

| | |
|-------------------|------------------|
| керосин | $1,4 \cdot 10^9$ |
| дизельное топливо | $1,5 \cdot 10^9$ |

В тех случаях, когда одновременно отклоняются от номинальных значений и температура, и давление, плотность $\rho(T, p)$ нефтепродукта при давлении p и температуре T можно рассчитать по формуле

$$\rho(p, T) = \rho_0 \left[1 + \xi(20 - T) + \frac{p - p_0}{K} \right]. \quad (6)$$

Молекулярная масса является одной из основных физико-химических характеристик нефтей и нефтепродуктов, величиной, которая показывает, во сколько раз молекулы данного вещества больше 1/12 части массы атома изотопа углерода ^{12}C .

Между молекулярной массой и температурой кипения нефтяных фракций существует определенная зависимость: чем больше молекулярная масса нефтяной фракции, тем выше ее температура кипения.

Молекулярную массу можно вычислить, если известна температура кипения нефтяных фракций по уравнению Б.П. Войнова

$$\mu = 60 + 0,3 t_k + 0,001 t_k^2, \quad (7)$$

где t_k – средняя температура кипения фракции, рассчитанная как среднеарифметическая от температур, при которых перегоняются одинаковые объемы продукта $^\circ\text{C}$.

Формулу Войнова уточнил Эйгенсон, введя характеризующий фактор K .

С введением характеризующего фактора (2.67) примет вид:

$$M = (7K - 21,5) + (0,76 - 0,04K) t_{\text{ср.мол.}} + (0,0003K - 0,00245) t_{\text{ср.мол.}}^2. \quad (8)$$

Уравнением (8) можно пользоваться для определения молекулярной массы фракций, выкипающих до 35°C .

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Плотность бензина ρ_{20} при температуре 20°C равна $745,5 \text{ кг/м}^3$. Какова плотность этого же бензина при температуре 10°C ?

Решение.

Используя (1) и табл. 1, получаем:

$$\rho_{20} = 745 \cdot [1 + 0,001118 \cdot (20 - 10)] = 745 \cdot 1,01118 = 753,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Если известна плотность ρ_1 нефтепродукта при температуре T_1 , то плотность ρ_2 того же нефтепродукта при температуре T_2 рассчитывается как

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot [1 + \xi_2(20 - T_2) - \xi_1(20 - T_1)],$$

в которой ξ_1 и ξ_2 – коэффициенты объемного расширения нефтепродукта при плотностях ρ_1 и ρ_2 соответственно.

Задача № 2. Определить молекулярную массу нефтепродукта с пределами выкипания 82-110°C, плотностью $d_4^{20}=0,7609$. Содержание узких фракций в этом продукте следующее (в мол. долях): (85-90°C) – 0,21; (90-95°C) – 0,10; (95-100°C) – 0,35; (100-105°C) – 0,23; (105-110°C) – 0,11.

Решение.

Определяем среднюю температуру кипения каждой узкой фракции (°C):

$$t_1 = \frac{85 + 90}{2} = 87,5^\circ\text{C};$$

$$t_2 = \frac{90 + 95}{2} = 92,5^\circ\text{C};$$

$$t_3 = \frac{95 + 100}{2} = 97,5^\circ\text{C};$$

$$t_4 = \frac{100 + 105}{2} = 102,5^\circ\text{C};$$

$$t_5 = \frac{105 + 110}{2} = 107,5^\circ\text{C}.$$

Подставляя данные в формулу среднемoleкулярной температуры кипения

$$t_{\text{ср.мол.}} = \frac{N_1 t_1 + N_2 t_2 + \dots + N_n t_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n},$$

получаем:

$$t_{\text{ср.мол.}} = 0,21 \cdot 87,5 + 0,10 \cdot 92,5 + 0,35 \cdot 97,5 + 0,23 \cdot 102,5 + 0,11 \cdot 107,5 = 97,2^\circ\text{C}.$$

Определяем значение d_{15}^{15} по формуле:

$$d_4^{20} = d_{15}^{15} - 5a,$$

где a – средняя температурная поправка,

$$\text{тогда } d_{15}^{15} = 0,7609 + 5 \cdot 0,000818 = 0,765.$$

Определяем характеристический фактор K по формуле

$$K = \frac{1,216 \sqrt[3]{97,2 + 273}}{0,765} = 11,3$$

Молекулярную массу фракции определяем по формуле

$$M = (7 \cdot 11,3 - 21,5) + (0,76 - 0,04 \cdot 11,3) \cdot 97,2 + (0,0003 \cdot 11,3 - 0,00245) \cdot 97,2^2 = 57,6 + 29,9 + 8,8 = 96,3$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Плотность нефти при температуре 5°C ρ_5 равна 870 кг/м³. Какова плотность нефти при температуре 20°C?

2. Плотность дизельного топлива при температуре 7°C ρ_1 составляет 855 кг/м³. Какова его плотность ρ_2 при температуре 15°C?

3. Температура авиационного керосина снизилась на 8°C . На сколько (в процентах) увеличилась его плотность?

4. Бензин ($\rho = 730 \text{ кг/м}^3$, $T = 15^{\circ}\text{C}$) хранится в горизонтальной цилиндрической цистерне диаметром 5 м и длиной 50 м. Горловина цистерны представляет собой вертикальный цилиндр с диаметром 2 м и высотой 3 м. Уровень бензина в горловине цистерны находится на 1 м ниже ее верхнего края. Определить, на сколько понизится уровень бензина, если температура топлива в цистерне упадет на 5°C .

5. Плотность ρ_1 дизельного топлива при давлении 0,1 МПа равна 840 кг/м^3 . Какова его плотность ρ_2 при давлении 3,5 МПа и той же самой температуре?

6. Плотность ρ_1 бензина при давлении 0,1 МПа равна 735 кг/м^3 . Какова его плотность ρ_2 при давлении 5,0 МПа и той же самой температуре?

7. Рассчитать плотность бензина при давлении 3,1 МПа и температуре $+10^{\circ}\text{C}$, если номинальное значение его плотности равно 748 кг/м^3 .

8. Определить молекулярную массу нефтяных фракций, средняя температура кипения которых 110, 130, 150°C .

9. Смесь состоит из двух компонентов. Масса каждого компонента 1 500 кг; молекулярная масса $M_1 = 100$ и $M_2 = 156$. Определить среднюю молекулярную массу нефти.

10. Определить среднюю молекулярную массу широкой фракции, состоящей из 20 % бензина с $M = 110$, 40 % лигроина с $M = 150$, 20 % керосина с $M = 200$ и 20 % газойля с $M = 250$.

11. Определить среднюю молекулярную массу нефтепродукта, имеющего среднюю температуру кипения 100°C и характеристический фактор $K = 1,08$.

12. Определить среднюю молекулярную массу нефтепродукта, имеющего плотность $d_{15}^{15} = 0,785$.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Давление насыщенных паров

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета давления насыщенных паров нефтей и нефтепродуктов.

Задачи работы заключаются в определении физических характеристик насыщенных паров с учетом состава паровой и жидкой фаз и их соотношения для нефтепродуктов.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Давление насыщенных паров – это давление, производимое паровой фазой, которая находится в равновесии с жидкостью при определенной температуре. Давление насыщенных паров индивидуального чистого вещества зависит только от температуры. Для смесей и таких продуктов, как нефть и нефтепродукты, давление насыщенных паров зависит не только от температуры, но и от состава паровой и жидкой фаз и их соотношения. Поэтому определение давления насыщенных паров нефтепродуктов представляет большие трудности. Однако для узких нефтяных фракций, выкипающих в узком интервале температур без заметного изменения состава фаз, можно с известной степенью приближения считать однозначной зависимость давления насыщенных паров от температуры. Единица давления в системе единиц СИ – паскаль (Па). Кратные единицы кПа, МПа. Паскаль – давление, вызываемое силой 1 Ньютон (Н), равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м^2 и нормально к ней направленной.

При изучении фракционного состава нефтей и проведении технологических расчетов аппаратуры приходится пересчитывать давление

насыщенных паров нефтепродуктов при одной температуре на давление при другой, а также температуру кипения нефтяных фракций от одного давления к другому. Для осуществления таких пересчетов предложены номограммы (рис. 1, 2 [1]).

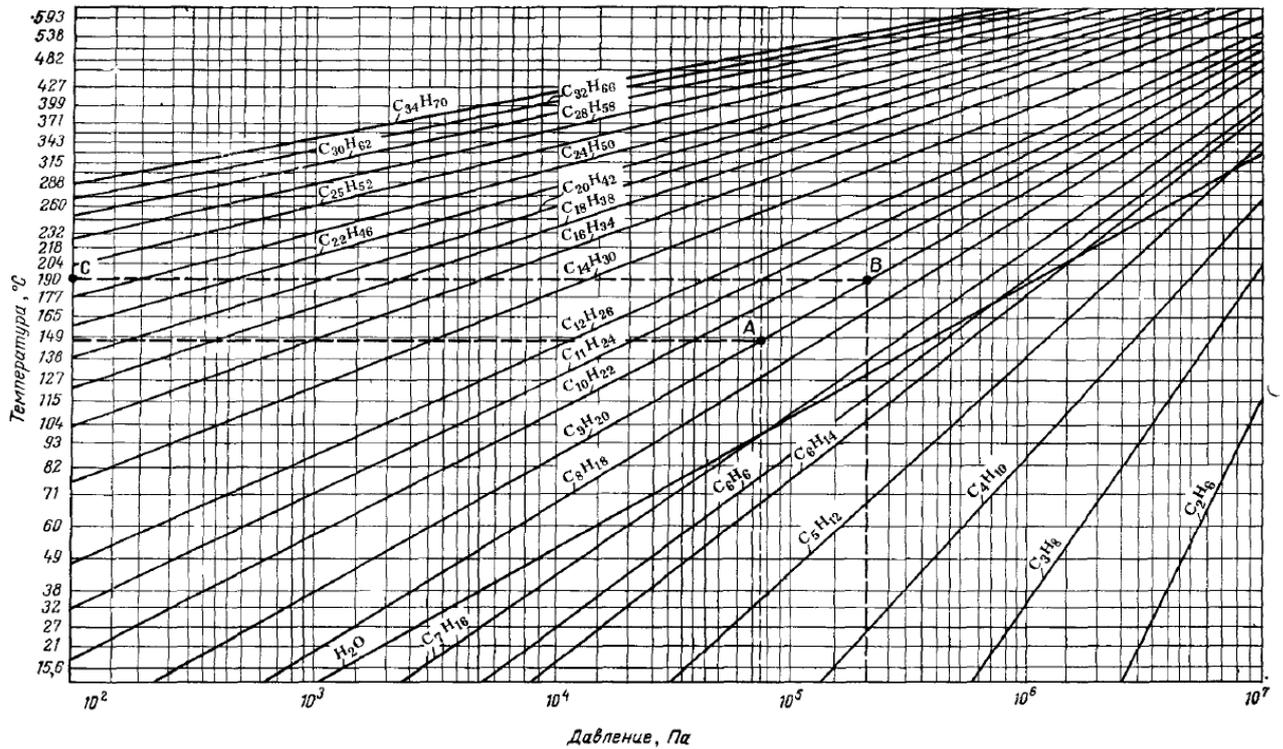


Рисунок 1 – Номограмма (график Кокса) для определения давления насыщенных паров углеводородов и воды при различных температурах

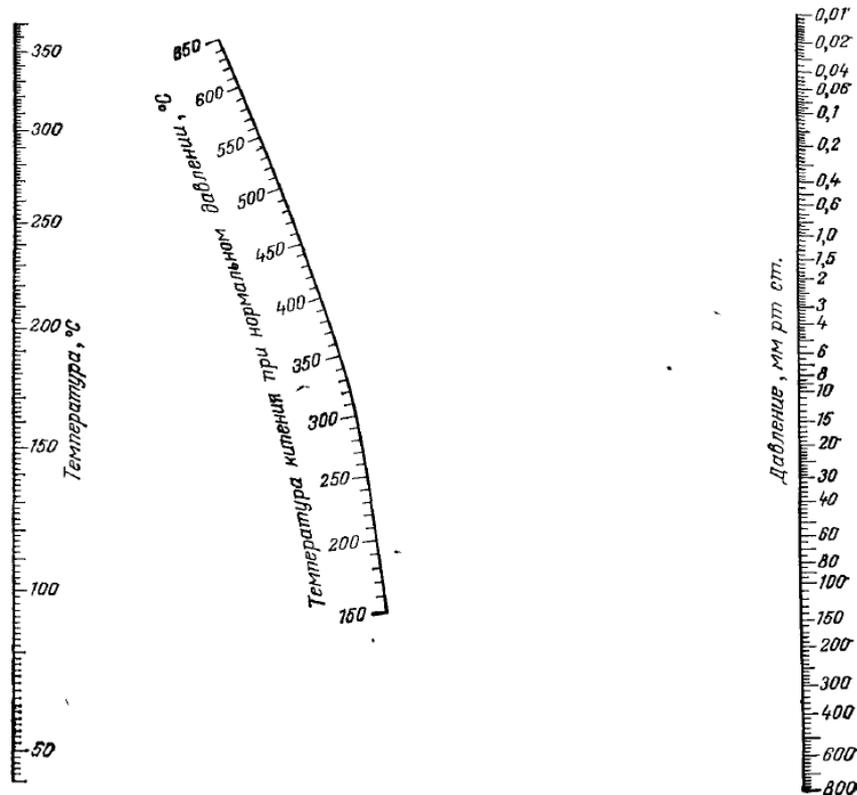


Рисунок 2 – Номограмма для определения температуры кипения нефтепродуктов в зависимости от давления

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача №1. Узкая нефтяная фракция при атмосферном давлении имеет среднюю температуру кипения 149°C . Какова температура кипения этой фракции при $266,6 \text{ кПа}$?

Решение.

По номограмме (рис. 1) на оси координат находят точку, соответствующую температуре 149°C , и из этой точки проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с вертикальной линией, отвечающей давлению $101,3 \text{ кПа}$. Получают точку А, которая легла на искомый луч. Затем от точки, соответствующей давлению $266,6 \text{ кПа}$, проводят вертикаль до пересечения с найденным лучом в точке В. Из точки В проводят горизонтальную линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения со шкалой температур в точке С. Эта точка дает значение искомой температуры кипения, равной 190°C .

Задача №2. При разгонке мазута из колбы Кляйзена температура паров в момент замера была равна 150°C , а остаточное давление $0,266 \text{ кПа}$. Какова температура паров при атмосферном давлении?

Решение.

Используют номограмму (рис. 2). На левой шкале номограммы отмечают температуру 150°C , на правой шкале – давление $0,266\text{ кПа}$ ($1\text{ мм рт. ст.} = 0,133\text{ кПа}$). Эти точки соединяют прямой и в точке пересечения со шкалой «температура кипения при нормальном давлении» находят значение искомой температуры, равное 330°C .

Для подсчета давления насыщенных паров узких нефтяных фракций при низких давлениях пользуются формулой Ашворта:

$$\lg(P - 3158) = 7,6715 - \frac{2,68f(T)}{f(T_0)}, \quad (1)$$

где P – давление насыщенных паров, Па;

T – соответствующая температура, $^{\circ}\text{K}$;

T_0 – температура кипения фракции при атмосферном давлении, $^{\circ}\text{K}$;

$f(T)$ – функция температуры T , выражаемая уравнением

$$f(T) = \frac{1250}{\sqrt[2]{T^2 + 108000} - 307,6} - 1. \quad (2)$$

Функцию $f(T_0)$ определяют аналогично. Значения функции для различных температур (T и T_0) приведены в таблице.

Задача №3. Узкая нефтяная фракция при атмосферном давлении имеет среднюю температуру кипения 170°C . Определить давление насыщенных паров этой фракции при 260°C .

Решение.

Для решения задачи используем формулу Ашворта (1). По таблице найдем значения $f(T_0)$ для температуры 170°C и $f(T)$ для температуры 260°C : $f(T_0) = 4,124$; $f(T) = 2,924$.

Значения $f(T)$

| Температура, $^{\circ}\text{C}$ | $f(T)$ | Температура, $^{\circ}\text{C}$ | $f(T)$ | Температура, $^{\circ}\text{C}$ | $f(T)$ | Температура, $^{\circ}\text{C}$ | $f(T)$ |
|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| -40 | 12,122 | 100 | 5,595 | 240 | 3,144 | 380 | 1,952 |
| -30 | 11,363 | 110 | 5,343 | 250 | 3,031 | 390 | 1,891 |
| -20 | 10,699 | 120 | 5,107 | 260 | 2,924 | 400 | 1,832 |
| -10 | 10,031 | 130 | 4,885 | 270 | 2,821 | 410 | 1,776 |
| 0 | 9,448 | 140 | 4,677 | 280 | 2,724 | 420 | 1,721 |
| 10 | 8,914 | 150 | 4,480 | 290 | 2,630 | 430 | 1,668 |
| 20 | 8,421 | 160 | 4,297 | 300 | 2,542 | 440 | 1,618 |
| 30 | 7,967 | 170 | 4,124 | 310 | 2,456 | 450 | 1,569 |
| 40 | 7,548 | 180 | 3,959 | 320 | 2,375 | 460 | 1,521 |
| 50 | 7,160 | 190 | 3,804 | 330 | 2,297 | 470 | 1,476 |
| 60 | 6,800 | 200 | 3,658 | 340 | 2,222 | 480 | 1,432 |

| | | | | | | | |
|----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 70 | 6,660 | 210 | 3,519 | 350 | 2,150 | 490 | 1,339 |
| 80 | 6,155 | 220 | 3,387 | 360 | 2,082 | 500 | 1,348 |
| 90 | 5,866 | 230 | 3,263 | 370 | 2,005 | - | - |

Подставим эти величины в (1):

$$\lg(P - 3158) = 7,6715 - \frac{2,68 \cdot 2,924}{4,124};$$

$$\lg(P - 3158) = 5,7715.$$

По таблицам антилогарифмов найдем значение этого числа, получим:

$$P - 3158 = 590900.$$

$$P = 590900 + 3158 = 594058 \text{ Па.}$$

Давление насыщенных паров данной фракции при 260°C $P = 594058$ Па.

На давление насыщенных паров оказывает влияние фракционный состав, отношения объемов паров и жидкости в рабочем баллоне, температура. При низких температурах и температурах, близких к начальной температуре кипения фракции, формула Ашворта дает несколько заниженные значения давления насыщенных паров.

Для определения давления насыщенных паров светлых нефтепродуктов и их узких фракций предложена формула

$$P_{з8} = 6 + 23,3\Delta_{фр}, \text{ кПа.}$$

Для товарных бензинов $\Delta_{фр} = 1,5 - 2,5$.

Эта формула дает возможность определить давление насыщенных паров светлых нефтепродуктов, используя характерные температуры кипения.

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Бензиновая фракция выкипает при атмосферном давлении в пределах $56-310^\circ\text{C}$. Определить давление насыщенных паров фракции при 190°C .

2. Узкая нефтяная фракция при атмосферном давлении имеет среднюю температуру кипения 100°C . Определить давление насыщенных паров этой фракции при 250°C .

3. Нефтяная фракция имеет при атмосферном давлении среднюю температуру кипения 165°C . Определить давление насыщенных паров данной фракции при 266°C .

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Определение вязкости нефтепродуктов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения вязкости (внутреннего трения) нефтепродуктов под действием внешних силовых факторов.

Задачи работы заключаются в определении физических характеристик нефти, таких как кинематическая вязкость, показатель степени Освальда, коэффициент консистенции жидкости, предельное напряжение сдвига.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации

2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одной из наиболее характерных особенностей жидкостей является способность изменять свою форму, под действием внешних сил. Вязкостью или внутренним трением называют свойство жидкости сопротивляться взаимному перемещению ее частиц, вызываемому действием приложенной к жидкости силы.

Вязкость нефтепродукта одна из наиболее важных характеристик, т.к. от нее в значительной степени зависит гидравлическое сопротивление трубопроводов.

Различают следующие виды вязкости:

динамическая вязкость;

удельная вязкость;

кинематическая вязкость.

Динамическая вязкость – внутреннее трение, характеризуемое величиной η :

$$\eta = \frac{\pi Pr^2 \tau}{8VL}. \quad (1)$$

Единицей динамической вязкости в системе СИ является Н·с/м² или Па·с.

Удельная вязкость – вязкость, показывающая, во сколько раз динамическая вязкость данной жидкости больше или меньше динамической вязкости воды при какой-то условно выбранной температуре.

В технических расчетах чаще всего используют кинематическую вязкость ν , которая представляет собой отношение динамической вязкости η к плотности жидкости при той же температуре

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (2)$$

Единица измерения кинематической вязкости 1сСт или см²/с.

Вязкость нефти и нефтепродуктов зависит от температуры, увеличиваясь с ее понижением. Наибольшее применение для практических расчетов получила формула Рейнольдса-Филонова и формула Вольтера:

$$\nu = \nu^* e^{U(T-T_{ж})};$$

$$U = \frac{1}{T_1 - T_2} \ln \frac{\nu_1}{\nu_2}, \quad (3)$$

где U – коэффициент крутизны вискограммы, 1/К;

ν^* – кинематическая вязкость при известной (произвольной) температуре T^* .

$$\lg \lg(\nu + 0,8) = a + b \lg T \quad (4)$$

где ν – кинематическая вязкость, мм²/с;

T – абсолютная температура, К;

a и b – эмпирические коэффициенты, которые находятся по формулам:

$$\begin{aligned} a &= \lg \lg(v_1 + 0,8) - b \lg T_1; \\ b &= \frac{\lg[\lg(v_1 + 0,8)/\lg(v_2 + 0,8)]}{\lg \frac{T_1}{T_2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения постоянных a и b необходимо знать величины кинематической вязкости v_1 и v_2 при абсолютных температурах T_1 и T_2 соответственно.

При температурах, близких к температурам застывания, высокопарафинистые нефтепродукты проявляют неньютоновские свойства, поэтому для определения их кинематической вязкости вышеперечисленные зависимости непригодны. Но т.к. в большинстве случаев рабочие диапазоны температур принимаются значительно выше температур застывания, то нефтепродукты в этих условиях ведут себя как ньютоновские жидкости и поэтому применение вышеприведенных зависимостей правомерно.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Рассчитать кинематическую вязкость ромашкинской нефти при температуре 275°К.

Решение.

Поскольку расчетная температура 275°К выходит за пределы температурного интервала, в котором известна вязкость ромашкинской нефти, то произведем расчет вязкости по (4).

При $T_1 = 283$ °К $v_1 = 30,7$ мм²/с, а при $T_2 = 293$ °К $v_2 = 14,2$ мм²/с.

Величины эмпирических коэффициентов рассчитаем по (5):

$$b = \frac{\lg \left[\frac{\lg(30,7 + 0,8)}{\lg(14,2 + 0,8)} \right]}{\lg \frac{283}{293}} = -6,97.$$

$$a = \lg \lg(30,7 + 0,8) - 6,97 \lg 283 = 17,27.$$

Кинематическая вязкость ромашкинской нефти при температуре 275°К равна:

$$\lg \lg(v + 0,8) - 6,97 \lg 275 = 17,27;$$

$$\lg(v + 0,8) = 1,853;$$

$$v + 0,8 = 71,3 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}};$$

$$v = 71,3 - 0,8 = 70,5 \frac{\text{мм}^2}{\text{с}}.$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Для определения вязкости машинного масла ($\rho_1 = 850 \text{ кг/м}^3$) в него опустили цинковую дробинку ($d = 1 \text{ мм}$, $\rho_2 = 7130 \text{ кг/м}^3$), которая падая очень медленно и с постоянной скоростью, опустилась на 30 см за 5 с. Найти кинематическую вязкость масла. Ответ: 67,1 сСт.

2. Для определения вязкости нефти ($\rho = 870 \text{ кг/м}^3$) ее прокачивают по горизонтальному капилляру ($l = 70 \text{ см}$, $d = 1 \text{ мм}$). При этом оказалось, что при расходе нефти $0,1 \text{ см}^3/\text{с}$ перепад давлений между концами капилляра равен 50 кПа. Какова кинематическая вязкость нефти?

Ответ: 20,1 сСт.

3. При перекачке парафинистой нефти по капиллярной трубке ($l = 50 \text{ см}$, $d = 2 \text{ мм}$) оказалось, что при расходе $5 \text{ см}^3/\text{с}$ перепад давлений между концами трубы равен 29,33 кПа, а при расходе $10 \text{ см}^3/\text{с}$ – 52,86 кПа. Считая, что рассматриваемая нефть моделируется степенным законом Освальда, установить показатель степени в этом законе и коэффициент консистентности жидкости.

Ответ: $n = 0,85$; $k = 0,033 \text{ кг}^{1/n} \text{ м}^{-1/n} \text{ с}^{1-2/n}$

4. Эксперименты показали, что парафинистая нефть имеет предельное напряжение сдвига, и ее свойства могут быть описаны в рамках модели бингамовского пластика. Найти предельное напряжение сдвига, если для движения жидкости с расходом $3 \text{ см}^3/\text{с}$ в горизонтальной трубке ($l = 50 \text{ см}$, $d = 51 \text{ мм}$) необходим перепад давлений 150 кПа, а для движения с расходом $5 \text{ см}^3/\text{с}$ в той же трубке необходимый перепад давлений увеличивается до 200 кПа.

Ответ: 200 Па.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Определение естественной убыли нефтепродуктов при их хранении

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения потерь нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении.

Задачи работы заключаются в определении естественной убыли нефтепродуктов при хранении в резервуарах.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

2.1. Теоретические основы метода расчета

2.2. Выдача задания на практическую работу

- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Транспортировка и хранение нефти и нефтепродуктов сопровождаются их потерями.

Под нормой естественной убыли понимается допустимая величина безвозвратных потерь нефти (нефтепродуктов), происходящих непосредственно при товарно-транспортных операциях, вследствие сопровождающих их физических процессов, а также потерь, неизбежных на данном уровне состояния применяемого технологического оборудования (потерь от испарения, налипания, через уплотнения насосов и задвижек, и т.д.). В нормы естественной убыли не включаются потери нефти (нефтепродуктов), связанные с зачисткой резервуаров и транспортных емкостей, с ремонтом трубопроводов и арматуры, все виды аварийных потерь, а также потери при внутрискладских перекачках.

Для применения норм естественной убыли нефти и нефтепродуктов территория разделена на климатические зоны и пояса. Нормы естественной убыли установлены для двух периодов года:

- осенне-зимнего (с 1 октября по 31 марта);
- весенне-летнего (с 1 апреля по 30 сентября),

а также в зависимости от типа и вместимости резервуаров и их оснащенности средствами защиты от потерь (понтон, газовая обвязка).

Нормы естественной убыли не распространяются на нефтепродукты, принимаемые и сдаваемые по счету (фасованные продукты), транспортируемые или хранящиеся в герметичной таре (запаянные, с применением герметиков, уплотнений и др.), а также хранящиеся в резервуарах повышенного давления.

Естественная убыль нефтепродуктов на нефтебазах и АЗС определяется как сумма их естественной убыли при заполнении емкостей и при последующем хранении.

Основные формулы расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные формулы

| Источник потерь | Виды потерь | | Суммарные потери $G_H \approx G_x$ | № формулы |
|---------------------|----------------|---|---|-----------|
| | при заполнении | при хранении | | |
| Резервуары нефтебаз | $p_1 G_1$ | $\left[p_2 + p_3 \left(\frac{M}{n} - 1 \right) \right] G_x$ | $\left[p_1 + p_2 + p_3 \left(\frac{M}{n} - 1 \right) \right] G_x$ | 1 |

| | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| Резервуары баз длительного хранения | - | $[p_{2д} + p_{3д}(M_d - 12)]G_x$ | $[p_{2д} + p_{3д}(M_d - 12)]G_x$ | 2 |
| Резервуары АЗС и пунктов заправки | Не дифференцируются | | $p_{АЗС}G$ | 3 |
| Земляные амбары | Не дифференцируются | | $p_{АМ}FM_x$ | 4 |

В формулах (1)-(4) приняты следующие обозначения:

G_n , G_x – количество соответственно наливаемого и хранимого нефтепродукта в течение года, т/год;

G – грузооборот по нефтепродукту, т/год;

p_1 – норматив естественной убыли нефтепродуктов при приеме в резервуары нефтебаз, кг/т (табл. 2, 4);

p_2 – норматив естественной убыли нефтепродуктов при хранении в резервуарах до 1 месяца, кг/т (табл. 3, 4);

p_3 – норматив естественной убыли нефтепродуктов при хранении в резервуарах свыше 1 месяца, кг/(т·мес.) (табл. 5);

M – количество месяцев в рассматриваемом календарном периоде, мес.;

n – коэффициент оборачиваемости резервуаров, 1/год;

$p_{2д}$ – норматив естественной убыли нефтепродуктов при приеме, отпуске и хранении в первый год длительного хранения, кг/т (табл. 6);

$p_{3д}$ – норматив естественной убыли нефтепродуктов при хранении свыше 1 года (длительное хранение), кг/(т·мес.) (табл. 7);

M_d – количество месяцев длительного хранения нефтепродуктов, мес.;

$p_{АЗС}$ – норматив естественной убыли нефтепродуктов при приеме, отпуске и хранении на АЗС и пунктах налива, кг/т (табл. 8);

$p_{АМ}$ – норматив естественной убыли мазута при приеме, отпуске и хранении в открытых земляных амбарах, кг/(мес·м²) (табл. 9);

F – площадь поверхности испарения в амбаре, м²;

M_x – количество месяцев хранения мазута в амбаре, мес.

Естественная убыль нефтепродуктов при приеме определяется умножением естественной нормы (табл. 2), выраженной в кг/т, (табл. 2, 4) на массу принятого нефтепродукта в резервуар в тоннах.

При приеме подогретых нефтепродуктов естественная убыль начисляется в зависимости от температуры его подогрева:

при подогреве от температуры 11 до 20°С в осенне-зимний период соответствующая норма осенне-зимнего периода увеличивается в 1,5 раза;

независимо от периода года естественная убыль начисляется по нормам весенне-летнего периода, увеличенным в 1,5 раза, при подогреве нефтепродуктов от 21 до 30°С, в 2 раза – при подогреве от 31 до 50°С и в 3 раза – при подогреве свыше 50°С.

| | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | д | д | д | д | д | д | д | д |
| наземные стальные вместимостью | | | | | | | | | |
| до 400 м ³ | 1 | 0,22 | 0,37 | 0,24 | 0,41 | 0,30 | 0,49 | 0,32 | 0,53 |
| | 2 | 0,20 | 0,36 | 0,22 | 0,39 | 0,22 | 0,47 | 0,29 | 0,52 |
| 700 – 1000 м ³ | 1 | 0,20 | 0,36 | 0,23 | 0,40 | 0,30 | 0,46 | 0,31 | 0,52 |
| | 2 | 0,18 | 0,33 | 0,21 | 0,38 | 0,21 | 0,43 | 0,25 | 0,43 |
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,12 | 0,21 | 0,17 | 0,25 | 0,17 | 0,27 | 0,19 | 0,28 |
| | 2 | 0,12 | 0,21 | 0,17 | 0,25 | 0,17 | 0,27 | 0,19 | 0,28 |
| наземные стальные с понтоном вместимостью | | | | | | | | | |
| до 400 м ³ | 1 | 0,14 | 0,31 | 0,20 | 0,36 | 0,20 | 0,42 | 0,20 | 0,42 |
| | 2 | 0,12 | 0,31 | 0,15 | 0,34 | 0,15 | 0,42 | 0,20 | 0,42 |
| 700 – 1000 м ³ | 1 | 0,08 | 0,23 | 0,20 | 0,34 | 0,20 | 0,37 | 0,20 | 0,37 |
| | 2 | 0,07 | 0,23 | 0,15 | 0,29 | 0,1 | 0,14 | 0,06 | 0,18 |
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,18 |
| | 2 | 0,05 | 0,11 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,14 |
| наземные стальные, имеющие газовую обвязку, вместимостью | | | | | | | | | |
| до 1000 м ³ | 1 | 0,12 | 0,20 | 0,12 | 0,20 | 0,13 | 0,27 | 0,13 | 0,30 |
| | 2 | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,17 | 0,12 | 0,18 | 0,13 | 0,19 |
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,11 | 0,20 | 0,11 | 0,20 | 0,12 | 0,27 | 0,13 | 0,15 |
| | 2 | 0,10 | 0,13 | 0,10 | 0,17 | 0,11 | 0,18 | 0,13 | 0,14 |

Таблица 3 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов 1 и 2 групп при хранении в резервуарах до одного месяца (кг/1 т хранимого продукта в месяц)

| Тип резервуаров | Группа нефтепродуктов | Климатические зоны | | | | | | | |
|--|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | осенне-зимний период | весенне-летний период |
| наземные стальные вместимостью | | | | | | | | | |
| до 400 м ³ | 1 | 0,23 | 0,66 | 0,32 | 0,90 | 0,39 | 1,11 | 0,50 | 1,49 |
| | 2 | 0,17 | 0,64 | 0,27 | 0,84 | 0,37 | 1,07 | 0,48 | 1,22 |
| 700 – 1000 м ³ | 1 | 0,16 | 0,65 | 0,28 | 0,88 | 0,32 | 1,05 | 0,39 | 1,34 |
| | 2 | 0,15 | 0,63 | 0,23 | 0,79 | 0,31 | 0,91 | 0,32 | 0,91 |
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,13 | 0,34 | 0,14 | 0,45 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,56 |
| | 2 | 0,13 | 0,34 | 0,14 | 0,42 | 0,15 | 0,48 | 0,16 | 0,56 |
| наземные стальные с понтоном вместимостью | | | | | | | | | |
| до 400 м ³ | 1 | 0,07 | 0,15 | 0,07 | 0,21 | 0,08 | 0,28 | 0,08 | 0,37 |
| | 2 | 0,05 | 0,14 | 0,06 | 0,18 | 0,06 | 0,22 | 0,08 | 0,33 |
| 700 – 1000 м ³ | 1 | 0,05 | 0,14 | 0,05 | 0,20 | 0,08 | 0,27 | 0,07 | 0,33 |
| | 2 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,13 | 0,06 | 0,21 | 0,07 | 0,29 |

| | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,10 | 0,05 | 0,11 | 0,05 | 0,16 |
| | 2 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,09 | 0,05 | 0,11 | 0,05 | 0,16 |
| наземные стальные, имеющие газовую обвязку, вместимостью | | | | | | | | | |
| до 1000 м ³ | 1 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,26 | 0,10 | 0,32 | 0,14 | 0,35 |
| | 2 | 0,06 | 0,20 | 0,08 | 0,25 | 0,08 | 0,36 | 0,14 | 0,28 |
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,10 | 0,19 | 0,10 | 0,26 | 0,10 | 0,28 | 0,12 | 0,28 |
| | 2 | 0,05 | 0,19 | 0,08 | 0,21 | 0,08 | 0,24 | 0,12 | 0,25 |

Таблица 4 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов 3, 4, 5, 6 групп при приеме и хранении до одного месяца (в кг/1 т принятого количества)

| Тип резервуаров | Группа нефтепродуктов | Климатические зоны | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период |
| Наземные стальные | 3 | 0,08 | 0,15 | 0,11 | 0,18 | 0,12 | 0,20 | 0,10 | 0,22 |
| | 4 | 0,08 | 0,11 | 0,08 | 0,12 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,14 |
| | 5 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | 6 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Заглубленные | 3 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,12 | 0,07 | 0,14 |
| | 4 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 |
| | 5 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 6 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Таблица 5 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов при хранении в резервуарах свыше одного месяца (в кг/1 т хранимого продукта в месяце)

| Тип резервуаров | Группа нефтепродуктов | Климатические зоны | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период |
| наземные стальные вместимостью | | | | | | | | | |
| до 400 м ³ | 1 | 0,09 | 0,43 | 0,09 | 0,59 | 0,28 | 0,83 | 0,29 | 0,86 |
| | 2 | 0,09 | 0,26 | 0,09 | 0,43 | 0,17 | 0,62 | 0,18 | 0,63 |
| | 3 | – | 0,05 | – | 0,05 | – | 0,08 | – | 0,10 |
| | 4 | – | – | – | – | – | 0,5 | – | 0,05 |
| 700 – 1000 м ³ | 1 | 0,09 | 0,41 | 0,09 | 0,57 | 0,27 | 0,80 | 0,28 | 0,82 |
| | 2 | 0,09 | 0,25 | 0,09 | 0,42 | 0,16 | 0,59 | 0,17 | 0,61 |
| | 3 | – | 0,05 | – | 0,05 | – | 0,08 | – | 0,10 |
| | 4 | – | – | – | – | – | 0,05 | – | 0,05 |
| 2000 м ³ и более | 1 | 0,05 | 0,24 | 0,09 | 0,37 | 0,13 | 0,46 | 0,14 | 0,52 |
| | 2 | 0,05 | 0,18 | 0,05 | 0,26 | 0,09 | 0,38 | 0,09 | 0,40 |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3 | – | 0,05 | – | 0,05 | – | 0,05 | – | 0,05 |
| | 4 | – | – | – | – | – | 0,05 | – | 0,05 |
| Наземные стальные | 1 | – | 0,10 | – | 0,15 | 0,05 | 0,19 | 0,05 | 0,20 |
| | 2 | – | 0,09 | – | 0,10 | 0,04 | 0,13 | 0,05 | 0,14 |
| Заглублен ные | 1 | – | 0,10 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| | 2 | – | 0,10 | – | 0,10 | 0,05 | 0,10 | 0,05 | 0,10 |
| | 3 | – | – | – | – | – | 0,05 | – | 0,05 |

Таблица 6 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов при приеме, отпуске и хранении в первый год длительного хранения (кг/1 т принятого количества)

| Тип резервуаров | Группа нефтепродуктов | Климатические зоны | | | | | |
|--|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | осенне - зимний период | весенне - летний период | осенне - зимний период | весенне - летний период | осенне - зимний период | весенне - летний период |
| Наземные металлические с нормой загрузки 95 % и выше | 1 | 4,000 | 4,400 | 2,600 | 3,000 | 2,490 | 2,800 |
| | 2 | 3,100 | 3,460 | 2,320 | 2,620 | 1,630 | 1,970 |
| | 3 | 0,570 | 0,670 | 0,448 | 0,524 | 0,370 | 0,466 |
| | 4 | 0,252 | 0,324 | 0,183 | 0,233 | 0,180 | 0,214 |
| | 5 | 0,190 | 0,190 | 0,110 | 0,110 | 0,100 | 0,100 |
| | 6 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,240 |
| Наземные металлические с нормой загрузки менее 95 % | 1 | 4,000 | 4,400 | 2,700 | 3,050 | 2,490 | 2,800 |
| | 2 | 0,570 | 0,670 | 0,520 | 0,600 | 0,390 | 0,490 |
| | 3 | 0,280 | 0,360 | 0,209 | 0,257 | 0,190 | 0,228 |
| | 4 | 0,190 | 0,190 | 0,120 | 0,120 | 0,100 | 0,100 |
| Заглубленные | 1 | 2,200 | 2,420 | 1,368 | 2,172 | 1,040 | 1,810 |
| | 4 | 0,497 | 0,682 | 0,310 | 0,353 | 0,188 | 0,280 |
| | 5 | 0,122 | 0,160 | 0,080 | 0,110 | 0,064 | 0,082 |
| | 6 | 0,360 | 0,360 | 0,360 | 0,360 | 0,360 | 0,360 |

Таблица 7 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов при хранении свыше одного года (длительное хранение), кг/т

| Тип резервуаров | Группа нефтепродуктов | Климатические зоны | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | |
| | | осенне - зимний период | весенне - летний период | осенне - зимний период | весенне - летний период | осенне - зимний период | весенне - летний период |
| Наземные металлические с нормой загрузки 95 % | 1 | 0,130 | 0,450 | 0,050 | 0,280 | 0,040 | 0,180 |
| | 2 | 0,080 | 0,250 | 0,040 | 0,180 | 0,030 | 0,140 |
| | 3 | 0,010 | 0,040 | – | 0,019 | – | 0,019 |
| | 4 | – | 0,019 | – | 0,009 | – | 0,009 |

| | | | | | | | | |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| и выше | | | | | | | | |
| Наземные металлически е с нормой загрузки менее 95 % | 1 | 0,130 | 0,450 | 0,060 | 0,300 | 0,040 | 0,180 | |
| | 3 | 0,010 | 0,040 | – | 0,019 | – | 0,019 | |
| | 4 | – | 0,019 | – | 0,010 | – | 0,010 | |
| Заглубленные | 1 | 0,060 | 0,100 | 0,009 | 0,049 | 0,010 | 0,030 | |
| | 4 | – | 0,018 | – | 0,10 | – | 0,009 | |

Таблица 8 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске на АЗС и пунктах заправки (в кг/т принятого нефтепродукта)

| Тип резервуаров | Группа нефтепродуктов | Климатические зоны | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период | осенний период | весенний период |
| Наземные стальные | 1 | 0,08 | 0,60 | 0,54 | 0,99 | 0,72 | 1,05 | 0,74 | 1,25 |
| | 5 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | 6 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Наземные стальные с понтоном | 1 | 0,15 | 0,30 | 0,27 | 0,40 | 0,40 | 0,56 | 0,41 | 0,62 |
| Заглубленные | 1 | 0,23 | 0,30 | 0,36 | 0,40 | 0,48 | 0,56 | 0,49 | 0,68 |
| | 5 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | 6 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Таблица 9 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов при приеме, хранении, отпуске в открытых земляных амбарах (в кг/1 м² поверхности испарения нефтепродукта в месяц)

| Климатические зоны | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| осенне-зимний период | весенне-летний период |
| 1,44 | 2,16 | 1,84 | 2,56 | 2,16 | 2,88 | 2,16 | 2,88 |

Таблица 10 – Нормы естественной убыли нефтепродуктов 7 группы (в кг/1 т принятого или отпущенного количества)

| Вид операций | Климатические зоны | | | |
|--------------|--------------------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Прием | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Отпуск | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить естественную убыль автобензина из резервуара РВС 2 000 в осенне-зимний период. Коэффициент оборачиваемости резервуара равен 15 1/год. Нефтебаза расположена в 1-ой климатической зоне. Грузооборот резервуара по бензину составляет 22500 т.

Решение.

1. По таблицам находим соответствующие нормативы естественной убыли: $p_1 = 0,12$ кг/т; $p_2 = 0,13$ кг/т; $p_3 = 0,05$ кг/(т·мес.).

2. Вычисляем искомую величину естественной убыли по формулам (табл. 1)

$$У = (0,12 + 0,13 + 0,05 \cdot 0) 22\ 500 = 5\ 625 \text{ кг} .$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить естественную убыль при хранении в резервуаре РВС 5000 3700 т автобензина с 1 октября 1991 г. по 31 марта 1993 г. Резервуар размещен во 2-ой климатической зоне. Среднегодовая плотность бензина 750 кг/м³.

2. Определить естественную убыль автобензина из заглубленных резервуаров АЗС, размещенной в 3-й климатической зоне. Масса принятого и реализованного нефтепродукта составляет в весенне-летний период $G_{в-л} = 1000$ т, в осенне-зимний $G^{o-3} = 500$ т.

3. Определить естественную убыль мазута при приеме, отпуске и хранении в земляном амбаре с 1 октября по 31 марта во 2-ой климатической зоне. Площадь поверхности испарения равна 80 м², из которых 50 % закрыта листами шифера.

4. Определить естественную убыль твердых нефтепродуктов при их приеме в количестве 40 т на нефтебазу, расположенную в 4-ой климатической зоне.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной

записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. Определение вместимости резервуарных парков нефтебаз

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения вместимости резервуарных парков нефтебаз на основании графиков поступления и отгрузки нефтепродуктов.

Задачи работы заключаются в определении полезного объема и вместимости резервуарного парка распределительной железнодорожной и автомобильной нефтебазы.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Наиболее точно вместимость резервуарного парка нефтебазы определяется по графикам поступления и отгрузки нефтепродуктов, составленным на основании фактических данных за 2 – 3 года, с учетом страхового запаса. Для каждого сорта нефтепродукта необходимый объем резервуаров находится как:

$$V_i = \frac{Q_i^{\text{год}}}{100} (\Delta V_{\max i} - \Delta V_{\min i} + \Delta V_i^{\text{СТ}}), \quad (1)$$

где Q_i – годовая реализация i -го нефтепродукта, м³;

$\Delta V_{\max i}$, $\Delta V_{\min i}$ – соответственно максимальный и минимальный суммарные остатки i -го нефтепродукта, наблюдавшиеся за год, %;

$\Delta V_i^{\text{СТ}}$ – величина страхового запаса i -го нефтепродукта, %.

Рекомендуемые нормы страхового запаса для распределительных нефтебаз в зависимости от географического положения и надежности транспортных связей следует принимать в процентах от среднемесячной потребности нефтепродуктов по табл. 6.17.

Таблица 1 – Нормы страхового запаса

| Тип нефтебаз | Ее местоположение | Норма запаса, % |
|--|--|-----------------|
| Железнодорожные, водные (речные) | Южнее 60° северной широты в европейской части страны | до 20 |
| Железнодорожные, водные (речные) | Южнее 60° северной широты в европейской части страны | до 50 |
| Водные (речные) с поступлением нефтепродукта только в навигационный период | – | до 50* |
| Примечание. * Вычисляется от среднемесячной потребности в межнавигационный период | | |

Для трубопроводных нефтебаз и нефтебаз с реализацией менее 1000 т/год страховой запас не устанавливается.

При отсутствии графиков поступления и отгрузки нефтепродуктов необходимый полезный объем резервуарного парка для каждого вида нефтепродукта может быть вычислен по следующим формулам:

для распределительных ж.-д. нефтебаз –

$$V_i = \frac{Q_i T_{\text{ц}} K_{\text{НЗ}} K_{\text{НВ}}}{30} \left(1 + \frac{\Delta V_i^{\text{CT}}}{100} \right); \quad (2)$$

для водных (речных) перевалочных и распределительных нефтебаз –

$$V_i = 1,15 Q_i K_{\text{НВ}} \left(1 + \frac{\Delta V_i^{\text{cm}}}{100} \right); \quad (3)$$

для трубопроводных нефтебаз –

$$V_i = 1,1 \frac{Q_i^{\text{OT}} K_{\text{НВ}}}{N_i} \left(1 - \frac{Q_i^{\text{OT}}}{8760 q_{\text{max}}} \right), \quad (4)$$

где Q_i – среднемесячное потребление i -го нефтепродукта, м³;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность транспортного цикла поставки нефтепродукта, сутки (табл. 2);

$K_{\text{НЗ}}$ – коэффициент неравномерности подачи цистерн с нефтепродуктом, $K_{\text{НЗ}} = 1,1 \dots 1,3$;

$K_{\text{НВ}}$ – коэффициент неравномерности потребления нефтепродуктов (табл. 3);

Q_i^{om} – объем i -го нефтепродукта, отбираемого по отводу, м³/год;

N_i – годовое число циклов, с которым работает отвод;

q_{\max} – максимальный из возможных расходов нефтепродукта в отводе, м³/час.

Таблица 2 – Зависимость продолжительности транспортного цикла от удаленности поставщика

| | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Расстояние до поставщика, км | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1600 | 2000 | 2600 |
| $T_{ц}$, сутки | 7 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 17 | 20 |

Таблица 3 – Величина коэффициента неравномерности потребления нефтепродуктов

| Характеристика районов потребления | $K_{нв}$ | |
|------------------------------------|------------------|---------------|
| | Все виды топлива | Масла, смазки |
| Промышленные города | 1,0 | 1,3 |
| Промышленные районы | 1,1 | 1,5 |
| Промышленность потребляет 70 % | 1,2 | 1,8 |
| Промышленность потребляет 30 % | 1,5 | 2,0 |
| Сельскохозяйственные районы | 1,7 | 2,5 |

Необходимая вместимость резервуаров нефтебаз для i -го нефтепродукта определяется по формуле:

$$V_{pi} = \frac{V_i}{\eta_p}$$

Емкость и число резервуаров в составе резервуарного парка нефтебазы должны определяться с учетом:

коэффициента использования емкости резервуара;
однотипности по конструкции к единичной вместимости резервуаров;
грузоподъемности железнодорожных маршрутов, отдельных цистерн, а также наливных судов, занятых на перевозках нефтепродуктов;
необходимой оперативности нефтебазы при заданных условиях эксплуатации и возможности своевременного ремонта резервуаров.

Под каждый сорт нефтепродукта должно предусматриваться не менее двух резервуаров за исключением следующих случаев:

операции приема и отпуска не совпадают по времени;
среднегодовой коэффициент оборачиваемости резервуара менее 3-х;
резервуар используется как промежуточная буферная емкость, в которой замер количества нефтепродукта не производится.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить вместимость резервуарного парка нефтебазы по бензину А-76 при заданном графике поступления и отгрузки (в процентах от годовой реализации).

| Показатели | Их величина | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|-------|
| | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | всего |
| Поступление | 14 | 13 | 11 | 7 | 4 | 3 | 3 | 7 | 9 | 9 | 10 | 10 | 100 |
| Отгрузка | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 | 13 | 15 | 13 | 12 | 10 | 6 | 4 | 100 |

Среднемесячное потребление бензина 1000 м^3 . Нефтебаза расположена в Волгоградской области.

Решение.

1. Рассчитываем месячные остатки и их сумму нарастающим итогом

| Показатели | Их величина | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|--|
| | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | |
| Месячный остаток | 11 | 9 | 6 | 0 | -4 | -10 | -12 | -6 | -3 | -1 | 4 | 6 | |
| Сумма месячных остатков | 11 | 20 | 26 | 26 | 22 | 12 | 0 | -6 | -9 | -10 | -6 | 0 | |

2. Величину страхового запаса бензина принимаем в размере 10 % от среднемесячного потребления, т.е. $\Delta V_i^{\text{СТ}} = 10 \%$.

3. Учитывая, что $\Delta V_{\text{max}} = 26 \%$, а $\Delta V_{\text{min}} = -10 \%$, находим необходимый полезный объем резервуаров по формуле

$$V_i = \frac{12000}{100} \cdot [26 - (-10) + 10] = 5520 \text{ м}^3.$$

4. Т.к. под каждый нефтепродукт должно быть не менее 2-х емкостей, то на нефтебазе будут установлены резервуары объемом не менее 5000 м^3 с понтоном, для которого находим величину $\eta_p = 0,81$.

5. Необходимый геометрический объем резервуаров для бензина А-76 составит

$$V_{ip} = \frac{V_i}{\eta_p} = \frac{5520}{0,81} = 6815 \text{ м}^3.$$

Принимаем к установке два резервуара РВСП 5000.

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить необходимый полезный объем резервуарного парка распределительной железнодорожной нефтебазы, находящейся на расстоянии 850 км от поставщика и расположенной южнее 60° северной широты в европейской части России, в районе, где промышленность потребляет 50 % нефтепродуктов. Принять среднемесячное потребление бензина $5\ 000\ \text{м}^3$, дизельного топлива – $7000\ \text{м}^3$, керосина – $1000\ \text{м}^3$.

2. Определить полезную вместимость резервуарного парка распределительной автомобильной нефтебазы, находящейся на расстоянии 400 км от поставщика и расположенной в районе, где промышленность потребляет 70 % нефтепродуктов. Годовая реализация нефтепродуктов (тыс. т/год): А-76 – 5; АИ-92 – 10; Дл – 30, топочный мазут 40 – 30; М8В₁ – 10; Т₂₂ – 15.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. Подбор предохранительных клапанов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков подбора предохранительных клапанов резервуаров для хранения нефтепродуктов и расчета его пропускной способности.

Задачи работы заключаются в определении условного давления и пропускной способности предохранительного клапана по фактору газообразной среды и по фактору жидких сред.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основными параметрами, определяющими выбор предохранительного клапана, являются условное давление и пропускная способность клапана. Точное определение действительной пропускной способности клапана необходимо не только для обеспечения безопасной эксплуатации сосудов и систем, но и для экономии, удобства обслуживания и правильной эксплуатации клапанов.

При установке на защищаемый объект предохранительного клапана с недостаточной пропускной способностью в системе может создаться аварийная ситуация. Несмотря на четкое срабатывание предохранительного

клапана, давление в защищаемой системе продолжает расти из-за превышения производительности источника давления над пропускной способностью клапана.

Завышение условного прохода клапана, а значит, и его пропускной способности, кроме создания громоздкой предохранительной системы, приводит к неправильной работе клапана и его преждевременному выходу из строя, т.к. предохранительный клапан после срабатывания и открытия на полную высоту будет «голодать», вызывая частую пульсацию запорного органа. После падения давления в защищаемой системе такой клапан не обеспечивает достаточную герметичность при закрытии из-за нарушения уплотнительных поверхностей седла и золотника.

Поэтому при выборе предохранительного клапана необходимо точное соответствие характеристик клапана параметрам предохраняемой системы по давлению и действительной производительности. Для этого необходимо рассчитать пропускную способность предохранительного клапана для тех условий, при которых он эксплуатируется.

Пропускную способность предохранительных клапанов рассчитывают по следующим формулам:

для газообразных сред (при давлении в МПа)

$$G = 3,16B_1\alpha_1F\sqrt{(P_1 + 0,1\rho_1)}$$

для жидких сред (при давлении в МПа)

$$G = 5,03\alpha_2F\sqrt{(P_1 - P_2)\rho_2}$$

где P_1 – максимальное избыточное давление перед клапаном, МПа;

P_2 – максимальное избыточное давление за клапаном, МПа;

ρ_1 – плотность реального газа перед клапаном при параметрах P_1 и t_1 , кг/м³.

Плотность реального газа определяют по таблицам и диаграммам состояния реального газа или подсчитывают по формуле:

$$\rho_1 = \frac{(P_1 + 0,1) \cdot 10^6}{B_2 R (t_1 + 273)},$$

где R – газовая постоянная, Дж/кг·град при давлении, МПа;

B_2 – коэффициент сжимаемости реального газа, (табл. 1);

t_1 – температура рабочей среды перед клапаном, °С;

ρ_2 – плотность жидкости перед клапаном при параметрах P_1 и t_1 , кг/м³;

B_1 – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газов при рабочих параметрах.

Значение B_1 принимают по табл. 2 и 3 или рассчитывают по формулам:

при $\beta \leq \beta_{кр}$ –

$$B_1 = 1,59 \cdot \sqrt{\frac{K}{K+1} \cdot \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{1}{K+1}}},$$

при $\beta > \beta_{кр}$ –

$$B_1 = 1,59 \sqrt{\frac{K}{K-1} \left(\frac{P_2 + 0,1}{P_1 + 0,1}\right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_2 + 0,1}{P_1 + 0,1}\right)^{\frac{K+1}{K}}},$$

где K – показатель адиабаты, (табл. 7.9);

β – отношение давлений.

Значение β вычисляют по формуле:

$$\beta = \frac{P_2 + 0,1}{P_1 + 0,1},$$

где $\beta_{кр}$ – критическое отношение давлений, принимают по табл. 3 либо рассчитывают по формуле:

$$\beta_{кр} = \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{K}{K-1}},$$

где F – площадь минимального сечения клапана, мм²,

$$F = \frac{\pi}{3} d_c^2,$$

где d_c – наименьший диаметр проточной части седла клапана, мм.

Таблица 1 – Значение коэффициента B_2 для различных рабочих сред

| Рабочая среда | $P_1+0,1$ (P_1+1) МПа (кгс/см ²) | Температура, °С | | | |
|----------------|---|-----------------|------|--------|------|
| | | 0 | 50 | 100 | 200 |
| Азот и воздух | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 10 (100) | 0,98 | 1,02 | 1,04 | 1,05 |
| | 20 (200) | 1,03 | 1,08 | 1,09 | 1,1 |
| | 30 (300) | 1,13 | 1,16 | 1,17 | 1,18 |
| | 40 (400) | 1,27 | 1,26 | 1,25 | 1,24 |
| | 100 (1000) | 2,05 | 1,94 | 1,8 | 1,65 |
| Водород | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 100 (1000) | 1,71 | 1,6 | 1,52 | 1,43 |
| Кислород | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 10 (100) | 0,92 | 0,97 | 1,02 | – |
| | 20 (200) | 0,91 | – | 1,07 | 1,06 |
| | 30 (300) | 0,97 | – | 1,12 | 1,1 |
| | 40 (400) | 1,07 | – | 1,12 | 1,14 |
| | 50 (500) | 1,17 | – | 1,44 | 1,19 |
| | 80 (800) | 1,53 | – | 1,59 | 1,37 |
| | 100 (1000) | 1,77 | – | – | – |
| Метан | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 10 (100) | 0,78 | 0,9 | 0,96 | 1,0 |
| | 15 (150) | 0,73 | 0,88 | 0,95 | 1,01 |
| | 20 (200) | 0,77 | 0,89 | 0,96 | 1,02 |
| | 30 (300) | 0,9 | 0,96 | 1,01 | 1,08 |
| | 50 (500) | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | 100 (1000) | 2,03 | 1,87 | 1,74 | 1,62 |
| Окись углерода | 0 | 1 0,97 | 1 | 1 1,03 | 1 |
| | 10 (100) | 1,02 | 1,01 | 1,08 | 1,05 |
| | 20 (200) | 1,12 | 1,06 | 1,17 | 1,11 |
| | 30 (300) | 1,26 | 1,16 | 1,24 | 1,18 |
| | 40 (400) | 2,1 | 1,25 | 1,83 | 1,23 |

| | | | | | |
|-------------------|------------|------|------|------|------|
| | 100 (1000) | | 1,94 | | 1,7 |
| Двуокись углерода | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 5 (50) | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 0,93 |
| | 10 (100) | 0,2 | 0,4 | 0,75 | 0,87 |
| | 20 (200) | 0,39 | 0,43 | 0,6 | 0,87 |
| | 30 (300) | 0,57 | 0,57 | 0,66 | 0,88 |
| | 60 (600) | 1,07 | 1,02 | 1,01 | 1,07 |
| | 100 (1000) | 1,7 | 1,54 | 1,48 | 1,41 |
| | Этилен | 0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 5 (50) | | 0,2 | 0,74 | 0,87 | 0,96 |
| 7 (70) | | 0,23 | 0,6 | 0,81 | 0,94 |
| 10 (100) | | 0,32 | 0,47 | 0,73 | 0,92 |
| 15 (150) | | 0,45 | 0,51 | 0,68 | 0,9 |
| 20 (200) | | 0,58 | 0,6 | 0,7 | 0,89 |
| 30 (300) | | 0,81 | 0,81 | 0,82 | 0,95 |
| 100 (1000) | | 2,35 | 2,18 | 1,96 | 1,77 |

Таблица 2 – Значение коэффициентов K , B_1 , $\beta_{кр.}$, R

| Газ | При температуре 0°C и давлении 1 кгс/см ² | | $\beta_{кр.}$ | R | |
|---------------------|--|-------|---------------|------------|--------------|
| | K | B_1 | | Дж/кг·град | кг·м/кг·град |
| Азот | 1,40 | 0,770 | 0,528 | 298 | 30,25 |
| Аммиак | 1,32 | 0,757 | 0,543 | 490 | 49,80 |
| Аргон | 1,67 | 0,825 | 0,488 | 207 | 21,20 |
| Ацетилен | 1,23 | 0,745 | 0,559 | 320 | 32,50 |
| Бутан | 1,10 | 0,710 | 0,586 | 143 | 14,60 |
| Водород | 1,41 | 0,772 | 0,527 | 4120 | 420,00 |
| Водород (хлористый) | 1,42 | 0,774 | 0,525 | – | – |
| Воздух | 1,40 | 0,770 | 0,528 | 287 | 29,27 |
| Гелий | 1,66 | 0,820 | 0,488 | 2080 | 212,00 |
| Дифтор-дихлор-метан | 1,14 | 0,720 | 0,576 | 68,6 | 7,00 |
| Кислород | 1,40 | 0,770 | 0,258 | 260 | 26,50 |
| Метан | 1,30 | 0,775 | 0,547 | 515 | 52,60 |
| Метил (хлористый) | 1,20 | 0,730 | 0,564 | 165 | 16,80 |
| Окись углерода | 1,40 | 0,770 | 0,528 | 298 | 30,25 |
| Пропан | 1,14 | 0,720 | 0,576 | 189 | 19,25 |
| Сероводород | 1,30 | 0,755 | 0,547 | 244 | 24,90 |
| Сернистый ангидрид | 1,40 | 0,770 | 0,528 | 130 | 13,23 |
| Углекислый газ | 1,31 | 0,756 | 0,545 | 189 | 19,25 |
| Хлор | 1,34 | 0,762 | 0,540 | 118 | 11,95 |
| Этан | 1,22 | 0,744 | 0,560 | 277 | 28,20 |
| Этилен | 1,24 | 0,750 | 0,557 | 296 | 30,23 |

Таблица 3 – Значение коэффициента B_1

| $\frac{P_2+0,1}{P_1+0,1}$, МПа $\frac{P_2+1}{P_1+1}$, кг/см ² | K | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1,135 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,66 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0,100 | | | | | | | | 0,960 |
| 0,200 | | | | | | | 0,930 | |
| 0,300 | | | | | | 0,865 | | |
| 0,354 | | | | | 0,820 | | | |
| 0,393 | | | | 0,770 | | | | 0,959 |
| 0,400 | | | 0,755 | | | | 0,929 | 0,957 |
| 0,445 | | 0,730 | | | | | 0,928 | 0,950 |
| 0,450 | 0,715 | | | | | 0,864 | 0,925 | 0,942 |
| 0,488 | | | | | | 0,863 | 0,920 | 0,935 |
| 0,500 | | | | | 0,819 | 0,860 | 0,919 | 0,933 |
| 0,528 | | | | | 0,819 | 0,853 | 0,912 | 0,925 |
| 0,546 | | | | 0,769 | 0,818 | 0,850 | 0,902 | 0,915 |
| 0,550 | | | 0,754 | 0,768 | 0,816 | 0,845 | 0,900 | 0,914 |

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,564 | | | 0,753 | 0,765 | 0,815 | 0,842 | 0,899 | 0,911 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0,577 | | 0,729 | 0,752 | 0,754 | 0,810 | 0,840 | 0,898 | 0,900 |
| 0,600 | 0,714 | 0,725 | 0,750 | 0,762 | 0,805 | 0,835 | 0,877 | 0,880 |
| 0,650 | 0,701 | 0,712 | 0,732 | 0,748 | 0,773 | 0,800 | 0,848 | 0,850 |
| 0,700 | 0,685 | 0,693 | 0,713 | 0,720 | 0,745 | 0,775 | 0,810 | 0,815 |
| 0,750 | 0,650 | 0,655 | 0,647 | 0,678 | 0,696 | 0,718 | 0,716 | 0,765 |
| 0,800 | 0,610 | 0,613 | 0,625 | 0,630 | 0,655 | 0,670 | 0,700 | 0,705 |
| 0,850 | 0,548 | 0,550 | 0,558 | 0,560 | 0,572 | 0,598 | 0,615 | 0,620 |
| 0,900 | 0,465 | 0,468 | 0,474 | 0,475 | 0,482 | 0,502 | 0,520 | 0,525 |
| 1,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Провести проверку пропускной способности клапана. Исходные данные приведены ниже.

| | |
|---|------------|
| Тип сосуда | ПС-100-1-0 |
| Продукт | Пропан |
| Номинальный внутренний объем сосуда $V_{н}, \text{м}^3$ | 100 |
| Полезный внутренний объем сосуда $V_{п}, \text{м}^3$ | 85 |
| Рабочее давление в сосуде $P_{р}, \text{МПа}$ | 1,60 |
| Технологическая скорость наполнения сосуда $Q_{нап}, \text{м}^3/\text{ч}$ | 85 |
| Тип клапана | СППК 4 |
| Давление настройки клапана $P_{кл}, \text{МПа}$ | 1,84 |
| Площадь сечения седла, мм^2 | 1256 |
| Условный проход $D_u, \text{мм}$ | 80 |
| Коэффициент расхода клапана α | 0,8 |

Определение пропускной способности клапана

Определим характеристики газовой фазы пропана.

Приведенная температура газа пропана \hat{T} определяется по формуле

$$\hat{T} = \frac{T_1}{T_{кр}}$$

где T_1 – температура газа перед клапаном при давлении P_1 ;

$$T_{кр} = 369,8$$

K – критическая температура газа пропана.

Расчет произведем для различных температур атмосферного воздуха:

$$\hat{T}_{-20^\circ} = \frac{T_{-20^\circ}}{T_{кр}} = \frac{253}{369,8} = 0,6842;$$

$$\hat{T}_{0^\circ} = \frac{T_{0^\circ}}{T_{кр}} = \frac{273}{369,8} = 0,7382;$$

$$\hat{T}_{20^\circ} = \frac{T_{20^\circ}}{T_{кр}} = \frac{293}{369,8} = 0,7923;$$

$$\hat{T}_{40^\circ} = \frac{T_{40^\circ}}{T_{кр}} = \frac{313}{369,8} = 0,846.$$

Приведенное давление газа пропана \hat{P} определяется по формуле:

$$\hat{P} = \frac{P_1}{P_{кр}}$$

где $P_1 = 1,84$ МПа – наибольшее избыточное давление перед клапаном (избыточное давление до клапана, равное давлению полного открытия);

$P_{кр} = 4,264$ МПа – критическое давление газа пропана.

Максимальное давление в резервуаре ограничивается давлением настройки клапана, поэтому для всех условий значение приведенного давления пропана

$$\hat{P}_{(-20^\circ \dots +40^\circ)} = \frac{1,84}{4,264} = 0,4315.$$

Коэффициент сжатия газа пропана z определяется по формуле

$$z = 1 - 0,4273 \hat{P} \hat{T}^{-3,668}.$$

Для заданных условий

$$z_{-20^\circ} = 1 - 0,4273 \cdot 0,4315 \cdot 0,6842^{-3,668} = 0,2582;$$

$$z_{0^\circ} = 1 - 0,4273 \cdot 0,4315 \cdot 0,7382^{-3,668} = 0,4386;$$

$$z_{20^\circ} = 1 - 0,4273 \cdot 0,4315 \cdot 0,7923^{-3,668} = 0,5669;$$

$$z_{40^\circ} = 1 - 0,4273 \cdot 0,4315 \cdot 0,8464^{-3,668} = 0,6601.$$

Плотность газа ρ перед клапаном при параметрах T_1 и P_1 определяется

$$\rho = \frac{(P_1 + 0,1) \cdot 10^6}{zRT_1}.$$

где $R = 189$ Дж/(кг·град) – газовая постоянная.

Для заданных условий

$$\rho_{-20^\circ} = \frac{(1,84 + 0,1) \cdot 10^6}{0,2582 \cdot 189 \cdot 253} = 157,1315 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{0^\circ} = \frac{(1,84 + 0,1) \cdot 10^6}{0,4386 \cdot 189 \cdot 273} = 85,7252 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{20^\circ} = \frac{(1,84 + 0,1) \cdot 10^6}{0,5669 \cdot 189 \cdot 293} = 61,7968 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{40^\circ} = \frac{(1,84 + 0,1) \cdot 10^6}{0,6601 \cdot 189 \cdot 313} = 49,6805 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Пропускная способность предохранительного клапана G для пропана, находящегося в газовой фазе, рассчитывается по формуле

$$G = 3,16B_3 \alpha_1 F \sqrt{(P_1 + 0,1)\rho},$$

где F – площадь сечения клапана, равная наименьшей площади сечения в проточной части седла, $F = 1256$ мм²;

α_1 – коэффициент расхода, соответствующий площади F для газообразных сред, $\alpha_1 = 0,8$;

P_2 – наибольшее избыточное давление за клапаном (избыточное давление за клапаном в положении его полного открытия), $P_2 = 0$ МПа;

$B_{кр} = 0,576$ – критическое отношение давлений;

$$\beta = \frac{0,1+P_2}{0,1+P_1} = \frac{0,1}{0,1+1,84} = 0,0515 \text{ – отношение давлений;}$$

$B_3 = 1,14$ – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства газа и паров при рабочих параметрах при $\beta \leq \beta_{кр}$.

Для различных заданных условий номинальная пропускная способность предохранительного клапана составит

$$G_{-20^\circ} = 3,16 \cdot 1,14 \cdot 0,8 \cdot 1256 \cdot \sqrt{(1,84 + 0,1) \cdot 157,1315} = 63198,1046 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 17,555 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G_{0^\circ} = 3,16 \cdot 1,14 \cdot 0,8 \cdot 1256 \cdot \sqrt{(1,84 + 0,1) \cdot 85,7252} = 46679,5520 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 12,9665 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G_{20^\circ} = 3,16 \cdot 1,14 \cdot 0,8 \cdot 1256 \cdot \sqrt{(1,84 + 0,1) \cdot 61,7968} = 39632,8605 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 11,0091 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$G_{40^\circ} = 3,16 \cdot 1,14 \cdot 0,8 \cdot 1256 \cdot \sqrt{(1,84 + 0,1) \cdot 49,6805} = 35535,7433 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 9,8710 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Произвести проверку пропускной способности клапана. Исходные данные приведены в таблице.

| Варианты | 1 | 2 | 3 |
|--|-----------------|------------|-----------------|
| Условный проход D_u , мм | 100 | 150 | 200 |
| Температура рабочей среды T_1, T_2, T_3 , °C | -20 0 +20 | -40 +40 | -30 0 +15 |
| Продукт | метан | азот | водород |
| Площадь сечения седла, мм ² | 48 | 108,5 | 125 |
| Коэффициент расхода клапана α | 0,84 | 0,9 | 0,92 |
| Давление настройки клапана $P_{кл}$, МПа | 0,5 | 1,6 | 1,4 |

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7. Теплофизические свойства нефтепродуктов и резервуарный парк

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения теплофизических свойств нефтепродуктов и объема резервуарных парков нефтебаз.

Задачи работы заключаются в определении плотности, вязкости, давления насыщенных паров, удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности нефтепродуктов, вместимости резервуарного парка.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Теплофизические свойства нефтепродуктов

Плотность нефтепродуктов ρ в зависимости от химического состава и температуры изменяется в пределах 700-1100 кг/м³. Пересчет плотности с одной температуры на другую может проводиться по формулам:

$$\rho_T = \rho_{293} + \xi (293 - T), \quad (1)$$

Менделеева

$$\rho_T = \rho_{293} / [1 + \beta (T - 293)], \quad (2)$$

где ρ_T , ρ_{293} – плотность нефтепродукта соответственно при температурах T и 293°K;

β – коэффициент объемного расширения (табл. 1);

ξ – температурная поправка, находится по таблице или рассчитывается по формуле

$$\xi = 1,825 - 0,001315 \rho_{293}. \quad (3)$$

Вязкость нефтепродукта ν является одной из наиболее важных свойств, влияющих на гидравлические сопротивления. Зависимость кинематической вязкости от температуры описывается формулами:

Вальтера

$$\lg \lg(\nu + 0,8) = a + b \lg T, \quad (4)$$

где ν – кинематическая вязкость, мм²/с;

T – абсолютная температура, К;

a и b – эмпирические коэффициенты, находятся по формулам:

$$a = \lg \lg(v_1 + 0,8) - b \lg T; \quad b = \lg[\lg(v_1 + 0,8) / [\lg(v_2 + 0,8)] / \lg(T_1/T_2)],$$

где v_1 и v_2 – значения кинематической вязкости при температурах T_1 и T_2 ;

Рейнольдса-Филонова

$$v = v^* \exp[-u(T - T^*)], \quad (5)$$

где u – показатель крутизны вискограммы, 1/К;

v^* – кинематическая вязкость при известной температуре T^* .

Таблица 1 – Средние температурные поправки, плотность и коэффициент объемного расширения для нефтепродуктов

| Плотность ρ_{293} , кг/м ³ | Температурная поправка ξ , кг/(м ³ ·К) | Коэффициент объемного расширения β , 1/К | Плотность ρ_{293} , кг/м ³ | Температурная поправка ξ , кг/(м ³ ·К) | Коэффициент объемного расширения β , 1/К |
|--|---|--|--|---|--|
| 700-709 | 0,897 | 0,001263 | 890-899 | 0,647 | 0,000722 |
| 710-719 | 0,884 | 0,001227 | 900-909 | 0,638 | 0,000699 |
| 720-729 | 0,870 | 0,001193 | 910-919 | 0,620 | 0,000677 |
| 730-739 | 0,857 | 0,001160 | 920-929 | 0,607 | 0,000656 |
| 740-749 | 0,844 | 0,001128 | 930-939 | 0,594 | 0,000635 |
| 750-759 | 0,831 | 0,001098 | 940-949 | 0,581 | 0,000615 |
| 760-769 | 0,818 | 0,001068 | 950-959 | 0,567 | 0,000594 |
| 770-779 | 0,805 | 0,001039 | 960-969 | 0,554 | 0,000574 |
| 780-789 | 0,792 | 0,001010 | 970-979 | 0,541 | 0,000555 |
| 790-799 | 0,778 | 0,000981 | 980-989 | 0,528 | 0,000536 |
| 800-809 | 0,765 | 0,000952 | 990-999 | 0,515 | 0,000518 |
| 810-819 | 0,752 | 0,000924 | 1000-1009 | 0,502 | 0,000499 |
| 820-829 | 0,738 | 0,000896 | 1010-1019 | 0,489 | 0,000482 |
| 830-839 | 0,725 | 0,000868 | 1020-1029 | 0,476 | 0,000464 |
| 840-849 | 0,712 | 0,000841 | 1030-1039 | 0,463 | 0,000447 |
| 850-859 | 0,699 | 0,000818 | 1040-1049 | 0,450 | 0,000431 |
| 860-869 | 0,686 | 0,000793 | 1050-1059 | 0,437 | 0,000414 |
| 870-879 | 0,673 | 0,000769 | 1060-1069 | 0,424 | 0,000398 |
| 880-889 | 0,660 | 0,000746 | 1070-1079 | 0,411 | 0,000382 |

Давление насыщенных паров P_s для нефтепродуктов в интервале температур (-30÷100) °С при температуре t с достаточной точностью определяется по формуле Рыбакова:

$$P_{st} = P_{38} \cdot 10^{(4,6 - 1430/t)},$$

(6)

где P_{38} – давление насыщенных паров нефтепродукта по Рейду.

Удельная теплоемкость нефтепродуктов C_p изменяется в пределах (1600÷2500) Дж/(кг·К). Для расчетов пользуются формулой Крето или принимают среднее значение $C_p = 2100$ Дж/(кг·К).

Коэффициент теплопроводности нефтепродуктов λ_n изменяется в пределах 0,1...0,16 Вт/(м·К). Для температур (273÷472)°К коэффициент теплопроводности определяется по формуле Крето-Смита или принимается среднее значение $\lambda_n = 0,13$ Вт/(м·К).

Таблица 2 – Свойства некоторых нефтепродуктов

| Нефть и нефтепродукт | Плотность, кг/м ³ при 20 ⁰ С | Кинематическая вязкость, м ² /с·10 ⁴ при температуре, К | | | | | | | | | | Температура застывания | Содержание, % | |
|---|--|---|-----|--------|--------|---------|--------|--------|-----|--------|--------|------------------------|---------------|----------|
| | | 283 | 288 | 293 | 303 | 313 | 323 | 333 | 343 | 353 | 373 | | серы | Парафина |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Керосин | 780 | 0,05 | - | 0,0328 | - | 0,0250 | - | - | - | - | - | 213 | 0,5 | - |
| Дизельное топливо: | | | | | | | | - | - | - | - | 253 | 0,5 | - |
| ДЗ | 845 | 0,07 | - | 0,05 | 0,031 | - | - | - | - | - | - | | | |
| ДЛ | 835 | 0,08 | - | 0,06 | 0,050 | 0,045 | 0,042 | - | - | - | - | | | |
| ДА | 830 | 0,05 | - | 0,03 | 0,027 | 0,025 | 0,024 | - | - | - | - | | | |
| Мазут: | | | | | | | | | | | | | | |
| флотский Ф-5 | 872 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,05 | 0,035 | 267 | 0,45 | - |
| флотский Ф-12 | 867 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,0443 | 0,0304 | 265 | 0,41 | - |
| М-40 | 970 | - | - | - | 8,5 | 4 | 2 | 1,2 | 0,7 | 0,577 | 0,300 | 288 | 3,4 | - |
| М-100 | 990 | - | - | - | - | 15 | 7 | 3,6 | 1,6 | 1,205 | 0,451 | 293-298 | 3,6 | - |
| М-200 | 1000 | - | - | - | - | 30 | 12 | 5,8 | 3 | 1,629 | 0,618 | 301-308 | 4,5 | - |
| Бензин авиационный Б-70 | 785 | 0,0085 | - | 0,007 | - | 0,0056 | - | 0,0046 | - | - | - | - | - | - |
| Бензины автомобильные: | | | | | | | | | | | | | | |
| А-72 (л) | 730 | 0,0067 | - | 0,0061 | 0,0055 | 0,0051 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| А-76 (л) | 780 | 0,0064 | - | 0,0058 | 0,0052 | 0,0047 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| АИ-93 | 760 | 0,007 | - | 0,0063 | 0,0057 | 0,0053 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Реактивное топливо: | | | | | | | | | | | | | | |
| Т-1 | 800 | 0,0210 | - | 0,0183 | - | 0,0134 | - | 0,0105 | - | 0,0085 | - | - | - | - |
| ТС-1 | 775 | - | - | 0,0125 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Т-2 | 755 | - | - | 0,0105 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Т-5 | 845 | 0,0503 | - | 0,0388 | - | 0,024,5 | - | 0,0126 | - | 0,0126 | - | - | - | - |
| Т-8 | 875 | - | - | 0,0145 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Котельное топливо | 867 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,0443 | 0,0304 | - | - | - |
| Индустриальн. масла: | | | | | | | | | | | | | | |
| ИС-12 | 867 | - | - | - | - | - | 0,126 | - | - | - | - | 0,0364 | - | - |
| ИС-20 | 900 | - | - | 0,7130 | - | - | 0,182 | - | - | - | - | 0,0484 | - | - |
| ИС-45 | 875 | - | - | 2,2900 | - | - | 0,423 | - | - | - | - | 0,0812 | - | - |
| ИС-20с | 881 | - | - | 7,6000 | - | - | 1,524 | - | - | - | - | 0,2080 | - | - |
| Трансформаторное масло | 881 | - | - | 0,287 | - | - | 0,090 | - | - | - | - | 0,030 | - | - |
| Масло для гидравлических систем (АТМ- 10) | 835,6 | - | - | 0,218 | - | - | 0,105 | - | - | - | - | 0,047 | - | - |
| Веретенное АУ | 848,6 | - | - | 0,4725 | - | - | 0,1276 | 0,0362 | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|---|---|--------|---|---|--------|--------|---|---|---|--------|---|---|
| Турбинное 22 (л) | 896,4 | - | - | 1,0000 | - | - | 0,218 | 0,0598 | - | - | - | - | - | - |
| Турбинное 30(УТ) | - | - | - | 1,6100 | - | - | 0,300 | 0,0649 | - | - | - | - | - | - |
| Масло моторное: | | | | | | | | | | | | | | |
| МК-20 | 898 | - | - | - | - | - | 1,6100 | - | - | - | - | 0,2200 | - | - |
| МС-20 | 899 | - | - | 13,000 | - | - | 1,5940 | - | - | - | - | 0,2160 | - | - |
| АК-10 | 922,7 | - | - | 14,200 | - | - | 0,5500 | - | - | - | - | 0,1070 | - | - |
| ДС-8 | 892 | - | - | - | - | - | 0,4200 | - | - | - | - | 0,0813 | - | - |

3.2. Вместимость резервуарного парка нефтебазы

Полезный объем резервуарного парка для i -ого нефтепродукта определяется:

- для распределительных железнодорожных нефтебаз

$$V_i = Q_i T_{\text{ц}} K_{\text{нц}} K_{\text{нп}} (1 + \Delta V_i^{\text{CT}} / 100) / 30; \quad (7)$$

- для речных перевалочных и распределительных нефтебаз с незамерзающими путями

$$V_i = 1,15 Q_i K_{\text{нп}} (1 + \Delta V_i^{\text{CT}} / 100); \quad (8)$$

- для речных нефтебаз с замерзающими путями

$$V_i = 1,15 Q_i^{\text{мп}} (1 + \Delta V_i^{\text{CT}} / 100); \quad (9)$$

- для трубопроводных нефтебаз

$$V_i = 1,1 Q_i^{\text{от}} K_{\text{нп}} (1 - Q_i^{\text{от}} / 8760 q_{\text{max}}) / N_i, \quad (10)$$

где Q_i - среднемесячное потребление i -го нефтепродукта, м³;

$T_{\text{ц}}$ - продолжительность транспортного цикла поставок нефтепродуктов, сутки (табл. 3);

$K_{\text{нц}}$ - коэффициент неравномерности подачи цистерн с нефтепродуктом, $K_{\text{нц}} = 1,1 \dots 1,3$;

$K_{\text{нп}}$ - коэффициент неравномерности потребления нефтепродуктов (табл. 4);

$Q_i^{\text{мп}}$ - межнавигационная потребность в i -ом нефтепродукте;

$Q_i^{\text{от}}$ - объем i -го нефтепродукта, отбираемого по отводу, м³/год;

N_i - годовое число циклов, с которым работает отвод;

q_{max} - максимальный из возможных расходов нефтепродукта в отводе, м³/час.

Для более точного определения вместимости резервуарного парка нефтебазы необходимы графики фактического поступления и отгрузки нефтепродуктов за 2-3 года с учетом страхового запаса. Тогда необходимый объем резервуаров находится для каждого нефтепродукта:

$$V_i = Q_i^{\text{год}} (\Delta V_i^{\text{max}} - \Delta V_i^{\text{min}} + \Delta V_i^{\text{CT}}) / 100, \quad (11)$$

где $Q_i^{\text{год}}$ - годовая реализация i -го нефтепродукта, м³;

ΔV_i^{\min} , ΔV_i^{\max} - минимальные и максимальные остатки i -го нефтепродукта за год, %;

$\Delta V_i^{\text{ст}}$ - страховой запас i -го нефтепродукта, %.

Таблица 3 – Зависимость продолжительности транспортного цикла от удаленности поставщика

| | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Расстояние до поставщика, км | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1600 | 2000 | 2600 |
| $T_{\text{ц}}$, сутки | 7 | 9 | 11 | 13 | 14 | 15 | 17 | 20 |

Таблица 4 – Коэффициент неравномерности потребления нефтепродуктов

| Характеристика районов потребления | $K_{\text{нп}}$ | |
|---|------------------|---------------|
| | Все виды топлива | Масла, смазки |
| Промышленные города | 1,0 | 1,3 |
| Промышленные районы, где доля потребления промышленностью составляет: | | |
| 70% | 1,2 | 1,8 |
| 30% | 1,5 | 2,0 |
| Сельскохозяйственные районы | 1,7 | 2,5 |

Нормы страхового запаса для распределительных нефтебаз зависят от географического месторасположения, транспортных связей и принимаются в процентах от среднемесячной потребности нефтепродуктов (табл. 5).

Таблица 5 - Нормы страхового запаса нефтепродуктов

| Тип нефтебазы | Месторасположение | Норма запаса, % |
|--|--|-----------------|
| Железнодорожные, водные (незамерзающие пути) | Южнее 60° северной широты в европейской части страны | до 20 |
| | Севернее 60° северной широты в европейской части страны, в Сибири, на Урале и Дальнем востоке | до 50 |
| Водные (замерзающие пути) | - | до 50 |

Для каждого нефтепродукта должно предусматриваться не менее двух резервуаров.

Геометрический объем резервуара определяется:

$$V_{\text{рi}} = V_i / k_{\text{и}} \quad (12)$$

где $k_{\text{и}}$ – коэффициент использования резервуара, принимается по табл. 6.

Таблица 6 – Рекомендуемые значения коэффициента использования

| Емкость резервуара, м ³ | Значение $k_{и}$ для типа резервуара | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------|
| | без понтона | с понтоном | с плавающей крышей |
| До 5000 включительно | 0,85 | 0,81 | 0,80 |
| От 10000 до 30000 | 0,88 | 0,84 | 0,83 |

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить вместимость резервуарного парка нефтебазы по бензину А-93 при заданном графике поступления и отгрузки (в процентах от годовой реализации).

| Показатели | Значение показателя, % | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | месяц | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | всего |
| Поступление | 13 | 14 | 11 | 7 | 4 | 3 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 11 | 100 |
| Отгрузка | 2 | 4 | 6 | 6 | 7 | 13 | 15 | 13 | 12 | 11 | 6 | 5 | 100 |

Среднемесячное потребление бензина составляет 1000 м³.

Решение.

1. Рассчитываются месячные остатки и их сумма нарастающим итогом:

| Показатели | Значение показателя, % | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|
| | месяц | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Месячный остаток | 11 | 10 | 5 | 1 | -3 | -10 | -11 | -7 | -4 | -2 | 4 | 6 |
| Сумма месячных остатков | 11 | 21 | 26 | 27 | 24 | 14 | 3 | -4 | -8 | -10 | -6 | 0 |

Величина страхового запаса нефтепродукта принимается 10 % от среднемесячного потребления $\Delta V_i^{CT} = 10 \%$.

Необходимый полезный объем резервуаров находится по формуле (11) и с учетом того, что $\Delta V_i^{\min} = -10 \%$, $\Delta V_i^{\max} = 27 \%$, определится:

$$V_i = 12000 \cdot [27 - (-10) + 10] : 100 = 5640 \text{ м}^3$$

Принимается два резервуара типа РВС- 5000. Тогда необходимый геометрический объем резервуаров с учетом коэффициента использования емкости $k_{и} = 0,85$ составит

$$V_{pi} = V_i / k_{и} = 5640 / 0,85 = 6635,3 \text{ м}^3.$$

Задача № 2. Определить необходимый полезный объем резервуарного парка речной перевалочной нефтебазы, расположенной южнее 60° северной широты в районе, где промышленность потребляет 50 % нефтепродуктов. Среднемесячное потребление дизельного топлива составляет 7000 м³.

Решение.

1. По табл. 4 методом интерполяции находится значение $k_{\text{нп}} = 1,35$.

По формуле (8), принимая $\Delta V_i^{\text{CT}} = 15 \%$, находится значение полезного объема резервуарного парка для дизельного топлива

$$V_{\text{дт}} = 1,15 \cdot 7\,000 \cdot 1,35 \cdot (1 + 15/100) = 12497,6 \text{ м}^3.$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В вертикальном цилиндрическом резервуаре типа РВС номинальной емкости V хранится M нефтепродукта плотностью ρ_{20} . Определить колебание уровня нефтепродукта в резервуаре, если его температура изменилась от t_1 до t_2 . Расширение резервуара не учитывать. Данные к задаче приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Исходные данные к задаче

| № варианта | Емкость резервуара V , м^3 | Масса нефтепродукта M , т | Плотность ρ_{20} , $\text{кг}/\text{м}^3$ | t_1 , $^{\circ}\text{C}$ | t_2 , $^{\circ}\text{C}$ |
|------------|--|--------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 100 | 70 | 750 | 30 | 0 |
| 2 | 700 | 150 | 810 | 20 | -10 |
| 3 | 300 | 200 | 860 | 0 | 20 |
| 4 | 400 | 300 | 780 | -5 | 30 |
| 5 | 700 | 500 | 850 | 0 | 25 |
| 6 | 1 000 | 800 | 900 | 10 | 30 |
| 7 | 2 000 | 1 000 | 750 | 15 | 35 |
| 8 | 3 000 | 2 000 | 790 | 0 | 25 |
| 9 | 5 000 | 3 000 | 820 | -5 | 15 |
| 10 | 10 000 | 7 000 | 850 | 5 | 35 |

2. В открытом резервуаре высотой H и диаметром D содержится нефтепродукт. При температуре t_1 уровень нефтепродукта не доходит до края резервуара на высоту h . Определить при какой температуре t_2 нефтепродукт начнет переливаться через край резервуара. Данные к задаче в табл. 8.

Таблица 8 – Исходные данные к задаче

| № вар. | H , м | D , м | ρ_{20} , $\text{кг}/\text{м}^3$ | h , см | t_1 , $^{\circ}\text{C}$ |
|--------|---------|---------|--------------------------------------|----------|----------------------------|
| 1 | 5 | 3 | 850 | 10 | 2 |
| 2 | 6 | 5 | 820 | 15 | 3 |

| | | | | | |
|----|---|---|-----|----|----|
| 3 | 4 | 2 | 780 | 25 | 5 |
| 4 | 8 | 4 | 810 | 20 | 6 |
| 5 | 7 | 3 | 830 | 30 | 8 |
| 6 | 3 | 2 | 820 | 10 | 7 |
| 7 | 4 | 2 | 790 | 20 | 4 |
| 8 | 9 | 4 | 850 | 35 | 1 |
| 9 | 7 | 4 | 820 | 25 | 9 |
| 10 | 5 | 4 | 810 | 15 | 10 |

3. Нефтепродукт плотностью $(750 + N)$ кг/м³ находится в подземном резервуаре и для его откачки установлен центробежный насос. Верх корпуса находится над уровнем нефтепродукта на расстоянии $H = 2$ м. Для заливки центробежного насоса установлен вакуум-насос. Какой необходимо создать вакуум для нормальной работы центробежного насоса?

N - номер варианта.

4. Определить вместимость резервуарного парка нефтебазы по бензину А-80 при заданном графике поступления и отгрузки, в процентах от годовой реализации (табл. 9).

Среднемесячное потребление бензина составляет $(1000+N)$ м³.

Таблица 9 – Исходные данные к задаче 4

| Показатели | Значение показателя, % | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| | месяц | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | всего |
| Поступление | 10 | 11 | 12 | 9 | 5 | 4 | 7 | 6 | 7 | 8 | 11 | 10 | 100 |
| Отгрузка | 4 | 6 | 5 | 7 | 8 | 11 | 14 | 13 | 10 | 11 | 6 | 5 | 100 |

5. Определить необходимый полезный объем резервуарного парка железнодорожной распределительной нефтебазы, расположенной севернее 60° северной широты в районе, где промышленность потребляет 70 % нефтепродуктов. Среднемесячное потребление дизельного топлива составляет 15000 м³.

6. Объем резервуарного парка равен $(60 + N)$ тыс. м³, из них 20 % составляет бензин А-80, 30% - бензин А-93, остальное – дизельное топливо Л. Сделать выбор оптимальных типоразмеров резервуаров для каждого вида нефтепродукта и произвести компоновку резервуарного парка.

7. В резервуаре-отстойнике типа РВС диаметром 4,7 м уровень воды составляет 5 м, а толщина всплывшего нефтепродукта равна 2 см. Показания манометра, установленного на крыше резервуара, равно 1,5 кПа. Определить силу давления на дно резервуара, если плотность нефтепродукта равна $(780 + N)$ кг/м³.

8. В резервуаре типа РВС с нефтепродуктом плотностью $(780 - N)$ кг/м³, установленный на крыше вакуумметр показывает N кПа. Необходимо определить показания манометра, установленного на стенке резервуара на расстоянии 6 м от уровня свободной поверхности жидкости.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8. Расчет количества сливно-наливных устройств

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета количества сливно-наливных устройств в зависимости от расчетного количества наливных маршрутов.

Задачи работы заключаются в определении количества сливно-наливных устройств при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным, водным и автомобильным транспортом.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При доставке нефтепродуктов **железнодорожным транспортом** число маршрутов, прибывающих на нефтебазу за сутки, рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{G_{\text{сут}}}{G_{\text{марш}}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{сут}}$ – суточный грузооборот нефтебазы;

$G_{\text{марш}}$ – грузоподъемность одного маршрута.

Суточный грузооборот

$$G_{\text{сут.}} = \frac{G_{\text{год}}}{365} k_1 k_2, \quad (2)$$

Годовой грузооборот нефтебазы

$$G_{\text{год}} = V_{\text{рп}} k_{\text{об}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{об}}$ – коэффициент оборачиваемости нефтебазы;

k_1 – коэффициент неравномерности завоза и вывоза нефтепродукта, принимается равным $1 \div 2$;

k_2 – коэффициент неравномерности подачи железнодорожных цистерн, принимается больше 1.

Грузоподъемность маршрута в каждом конкретном случае согласовывается с Министерством путей сообщения, но не превышает $3 \div 4$ тыс. тонн.

Необходимое число эстакад определяют по формуле:

$$\Xi = \frac{N_m \tau_{\Xi}}{24}, \quad (4)$$

где τ_{Ξ} – время занятия эстакады маршрутом с учетом времени на технологические операции, подачу и уборку цистерн, и приготовление маршрута на станции, ч.

Время сливно-наливных операций регламентируется «Правилами перевозок жидких грузов наливом в вагонах-цистернах и бункерных полувагонах». В немеханизированных пунктах налив независимо от рода нефтепродуктов проводят для всей одновременно поданной партии цистерн, двухосных цистерн и бункерных полувагонов – 2 ч, четырехосных (и более) цистерн и бункерных полувагонов – 3 ч. Слив независимо от рода нефтепродуктов также проводят для всей одновременно поданной партии цистерн: из двухосных цистерн – 2 ч, четырехосных (и более) цистерн – 4 ч. В механизированных пунктах налив независимо от рода нефтепродукта и грузоподъемности цистерн и бункерных полувагонов осуществляют за 2 ч; слив из двухосных цистерн и бункерных полувагонов – за 1 ч 15 мин, из четырехосных (и более) цистерн и бункерных полувагонов – за 2 ч.

На нефтебазах при маршрутном сливе-наливом нефтепродукта количество сливно-наливных устройств принимается в зависимости от расчетного количества наливных маршрутов по табл. 1.

Таблица 1 – Рекомендуемое количество сливно-наливных устройств

| Количество маршрутов | Количество сливно-наливных устройств | Примечание |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| от 0,35 до 1 включительно | на 1/3 маршрута | Распределительная нефтебаза |
| более 1 до 3 включительно | на 1/2 маршрута | Распределительная нефтебаза |
| более 3 до 6 включительно | на 1 маршрут | Перевалочная нефтебаза |

При операциях с высоковязкими нефтепродуктами в величину τ_{Ξ} входит время, требуемое для их разогрева.

В зависимости от выполняемых операции железнодорожные эстакады делятся на наливные (НС) (табл. 2) и комбинированные (КС) (табл. 3).

Таблица 2 – Основные данные эстакад для налива в железнодорожные цистерны

| Показатели | НС-2 | НС-3 | НС-4 | НС-5 | НС-6 | НС-7 | НС-8 | НС-9 | НС-10 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Длина эстакады, м | 72 | 108 | 144 | 180 | 216 | 252 | 288 | 324 | 360 |
| Число средних звеньев | - | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

| | | | | | | | | | |
|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Число стояков: при 3 коллекторах | 34 | 52 | 70 | 88 | 106 | 124 | 142 | 160 | 178 |
| при 4 коллекторах | 44 | 68 | 92 | 116 | 140 | 164 | 188 | 212 | 236 |
| Число 4-хосных цистерн | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
| Грузоподъемность маршрута (по бензину), т | 800 | 1170 | 1540 | 1910 | 2280 | 2650 | 3010 | 3380 | 3750 |

Таблица 3 – Основные сведения об эстакадах для слива и налива светлых нефтепродуктов в железнодорожные цистерны

| | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Показатели | КС-2 | КС-3 | КС-4 | КС-5 | КС-6 | КС-7 | КС-8 | КС-9 | КС-10 |
| Длина эстакады, м | 72 | 108 | 144 | 180 | 216 | 252 | 288 | 324 | 360 |
| Число средних звеньев | - | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Число одновременно сливаемых (наливаемых) цистерн | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
| Грузоподъемность маршрута (по бензину), т | 800 | 1170 | 1540 | 1910 | 2280 | 2650 | 3010 | 3380 | 3750 |

Длина железнодорожной эстакады рассчитывается как сумма длин цистерн одного вида плюс 30 м на тупик для расцепки (в целях пожаробезопасности):

$$l_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n a_i l_i, \quad (5)$$

где a_i – количество цистерн одного типа;

l_i – длина цистерны одного типа.

Характеристика железнодорожных цистерн дана в табл. 4.

Таблица 4 – Техническая характеристика железнодорожных цистерн

| Груз | Модель цистерны | Параметры котла | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------|----------|------------|----------|--------|
| | | Вместимость, м ³ | | Диаметр, м | Длина, м | |
| | | полная | полезная | | | |
| Бензин и светлые нефте- продукты | 15-890 15-892 15-894 | 61,2 | 60,0 | 2,8 | 10,300 | |
| | 15-1443 15-1427 15-1428 | 73,1 | 71,7 | 3,0 | 10,770 | |
| | 15-1547 | 85,6 | 83,9 | 3,2 | 11,194 | |
| | 15-871 | 140,0 | 137,2 | 3,0 | 19,990 | |
| | 15-1500 | 161,6 | 156,2 | 3,2 | 20,650 | |
| | Вязкие нефтепродукты | 15-897 | 62,3 | 60,3 | 2,8 | 10,520 |
| | | 15-1566 | 73,2 | 70,0 | 3,0 | 10,770 |

При перевозке нефтепродуктов *водным транспортом* число причалов определяют по формуле:

$$n_{\Pi} = \frac{\sum \tau_i G_{\text{Год}} K_{\text{н}}}{\tau_{\text{нав}} q_{\text{с}}},$$

(6)

где $\sum \tau_i$ – суммарное время пребывания судна у причала;

$G_{\text{Год}}$ – количество завозимых (вывозимых) нефтегрузов за навигационный период $\tau_{\text{нав}}$;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент неравномерности завоза (вывоза), изменяющийся в зависимости от условий судоходства в пределах 1,2...2;

$q_{\text{с}}$ – средний тоннаж нефтеналивных судов.

Время пребывания судна у причала включает в себя время, затрачиваемое на следующие операции:

1) подготовительные операции (подход, швартовка, соединение с береговыми трубопроводами): $\tau_1 = 0,5...2$ ч;

2) выгрузка (загрузка) нефтепродукта:

$$\tau_2 = \begin{cases} Kq_{\text{с}}/q_{\text{н}} & \text{– привыгрузке;} \\ q_{\text{с}}/q_{\text{н}} & \text{– при загрузке,} \end{cases}$$

(7)

где K – коэффициент, показывающий, какая часть наливного груза откачивается грузовыми насосами (для маловязких нефтепродуктов $K=0,25...0,97$, для вязких $K=0,92...0,95$);

$q_{\text{н}}$ – производительность насосной установки;

3) зачистка судна от остатков при выгрузке:

$$\tau_3 = \frac{(1-K)q_{\text{с}}}{q_3},$$

(8)

где q_3 – подача зачистных насосов;

4) подогрев вязких нефтепродуктов перед выгрузкой τ_4 задается или выбирается в каждом конкретном случае;

5) разъединение трубопроводов и расчалка $\tau_5 = 0,5...1$ ч.

Данные о нефтеналивных судах приведены в табл. 5, 6, 7, 8.

Таблица 5 – Основные показатели морских танкеров

| Показатели | «Олег Кошевой» | «Казбек» | «Прага» | «Лисичанск» | «София» | «Крым» |
|----------------------------------|----------------|----------|---------|-------------|---------|--------|
| Дедвейт, т | 4696 | 11800 | 30720 | 34640 | 49370 | 150000 |
| Техническая скорость, км/ч | 18,5 | 23,7 | 34,6 | 33,1 | 31,5 | 31,5 |
| Число насосов | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| Подача насоса, м ³ /ч | 500 | 250 | 750 | 1100 | 750 | 5000 |
| Напор грузового | 100 | 100 | 80 | 100 | 100 | 80 |

| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| насоса, м | | | | | | |
| Размеры, м: | | | | | | |
| длина | 123,5 | 145,5 | 202,8 | 195,0 | 230,6 | 295,5 |
| ширина | 16,0 | 19,2 | 25,8 | 27,0 | 31,0 | 45,0 |
| осадка с грузом | 4,3 | 8,5 | 10,4 | 10,7 | 11,0 | 17,0 |

Таблица 6 – Основные показатели речных танкеров и нефтерудовозов

| Показатели | Номер проекта | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|-------|----------|----------|-------|
| | 1754А | P77 | 1553 | 558 | 1577 | 587 |
| Грузоподъемность, т | 1000 | 2150 | 2700 | 4 5000 | 4800 | 3000 |
| Грузовые насосы: | | | | | | |
| марка | ЦСП-57 | ЦСП-57 | 8НДВ | 10НД-6х1 | 10НД-6х1 | 6НДВБ |
| число | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| подача, м ³ /ч | 130 | 148/74 | 500 | 500 | 500 | 360 |
| напор, м | 55 | 71,5/143 | 33 | 55 | 55 | 47 |
| Размеры, м: | | | | | | |
| длина | 86,7 | 108,8 | 119,9 | 132,6 | 132,6 | 110,2 |
| ширина | 12,99 | 15,10 | 13,42 | 16,75 | 16,90 | 13,40 |
| осадка с грузом | 1,6 | 2,5 | 3,5 | 3,6 | 3,5 | 3,3 |

Таблица 7 – Основные данные малотоннажных речных танкеров

| Показатели | Номер проекта | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| | P42 | 795 | 868 | 866 |
| Класс перевозимого нефтепродукта | I, II, III, IV | I, II, III, IV | I, II, III, IV | III, IV |
| Грузоподъемность, т | 600 | 150 | 150 | 600 |
| Число цистерн | 5 | 4 | 4 | 5 |
| Грузовой насос для вязких нефтепродуктов: | | | | |
| тип | НВВ-55 | P3-30 | ЭМН-11/1-П | НВВ55 (ЭМН-ИД-П) |
| число | 1 | 1 | 1 | 2(1) |
| подача, м ³ /ч | 45 | 18 | 45 | 50 (43) |
| напор, м | 80 | 35 | 80 | 40 (80) |
| Грузовой насос для светлых нефтепродуктов | | | | |
| тип | ЦСП-57 | СЦЛ-20-24а | СЦЛ-20-24 | - |
| число | 2 | 2 | 2 | - |
| подача, м ³ /ч | 65 | 30-40 | 30-40 | - |
| напор, м | НО | 65-40 | 65-40 | - |
| Размеры, м: | | | | |
| длина | 66,0 | 50,1 | 43,1 | 65,6 |
| ширина | 9,54 | 8,84 | 7,4 | 9,6 |
| осадка с грузом | 2,08 | 0,9 | 1,15 | 1,88 |

Таблица 8 – Основные показатели нефтеналивных барж

| Показатели | Номер проекта и тип баржи | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|-------|-------|------------|-------|-------|------|-------------|---------|
| | P27 | 168Б | 459Н | 428 | 403Б | 248А | 504 | «Великан» | «Алдан» |
| Класс перевозимого нефтепродукта | III, IV | I, II | I, II | I, II, III | I | I | I | II, III, IV | IV |
| Грузоподъемность, т | 3000 | 3909 | 2050 | 6000 | 3700 | 200 | 40 | 11750 | 10000 |
| Подача, м ³ /ч: | | | | | | | | | |
| погрузки | 1000 | 1000 | 1200 | 1000 | 1000 | - | - | 1200 | 1200 |
| выгрузки | 800 | 800 | 800 | 1000 | 800 | - | - | 600 | 600 |
| Размеры, м: | | | | | | | | | |
| длина | 111,2 | 109,0 | 78,35 | 137,7 | 110,8 | 40,65 | 25,9 | 177,5 | 165,4 |
| ширина | 20,5 | 16,48 | 14,44 | 19,5 | 16,48 | 7,33 | 5,63 | 24,6 | 22,6 |
| осадка с грузом | 2,6 | 2,9 | 2,28 | 3,05 | 2,85 | 1,11 | 0,75 | 3,6 | 35,6 |

При поставках нефтепродуктов **автомобильным транспортом** расчетное количество наливных устройств, станции налива определяется для каждой марки (сорта) нефтепродуктов по формуле:

$$n_{\text{ну}} = \frac{G_{\text{сут}i} K_{\text{нв}}}{\rho_i q_{\text{ну}} K_{\text{и}} \tau_{\text{рн}}}, \quad (9)$$

где $G_{\text{сут}i}$ – среднее суточное потребление i -го нефтепродукта плотностью ρ_i ;

$K_{\text{нв}}$ – коэффициент неравномерности потребления нефтепродуктов;

$q_{\text{ну}}$ – расчетная производительность наливных устройств, м³/ч;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования наливных устройств, $K_{\text{и}} = 0,7$;

$\tau_{\text{рн}}$ – количество часов работы наливных устройств в сутки.

Характеристики автоцистерн представлены в табл. 9.

Таблица 9 – Технические характеристики некоторых автомобилей-цистерн для транспортировки светлых нефтепродуктов

| Показатель | АЦМ-4-157К | АЦ-4-131 | АЦ-4,3-131 | АЦ-5,5-4320 | АЦ-8,5-255Б | АЦ-9,5-255Б | АЦ-10-260 |
|---|------------|----------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Базовое шасси | ЗИЛ-157К | ЗИЛ-131 | ЗИЛ-131 | Урал-4320 | КрАЗ-255Б | КрАЗ-255Б | КрАЗ-260 |
| Габаритные размеры: | | | | | | | |
| длина | 6754 | 6856 | 6856 | 7684 | 8795 | 8990 | 9260 |
| ширина | 2268 | 2455 | 2455 | 2550 | 2755 | 2750 | 2722 |
| высота | 1497 | 2480 | 2480 | 2680 | 3250 | 3165 | 3230 |
| Вместимость цистерны, м ³ : | | | | | | | |
| эксплуатационная | 4,0 | 4,1 | 4,4 | 5,5 | 8,5 | 9,5 | 10,0 |
| геометрическая | 4,080 | 4,220 | 4,320 | 5,620 | 8,730 | 9700 | 10,369 |
| Время заполнения цистерны с помощью своего насоса, мин. | 12 | 12 | 12 | 18 | 22 | 20 | 22 |

| | | | | | | | |
|---|---------------------|----------|-----------------|----------|---------------------|-------------|----------|
| Время слива нефтепродукта из цистерны, мин: с помощью своего насоса самотеком | 10 15 | 12 8 | 12 8 | 18 15 | 10 40 | 12 30 | 11 45 |
| Цистерна: | | | | | | | |
| форма | Эллиптическая | | | | | | |
| Размеры цистерны, мм: | | | | | | | |
| длина | 2620 | 2625 | 2735 | 3680 | 3830 | 4030 | 4300 |
| малая ось эллипса | 950 | 1050 | 1100 | 1200 | 1220 | 1240 | 1630 |
| большая ось эллипса | 2100 | 1000 | 1900 | 2050 | 2170 | 2170 | 2170 |
| толщина обечайки | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| толщина днища | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Материал | Ст3 | Ст3 | АМг-3М | АМг-3М | Ст3 | Ст3 | Ст3 |
| Тип покрытия | Металлизация цинком | | - | - | Металлизация цинком | | |
| Толщина покрытия, мкм | 80... 170 | 80...170 | - | - | 80...170 | 80...170 | 80...170 |
| Горловина цистерны: | | | | | | | |
| количество, шт. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| диаметр, мм | 600 | 600 | 600 | 600 | 640 | 1000 | 1600 |
| Диаметр наливного люка, мм | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Насос: | | | | | | | |
| марка | СВН-80 | СВН-80 | СВН-80 | СВН-80 | СЦН-60 | СЦН-60М | СЦН-60М |
| подача, м ³ /ч | 30 | 30 | 30 | 30 | 60 | 75 | 75 |
| Рукава: | | | | | | | |
| длина, м | 3;9 | 3;9 | 3;9 | 3;9 | 3; 4,25 | 3 | 3;9 |
| диаметр, мм | 65; 25 | 75; 38 | 75; 38 | 75;38 | 75; 75 | 75 | 75; 38 |
| количество, шт. | 3;2 | 3;2 | 3;2 | 3;2 | 1;2 | 2 | 2; 1 |
| тип разъемного соединения | ТК-75 | ТК-75 | ТК-75 | ТК-75 | ТК-75 | ТК-75 | ТК-75 |
| Дыхательный клапан (давления): | РС-25 | РС-38 | РС-38 | РС-38 | ТК-75 | РС-38 | - |
| тип | Шариковый | | Комбинированный | | Механ., пружинный | Тарельчатый | |
| количество, шт. | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| регулируемое давление, МПа | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | 0,01 |
| Дыхательный клапан (вакуума): | | | | | | | |
| тип | - | - | - | - | Механ., пружин. | - | - |
| количество, шт. | - | - | - | - | 1 | - | - |
| регулируемое разрежение, МПа | - | - | - | - | 0,005 | - | - |

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить количество сливо-наливных устройств и выбрать тип эстакады для приема 20 000 т дизельного топлива в год на нефтебазе, расположенной в сельхозрайоне. Плотность дизтоплива принять равной 0,84 т/м³.

Решение.

1. Принимаем $K_{\text{нц}} = 1,2$. По табл. 6 (см. работу 7) находим $K_{\text{нц}} = 1,7$.

2. Среднесуточный грузооборот дизтоплива по формуле (2):

$$G_{\text{сут}} = \frac{200000 \cdot 1,2 \cdot 1,7}{365} = 1177,8 \text{ т/сут.}$$

3. Полагая грузоподъемность маршрута равной $G_{\text{м}} = 2000$ т, находим расчетное число маршрутов по формуле (1):

$$N_{\text{м}} = \frac{1177,8}{2000} = 0,599 \text{ (1/сут.)}$$

4. Время занятия эстакады маршрутом в наихудшем случае (четырёхосные цистерны модели 15–1500) составляет 2 часа. Поэтому необходимое число эстакад по формуле (4):

$$\Xi = \frac{0,599 \cdot 2}{24} = 0,0499 \approx 1.$$

5. Так как $0,35 < 0,599 < 1$, то в соответствии с табл. 7 количество сливо-наливных устройств должно обеспечивать одновременный слив 1/3 маршрута, т.е. в наихудшем случае (модель цистерн 15–890):

$$n_{\text{у}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1177,8}{0,84 \cdot 60} = 7,9 \approx 8.$$

6. Поскольку в сутки на нефтебазу поступает 1177,8 т дизтоплива, что больше, чем 700 т, то эстакада должна быть двусторонней. По табл. 9 выбираем тип эстакады КС–2.

Задача № 2. Определить число причалов при грузообороте $G_{\text{год}} = 3 \cdot 10^6$ т/год. Нефтепродукт плотностью $\rho = 850$ кг/м³ перевозят танкерами средним тоннажем $q_{\text{с}} = 2 \cdot 10^4$ в течение навигационного периода продолжительностью $T = 200$ сут. Танкеры оборудованы грузовыми насосами с суммарной подачей $q_{\text{н}} = 2000$ м³/ч. Зачистные насосы имеют подачу $q_{\text{з}} = 200$ м³/ч. Коэффициент неравномерности прибытия танкеров $K_{\text{н}} = 1,5$. Подогрева нефтепродукта перед сливом не требуется ($\tau_4 = 0$).

Решение.

1. Принимаем время на подготовительные операции $\tau_1 = 2$ ч и время на расчалку $\tau_5 = 1$ ч.

2. Время работы грузовых насосов по формуле (7)

$$\tau_2 = \frac{0,95 \cdot 20000}{0,850 \cdot 2000} = 11,2 \text{ ч.}$$

Принято, что 95% груза откачивается грузовыми насосами ($K = 0,95$).

3. Продолжительность процесса зачистки по формуле (8)

$$\tau_3 = \frac{(1 - 0,95) \cdot 20000}{0,85 \cdot 200} = 5,9 \text{ ч.}$$

4. Продолжительность пребывания танкера у причала

$$\tau_2 = 2 + 11,2 + 5,9 + 0 + 1 = 20,1 \text{ ч.}$$

5. Необходимое число причалов по формуле (6)

$$n_{\text{П}} = \frac{20,1 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 1,5}{200 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 10^4} = 0,94 ,$$

т.е. достаточно одного причала.

Задача № 3. Определить количество наливных устройств для налива в автоцистерны 300 т/сут дизтоплива плотностью 850 кг/м³. Станция налива расположена в промышленном районе и работает 8 часов в сутки.

Решение.

1. По табл. 4 (см. работу 7) находим величину коэффициента $K_{\text{нц}} = 1,1$.

2. Полагая расчетную производительность наливных устройств равной 50 м³/ч, по формуле (11.2.7) находим:

$$n_{\text{н.у}} = \frac{300 \cdot 1,1}{0,85 \cdot 50 \cdot 0,7 \cdot 8} = 1,39 .$$

Округляя в большую сторону, принимаем к строительству 2 наливных устройства.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9. Самоотечный слив и налив нефтепродуктов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения параметров самоотечного слива и налива нефтепродуктов на нефтебазах и нефтехранилищах при турбулентном и ламинарном режиме истечения.

Задачи работы заключаются в определении времени истечения из резервуара, коэффициента расхода при сливе, начальной и конечной скорости истечения из емкостей, времени налива в резервуары при самоотечном режиме течения жидких нефтепродуктов.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Турбулентный режим истечения

Если слив из цистерны происходит при турбулентном режиме течения (параметр Рейнольдса >2000), то время слива определяется по формуле:

$$\tau_T = \tau_0 \left[\left(\frac{2}{k^2} - 1 \right) E \left(k, \frac{\pi}{2} \right) - \left(\frac{2}{k^2} - 2 \right) F \left(k, \frac{\pi}{2} \right) \right],$$

(1)

где F – эллиптический интеграл первого рода;

E – эллиптический интеграл второго рода.

Эллиптические интегралы F и E берутся при модуле $k = \sqrt{\frac{aD}{b}}$ и амплитуде $\frac{\pi}{2}$. Значения τ_0 , a и b определяются по формулам, приведенным в табл. 3.

В формулах приняты следующие обозначения:

μ – коэффициент расхода;

f – площадь поперечного сечения трубопровода;

d – диаметр сливного трубопровода;

D_1 – диаметр котла цистерны;

D_2 – диаметр горизонтального резервуара-приемника;

L_1 – длина котла цистерны;

L_2 – длина горизонтального резервуара-приемника;

F_2 – площадь зеркала нефтепродукта в вертикальном резервуаре – приемнике.

Время слива при турбулентном режиме истечения можно определить по упрощенной формуле:

$$\tau_T = \frac{3\pi}{8k_c} \tau_0 \left(1 - \sqrt{1 - k^2} \right),$$

(2)

где k_c – коэффициент, определяемый по графику (рис. 1).

Коэффициент расхода при сливе под уровень жидкости определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}};$$

(3)

при сливе в атмосферу через сливной трубопровод или непосредственно через патрубок коэффициент расхода:

$$\mu_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}},$$

(4)

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

l – длина трубопровода;

d – диаметр трубопровода;

$\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений трубопровода и сливного прибора.

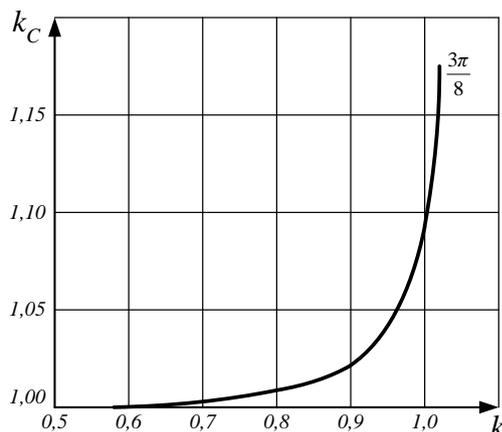


Рисунок 1 – Кривая зависимости коэффициента k_c от k

Коэффициент гидравлического сопротивления λ при турбулентном режиме истечения изменяется в сравнительно узких пределах. Поэтому определение коэффициента расхода производится в следующем порядке. Так как истечение нефтепродукта из цистерны при турбулентном режиме происходит, как правило, в области действия закона Блазиуса, задаются значением λ в пределах 0,017-0,042 и подставляют в формулу. Затем определяют начальную ω_n и конечную ω_k скорости истечения нефтепродукта из цистерны по формулам:

$$\omega_n = \mu \sqrt{2g(H + D_1 - z_2^0)},$$

$$\omega_k = \mu \sqrt{2g(H - z_{2k})}$$

(5)

где z_2^0 – возможный уровень нефтепродукта над концом сливного трубопровода в резервуаре – приемнике в начале слива; z_{2k} – тот же уровень в конце слива.

По найденным скоростям истечения определяют начальное и конечное значения параметра Рейнольдса, и по формуле Блазиуса подсчитывают λ_n и λ_k . Принятая в начале величина λ должна соответствовать среднеарифметическому λ_n и λ_k .

Когда слив нефтепродукта начинается при наличии z_2^0 , значение H – уменьшается на эту величину.

Значения коэффициентов местного сопротивления при турбулентном режиме можно принимать по табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты местных сопротивлений при турбулентном режиме

| Наименование сопротивления | ζ |
|----------------------------|---------|
|----------------------------|---------|

| | |
|--|------|
| Вход в трубу с острыми краями | 0,50 |
| Вход в трубу, если она вдается внутрь резервуара | 1,00 |
| Угольник с углом поворота 45 ⁰ | 0,44 |
| Угольник с углом поворота 90 ⁰ | 1,32 |
| Тройник | 0,32 |
| Задвижка открытая | 0,15 |
| Фильтр для светлых нефтепродуктов | 1,70 |
| Фильтр для темных нефтепродуктов | 2,20 |
| Колено плавное с углом поворота 90 ⁰ | 0,23 |
| Плавный переход | 0,26 |
| Внезапное расширение потока | 1,00 |

Гидравлическое сопротивление шлангов учитывается в формуле для потери напора коэффициентом $\lambda_{шл} = 0,10$.

2. Ламинарный режим истечения

Время слива при ламинарном режиме истечения определяется по основной формуле:

$$\tau_l = A \left\{ \frac{\pi v \alpha}{d} \left[\frac{2 - k^2}{2k^2} - \frac{\sqrt{1 - k^2}}{k^2} \right] + \frac{2}{3} \beta \sqrt{2gb} \right\} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{2}{k^2} - 1 \right) E \left(k, \frac{\pi}{2} \right) - \left(\frac{2}{k^2} - 2 \right) F \left(k, \frac{\pi}{2} \right) \right]$$

(6)

или по упрощенной формуле

$$\tau_l = \frac{\pi}{4k_c} A \left[\frac{v \alpha}{2d} \ln \frac{1}{1 - k^2} + \beta \sqrt{2gb(1 - \sqrt{1 - k^2})} \right].$$

(7)

Здесь v - коэффициент кинематической вязкости нефтепродукта. Коэффициенты α и β для ламинарного режима связаны с приведенной длиной трубопровода и параметром Рейнольдса следующим образом:

$$\frac{l_{np}}{d} = \alpha + \beta \text{Re}_T,$$

(8)

где приведенная длина трубопровода l_{np} есть сумма геометрической длины трубопровода l и длины, эквивалентной местным сопротивлениям l_m :

$$l_{np} = l + l_m = l + \frac{d}{\lambda} \sum \zeta,$$

(9)

а теоретический параметр Рейнольдса

$$\text{Re}_T = \frac{\text{Re}}{\mu}.$$

(10)

Если теперь построить график уравнения (10) в координатах $\frac{l_{np}}{d} - \text{Re}_T$, то прямая отсечет на оси $\frac{l_{np}}{d}$ отрезок α , равный геометрической длине трубопровода l , выраженной числом диаметров трубопровода: $\alpha = \frac{l}{d}$.

Тангенс угла наклона прямой выражается величиной β :

$$\beta = \frac{l_{np} - l}{d \text{Re}_T} = \frac{\sum \zeta}{\lambda \text{Re}_T}.$$

Таким образом, величина α определяется геометрическими размерами трубопровода, а β - числом и характером местных сопротивлений трубопровода.

При ламинарном режиме течения местные сопротивления зависят не только от их типа, но и от числа Рейнольдса. Коэффициенты местных сопротивлений ζ при $\text{Re}=2000$ можно принимать по табл. 2.

Таблица 2 – Коэффициенты местных сопротивлений при ламинарном режиме

| Наименование сопротивления | ζ |
|--|---------|
| Вход в трубу с острыми краями | 0,75 |
| Вход в трубу, если она вдается внутрь резервуара | 1,50 |
| Угольник с углом поворота 45^0 | 0,70 |
| Угольник с углом поворота 90^0 | 1,60 |
| Тройник | 0,38 |
| Задвижка открытая | 0,19 |
| Колено плавное с углом поворота 90^0 | 0,27 |
| Плавный переход | 0,30 |
| Внезапное расширение потока | 1,77 |

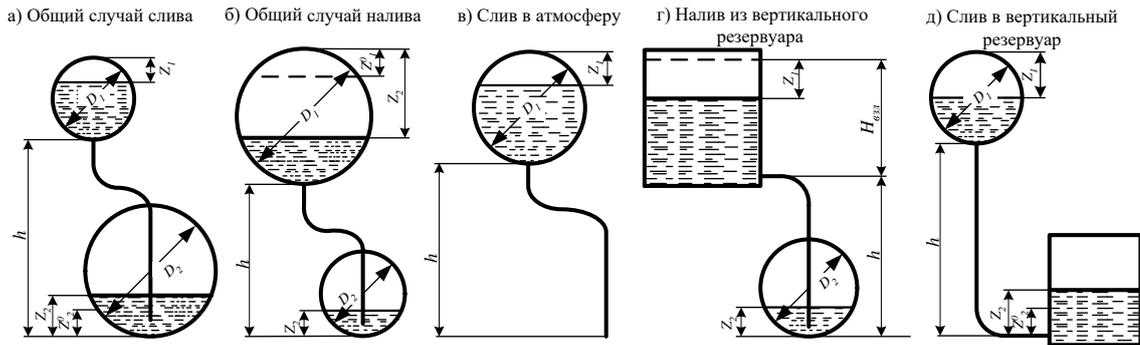


Рисунок 2 – Схемы самотечного слива и налива

Таблица 3 – Расчетные формулы для различных случаев самотечного налива и слива нефтепродукта

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| а) | б) | в) | г) | д) |
| $\tau_0 = \frac{4L_1 D_1 \sqrt{b}}{3\mu f a \sqrt{2g}}$ | $\tau_0 = \frac{4L_2 D_2 \sqrt{b}}{3\mu f a \sqrt{2g}}$ | $\tau_0 = \frac{4L_1 D_1 \sqrt{b}}{3\mu a \sqrt{2g}}$ | $\tau_0 = \frac{4L_1 D_1 \sqrt{b}}{3\mu a \sqrt{2g}}$ | $\tau_0 = \frac{4L_1 D_1 \sqrt{b}}{3\mu a \sqrt{2g}}$ |
| $A = \frac{256 L_1 D_1}{\pi g d^2 a}$ | $A = \frac{256 L_2 D_2}{\pi g d^2 a}$ | $A = \frac{256 L_1 D_1}{\pi g d^2}$ | $A = \frac{256 L_1 D_1}{\pi g d^2 a}$ | $A = \frac{256 L_1 D_1}{\pi g d^2 a}$ |
| $a = 1 + \frac{D_1 L_1}{D_2 L_2}$ | $a = 1 + \frac{D_2 L_2}{D_1 L_1}$ | $a = 1$ | $a = 1 + \frac{\pi D_1 L_1}{4 F_2}$ | $a = 1 + \frac{\pi D_1 L_1}{4 F_2}$ |
| $b = H + D_1 - z_2^0$ | $b = H + H_{\text{взл}}$ | $b = H + D_1$ | $b = H + D_1 - z_2^0$ | $b = H + D_1 - z_2^0$ |
| $k = \sqrt{\frac{a D_1}{b}}$ | $k = \sqrt{\frac{a D_2}{b}}$ | $k = \sqrt{\frac{D_1}{b}}$ | $k = \sqrt{\frac{a D_1}{b}}$ | $k = \sqrt{\frac{a D_1}{b}}$ |
| $\chi_{KP} = \frac{z_{1KP}}{D_1}$ | $\chi_{KP} = \frac{z_{2KP}}{D_2}$ | $\chi_{KP} = \frac{z_{1KP}}{D_1}$ | $\chi_{KP} = \frac{z_{1KP}}{D_1}$ | $\chi_{KP} = \frac{z_{1KP}}{D_1}$ |

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить время истечения нефтепродукта с кинематической вязкостью $\nu = 0,2$ см²/сек из цистерны диаметром $D_1 = 2,8$ м, длиной 10,0 м. Слив происходит с постоянным добавочным напором $H = 3,0$ м (рис. 2, д). Площадь зеркала нефтепродукта в резервуаре-приемнике $F_2 = 30,0$ м². Диаметр сливного трубопровода $d = 102$ мм длина 30 м. Местные сопротивления: универсальный сливной прибор, плавный переход, две задвижки, три угольника вход в резервуар.

Решение.

Убедимся, что в течение всего слива истечение происходит при турбулентном режиме. По табл. 1, с учетом того, что сопротивление

универсального сливного прибора равно сопротивлению входа в трубу с острыми кромками, имеем:

$$\sum \xi = 0,50 + 0,26 + 0,15 \cdot 2 + 1,32 \cdot 3 + 1,0 = 6,02.$$

Принимая коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda=0,032$, определим коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{0,032 \frac{30}{0,102} + 6,02}} = 0,256.$$

Тогда:

$$\omega_H = 0,256 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (3,0 + 2,8)} = 2,74 \text{ м/с};$$

$$\omega_K = 0,256 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3 - \frac{3,14 \cdot 2,8^2 \cdot 10}{4 \cdot 30}} = 1,93 \text{ м/с}.$$

$$\text{Re}_H = \frac{\omega_H \cdot d}{\nu} = \frac{274 \cdot 10,2}{0,2} = 14000;$$

$$\text{Re}_k = \frac{111 \cdot 10,2}{0,2} = 5660 > 2000.$$

Проверим значения коэффициента гидравлического сопротивления по формуле Блазеуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{14000}} = 0,029; \quad \lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{5660}} = 0,037; \quad \lambda_{cp} = 0,033 \approx 0,032.$$

Определим время слива по формулам:

$$f = \frac{\pi d_2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,102^2}{4} = 0,00816 \text{ м}^2;$$

$$a = 1 + \frac{\pi L D_1}{4 F_2^2} = 1 + \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 2,8}{4 \cdot 30} = 1,733;$$

$$b = H + D_1 = 3,0 + 2,8 = 5,8 \text{ м};$$

$$\tau_0 = \frac{4 L_1 D_1 \sqrt{\epsilon}}{3 \mu f a \sqrt{2g}} = \frac{4 \cdot 10,0 \cdot 2,8 \sqrt{5,8}}{3 \cdot 0,256 \cdot 0,00316 \cdot 1,733 \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 5640 \text{ с};$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{a D_1}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{1,733 \cdot 2,8}{5,8}} = 0,91; \quad \sin \alpha = K = 0,91$$

$$\alpha = 65^\circ 30'.$$

По таблице эллиптических интегралов $E(k; \frac{\pi}{2}) = 1,160$; $F(k; \frac{\pi}{2}) = 2,349$.

$$\tau_T \cdot 5640 \left[\left(\frac{2}{0,91^2} - 1 \right) \cdot 1,16 - \left(\frac{2}{0,91^2} - 2 \right) \cdot 2,349 \right] = 3750 \text{ с}.$$

По упрощенной формуле при $k=1,023$;

$$\tau_T = \frac{3\pi}{8 \cdot \kappa_c} \tau_0 \left(1 - \sqrt{1 - k^2} \right);$$

$\kappa_c=1,203$ [по графику $\kappa_c = f(k)$].

Задача № 2. Определить время налива цистерны диаметров $D = 2,8$ м и длиной $L_2=10$ м нефтепродуктов вязкостью $\nu=0,25$ см²/с из резервуара высотой $H_p=8,2$ м и с площадью зеркала нефтепродукта $F_1=90$ м². Разность уровней отпускового отверстия резервуара и нижней образующей котла цистерны $H=3,3$ м. Трубопровод диаметром $d=150$ мм и длиной $l=120$ м. Арматура трубопровода – две задвижки, четыре колена. Налив – под уровень жидкости в цистерне.

Решение.

1. Максимальный уровень взлива в резервуаре.

В рассматриваемом случае налив начинается при разности уровней $H + H_p = 3,3 + 8,2 = 11,5$ м.

Полагая, что режим истечения будет турбулентным, по табл. 1, найдем:
 $\sum \xi = 0,5 + 0,15 \cdot 2 + 0,23 \cdot 4 + 1,0 = 2,72$.

Коэффициент расхода

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi}} = \frac{1}{\sqrt{0,29 \frac{120}{0,15} + 2,72}} = 0,197;$$

$$a = 1 + \frac{\pi L_2 D_2}{4 F_1} = 1 + \frac{3,14 \cdot 10,0 \cdot 2,8}{4 \cdot 90} = 1,244.$$

Начальная скорость истечения:

$$\omega_H = \mu \sqrt{2g(H + H_p)} = 0,197 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 11,5} = 2,96 \text{ м/с.}$$

Конечная скорость истечения

$$\omega_K = \mu \sqrt{2g(H + H_p - a \cdot D_2)} = 0,197 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (11,5 - 2,8 \cdot 1,244)} = 2,47 \text{ м/с.}$$

Соответственно

$$\text{Re}_H = \frac{\omega_H d}{\nu} = \frac{296 \cdot 15}{0,25} = 17750;$$

$$\lambda_H = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{17750}} = 0,0280;$$

$$\text{Re}_H = 14800;$$

$$\lambda_H = 0,029;$$

$$b = H + H_p = 11,5 \text{ м; } f = 0,01765 \text{ м}^2;$$

$$\tau_0 = \frac{4L_2 D_2 \sqrt{\epsilon}}{3\mu f a \sqrt{2g}} = \frac{4 \cdot 10,0 \cdot 2,8 \sqrt{11,5}}{3 \cdot 0,197 \cdot 0,01765 \cdot 1,244 \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 6600 \text{ с;}$$

$$k = \sqrt{\frac{a D_2}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{1,244 \cdot 2,8}{11,5}} = 0,550; \sin \alpha = 0,55; \alpha = 33^\circ 20';$$

$$F\left(k; \frac{\pi}{2}\right) = 1,716; \quad E\left(k; \frac{\pi}{2}\right) = 1,443.$$

Время налива:

$$\begin{aligned}\tau_r &= \tau_0 \left[\left(\frac{2}{k^2} - 1 \right) E\left(k; \frac{\pi}{2}\right) - \left(\frac{2}{k^2} - 2 \right) F\left(k; \frac{\pi}{2}\right) \right] = \\ &= 6600 \left[\left(\frac{2}{0,55^2} - 1 \right) 1,443 - \left(\frac{2}{0,55^2} - 2 \right) 1,716 \right] = 1320 \text{ с.}\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}\tau_T &= \frac{\pi L_2 D_2}{2 \cdot k_c \cdot \mu \cdot f \cdot a \sqrt{2}} (\sqrt{H + H_{\text{взл}}} - \sqrt{H + H_{\text{взл}} - a \cdot D_2}) = \\ &= \frac{3,14 \cdot 10,0 \cdot 2,8}{2,1 \cdot 0 \cdot 0,197 \cdot 0,1765 \cdot 1,244 \sqrt{2 \cdot 9,81}} \times \\ &\times (\sqrt{11,5} - \sqrt{11,5 - 1,244 \cdot 2,8}) = 1320 \text{ с, при } k_c = 1.\end{aligned}$$

2. Минимальный взлив в резервуаре.

Минимальный взлив нефтепродукта соответствует случаю, когда над уровнем отпускового отверстия находится объем нефтепродукта, равный объему наливаемой цистерны. При этом:

$$H_{\text{взл}} = (a - 1)D_2 = (1,244 - 1)2,8 = 0,683.$$

Коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi}} = \frac{1}{\sqrt{0,037 \frac{120}{0,15} + 2,72}} = 0,177.$$

Скорость истечения:

$$\omega_H = \mu \sqrt{2g(H + H_{\text{взл}})} = 0,177 \sqrt{2 \cdot 9,81(3,3 + 0,683)} = 1,56 \text{ м/с;}$$

$$\omega_H = \mu \sqrt{2g(H - D_2)} = 0,177 \sqrt{2 \cdot 9,8(3,3 - 2,8)} = 0,55 \text{ м/с.}$$

Соответственно:

$$\text{Re}_H = \frac{\omega_H d}{\nu} = \frac{1,56 \cdot 15}{0,25} = 9350; \quad \lambda_H = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{9350}} = 0,032;$$

$$\text{Re}_k = 3300; \quad \lambda_K = 0,042; \quad \lambda_{\text{ср}} = 0,037.$$

$$b = H + H_{\text{взл}} = 3,3 + 0,683 = 3,983;$$

$$\tau_0 = \frac{4 \cdot 10,0 \cdot 2,8 \sqrt{3,983}}{3 \cdot 0,177 \cdot 0,01765 \cdot 1,244 \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 4320 \text{ с.}$$

$$k = \sqrt{\frac{aD_2}{b}} = \sqrt{\frac{1,244 \cdot 2,8}{3,983}} = 0,935; \quad \sin \alpha = 0,935; \quad \alpha = 69^\circ 10'.$$

$$F\left(k; \frac{\pi}{2}\right) = 2,470; \quad E\left(k; \frac{\pi}{2}\right) = 1,127.$$

Время налива:

$$\tau_T = 4320 \left[\left(\frac{2}{0,935^2} - 1 \right) 1,127 - \left(\frac{2}{0,935^2} - 2 \right) 2,47 \right] = 3200 \text{ с,}$$

или при $\kappa_c = 1,03$

$$\tau_T = \frac{3,14 \cdot 10,0 \cdot 2,8}{2 \cdot 1,03 \cdot 0,177 \cdot 0,01765 \cdot 1,244 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \cdot (\sqrt{3,983} - \sqrt{3,983 - 1,244 \cdot 2,8}) = 3200 \text{ с.}$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить время истечения нефтепродукта вязкостью 0,2 Ст из железнодорожной цистерны через нижнее сливное устройство по трубопроводу в резервуар (безнапорный слив). Диаметр цистерны 2,8 м, длина цистерны 10,2 м. Диаметр сливного трубопровода 102 мм, длина (30 + N) м. Разность геодезических отметок сливного патрубка цистерны и приемно-раздаточного патрубка резервуара равна 3 м. Площадь зеркала нефтепродукта в резервуаре (40 + N) м². Местные сопротивления: универсальный сливной прибор; угольник с углом поворота 90⁰; три задвижки; вход в резервуар; один тройник.

2. Определить время налива нефтепродукта вязкостью 0,25 Ст из резервуара в ж/д цистерну, диаметр которой равен 2,8 м, длина 10,2 м. Налив производится через верхнее наливное устройство под уровень жидкости. Максимальный взлив в резервуаре равен 10 м, минимальный взлив берется из условия, что в резервуаре объем жидкости равен объему одной цистерны. Площадь зеркала жидкости в резервуаре (50 + N) м². Разность геодезических отметок приемно-раздаточного патрубка резервуара и нижней образующей котла цистерны равна 3 м. Диаметр сливного трубопровода 150 мм, длина (60 + N) м. Местные сопротивления: внезапное расширение потока; три угольника с углом поворота 90⁰; три задвижки; один тройник.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10. Принудительный слив нефтепродуктов из танкеров и барж

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения параметров принудительного слива нефтепродуктов из нефтеналивных судов грузовыми насосами.

Задачи работы заключаются в изучении схемы выгрузки нефтепродуктов и в определении среднего расхода и времени слива нефтепродуктов из нефтеналивного судна.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При выгрузке нефтепродукта из нефтеналивного судна грузовыми насосами (рис. 1) средний расход слива Q_c находится из условия, что заполняется наиболее удаленный от причала резервуар.

Величина Q_c находится решением квадратного уравнения

$$\left[\frac{b}{n_n^2} + \frac{8}{\pi^2 g} \left(\sum_1^{n_1} \lambda_i \frac{l_i}{d_i^5} + \sum_1^{n_2} \frac{\zeta_i}{d_i^4} \right) \right] Q_c^2 - \frac{a}{n_n} Q_c + Z_E - Z_c + H_p - H_0 = 0,$$

(1)

где H_0 , a , b – коэффициенты, описывающей напорную характеристику грузового насоса;

n_n – количество параллельно работающих насосов;

λ_i – коэффициент гидравлического сопротивления i -го участка трубопроводной коммуникации, имеющего диаметр d_i и протяженность l_i ;

n_1 – число участков разного диаметра;

n_2 – число местных сопротивлений; ζ_i – коэффициент местного сопротивления;

Z_E , Z_c – нивелирная высота соответственно днища заполняемого резервуара и уровня нефтепродукта в судне;

H_p – уровень нефтепродукта в заполняемом резервуаре.

Ориентировочно можно принять Z_c равным высоте нижнего горизонта вод, а H_p – половине высоты резервуара.

Так как λ_i зависит от расхода, то величина Q_c находится методом последовательных приближений. Для облегчения решения данной задачи удобно представить:

$$\lambda_i = \lambda_1 \cdot \left(\frac{d_i}{d_1} \right)^m,$$

(2)

где λ_1 – коэффициент гидравлического сопротивления на участке диаметром d_1 .

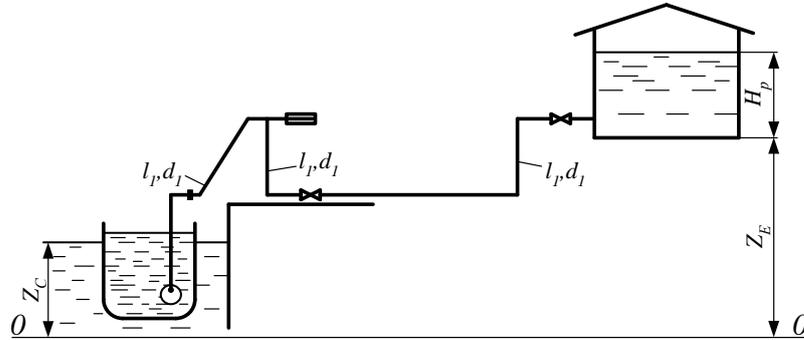


Рисунок 1 – Схема выгрузки нефтепродукта из нефтеналивного судна

Соответственно формула (1) принимает вид:

$$\left[\frac{b}{n_H^2} + \frac{8}{\pi^2 g} \left(\frac{\lambda_1}{d_1^m} \sum_1^{n_1} \frac{l_i}{d_i^{5-m}} + \sum_1^{n_1} \frac{\zeta_i}{d_i^4} \right) \right] Q_c^2 - \frac{a}{n_H} Q_c + Z_E - Z_c + H_p - H_0 = 0,$$

(3)

Подбор зачистных насосов (если их нет на судне) производится по необходимому расходу слива

$$Q_{c.тр} = \frac{V_{сл}}{\tau_{сл}^{тр}}_{реб}$$

(4)

и необходимому напору

$$H_c = \frac{8Q_{c.тр}^2}{\pi^2 g} \left(\sum_1^{n_1} \lambda_i \frac{l_i}{d_i^5} + \sum_1^{n_1} \frac{\zeta_i}{d_i^4} \right) + Z_E - Z_c + H_p,$$

(5)

где $V_{сл}$ – объем сливаемого нефтепродукта; $\tau_{сл}^{тр}$ – требуемое время слива судна.

Выбор температуры подогрева производится таким образом, чтобы выполнялось неравенство

$$H_{вак} \geq h + h_M + \Delta Z + \frac{P_S}{\rho g},$$

(6)

где $H_{вак}$ – вакууметрическая высота всасывания насосов;

h – потери напора на трение, по длине всасывающего трубопровода;

h_m – суммарные потери напора на местных сопротивлениях всасывающего трубопровода;

ΔZ – разность нивелирных высот всасывающего патрубка насоса и уровня нефтепродуктов в емкости;

P_s – давление насыщенных паров нефтепродукта при температуре перекачки.

При проектных расчетах ориентировочный внутренний диаметр трубопроводов находится по формуле

$$d_0 = \sqrt{\frac{4Q_c}{\pi W_0}}, \quad (7)$$

где W_0 – ориентировочная средняя скорость перекачки нефтепродукта (табл. 1).

Найденные ориентировочные значения диаметров округляются в большую сторону до ближайшего значения.

При правильно выбранных размерах трубопроводной коммуникации общее время слива нефтепродуктов должно быть меньше нормативного.

Расчет принудительного нижнего слива железнодорожных цистерн выполняется аналогично, однако, при расчете Q_c по формуле (3) необходимо учитывать наличие сливного прибора.

Таблица 1 – Рекомендуемые значения средней скорости нефтепродуктов

| Кинематическая вязкость нефтепродукта, мм ² /с | Средняя скорость, м/с | |
|---|-----------------------|---------------------|
| | на линии всасывания | на линии нагнетания |
| менее 11,5 | 1,5 | 2,5 |
| от 11,5 до 27,7 | 1,3 | 2,0 |
| от 27,7 до 72,5 | 1,2 | 1,5 |
| от 72,5 до 145,9 | 1,1 | 1,2 |
| от 145,9 до 438,5 | 1,0 | 1,1 |
| от 438,5 до 877,2 | 0,8 | 1,0 |

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить время слива нефтепродукта, доставляемого нефтерудовозами 1553 на нефтебазу с грузооборотом 300000 т/год. Длина трубопровода $L = 0,5$ км, плотность $\rho = 850$ кг/м³, кинематическая вязкость $6,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Коэффициент неравномерности прибытия танкеров $K_n = 1,7$. Количество причалов – 1. Подогрева нефтепродукта перед сливом не требуется. Местные сопротивления – равнопроходные со сливным трубопроводом ($\sum \xi_i = 2,6$). Принять $Z_E - Z_C = 5$ м, $H_p = 6$ м.

Решение.

1. По табл. 6 (см. пр. работу 8) для заданного типа судна находим $q_c = 2700$ т; $q_n = 500$ м³/ч; тип грузовых насосов – 8НДВ; их число – 2.

2. Из формулы (6, см. пр. работу 8) находим суммарное время пребывания судна у причала:

$$\sum \tau_i = \frac{n_{II} \cdot T \cdot q_c}{G_{200d} \cdot K_H} = \frac{1 \cdot 210 \cdot 2700}{300000 \cdot 1,7} = 1,11 \text{ сут.} = 26,6 \text{ ч.}$$

3. Принимаем время на подготовительные операции $\tau_1 = 1$ ч; время на расчалку $\tau_5 = 1$ ч. Так как зачистных насосов нефтерудовоз не имеет, то можно принять $K = 1$ и поэтому $\tau_3 = 0$. Поскольку подогрев нефтепродукта не требуется, то $\tau_4 = 0$.

4. Следовательно, необходимое время выгрузки нефтепродукта

$$\tau_{сл}^{треб} = 26,6 - 1 - 1 = 24,6 \text{ ч.}$$

5. Необходимый расход слива судна по формуле (4):

$$Q_{c.мп} = \frac{2700 \cdot 10^3}{850 \cdot 24,6} = 129,1 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Так как $Q_{c.мп}$ меньше подачи одного насоса нефтерудовоза, то для выгрузки нефтепродукта достаточно работы одного насоса, т.е. в нашем случае $n_n = 1$.

6. По табл. 1 для заданной вязкости нефтепродукта находим его рекомендуемую скорость в трубопроводе $W_0 = 2,5$ м/с.

7. Ориентировочный внутренний диаметр сливного трубопровода по формуле (7):

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 129,1}{3600 \cdot 3,14 \cdot 2,5}} = 0,135 \text{ м.}$$

По табл. 2 выбираем стандартный диаметр трубопровода. Так как он будет длительного пользования, то с учётом неизбежной коррозии толщину стенки принимаем $\delta = 7$ мм, в этом случае необходимый внутренний диаметр будет обеспечен выбором трубы с $D_n = 0,152$ м.

Таблица 2 – Бесшовные трубы (ГОСТ 550–75)

| Наружный диаметр, мм | Номинальная толщина стенки, мм | Характеристика материала труб | | | Коэффициент надежности по материалу K |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|---|
| | | Марка стали | $\sigma_{вр}$, МПа | $\sigma_{т}$, МПа | |
| 48 | 4; 5 | 10 | 353 | 216 | 1,55 |
| (57)* | 4; 5 | 20 | 431 | 255 | |
| 60 | 4; 5; 6 | 10Г2 | 470 | 265 | |
| 76 | 4; 5; 6; 8 | | | | |
| (80) | 4; 5 | | | | |
| 89 | 4; 5; 6; 7; 8 | | | | |
| (102) | 5; 6; 7; 8; 9; 10; | | | | |
| | 11; 12; 14; | | | | |

| | | | | | |
|-----|----------------------------------|--|--|--|--|
| 108 | 4; 5; 6; 7; 8 | | | | |
| 114 | 6; 7; 8; 9; 10; 11 | | | | |
| 127 | 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14 | | | | |
| 133 | 5; 6; 7; 8; 9 | | | | |
| 146 | 11 | | | | |
| 152 | 6; 7; 8; 9; 10; 11; 14; 16 | | | | |
| 159 | 6; 7; 8; 9; 10; 11; 14; 16 | | | | |
| 168 | 11; 12 | | | | |
| 194 | 7; 8; 9; 10; 12 | | | | |
| 219 | 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20 | | | | |

Примечание: Трубы, размеры которых указаны в скобках – для ремонтных целей.

8. Фактический внутренний диаметр сливного трубопровода:

$$d = 0,152 - 2 \cdot 0,007 = 0,138 \text{ м.}$$

9. Число Рейнольдса при необходимом расходе слива судна:

$$Re = \frac{4 \cdot 129,1}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,138 \cdot 6,5 \cdot 10^{-6}} = 50929 .$$

10. Чтобы учесть условия работы трубопровода на перспективу, принимаем эквивалентную шероховатость равной $2 \cdot 10^{-4}$ м (как для труб бывших в эксплуатации). Соответственно относительная шероховатость, переходные числа Рейнольдса равны:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,138} = 1,45 \cdot 10^{-3};$$

$$Re_I = \frac{10}{1,45 \cdot 10^{-3}} = 6897;$$

$$Re_{II} = \frac{500}{1,45 \cdot 10^{-3}} = 344828 .$$

11. Так как $Re_I < Re < Re_{II}$, то течение нефтепродукта происходит в зоне смешанного трения турбулентного режима. Поэтому коэффициент гидравлического сопротивления вычисляем по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(1,45 \cdot 10^{-3} + \frac{68}{50929} \right)^{0,25} = 0,0253 .$$

12. Напор, необходимый для слива нефтепродукта, по формуле (5):

$$H_c = \frac{8 \cdot 129,1^2}{(3600 \cdot 3,14)^2 \cdot 9,81} \cdot \left(0,0253 \cdot \frac{300}{0,138^5} + \frac{2,6}{0,138^4} \right) + 5 + 6 = 27,9 \text{ м.}$$

Так как H_c меньше номинального напора насоса 8НДВ, то строить насосную станцию нет необходимости.

13. Для насосов 8НДВ по приложению 22 находим величины коэффициентов в уравнении напорной характеристики: $H_0 = 31,6$ м; $a = 2,95 \cdot 10^{-2}$ ч/м²; $b = -0,733 \cdot 10^{-6}$ ч²/м⁵.

14. Вычисляем коэффициенты в уравнении:

$$\frac{b}{n_H^2} + \frac{8}{\pi^2 g} \cdot \left(\frac{\lambda L}{d^5} + \frac{\sum \zeta}{d^4} \right) = \frac{-0,733 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{1} + \frac{8}{3,14^2 \cdot 9,81} \times$$

$$\times \left(\frac{0,0253 \cdot 300}{0,138^5} + \frac{2,6}{0,138^4} \right) = 13127 \frac{\text{с}^2}{\text{м}^5};$$

$$\frac{a}{n_H} = \frac{2,95 \cdot 10^{-2} \cdot 3600}{1} = 106,2 \frac{\text{с}}{\text{м}^2};$$

$$Z_E - Z_C + h_p - H_0 = 5 + 6 - 31,6 = -20,6 \text{ м.}$$

15. Решаем полученное квадратное уравнение:

$$13127 \cdot Q_C^2 + 106,2 \cdot Q_C - 20,6 = 0;$$

что дает

$$Q_C = \frac{-106,2 + \sqrt{106,2^2 + 4 \cdot 13127 \cdot 20,6}}{2 \cdot 13127} = 0,0358 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 128,8 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Так как найденная величина Q_C практически не отличается от $Q_{c.тр}$ то уточнять величину λ нет необходимости.

16. Фактическое время слива судна:

$$\tau_{сл}^{факт} = \frac{2700 \cdot 10^3}{850 \cdot 128,8} = 24,7 \text{ ч.}$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Из пункта A перекачивается нефтепродукт насосом с производительностью Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) и одновременно подается в резервуары 4, 5, 6, 7 (рис. 2). На входе в резервуар 7 избыточное давление должно быть не менее P_2 (МПа). В местах разветвлений трубопроводов установлены тройники, в начале каждого участка и перед резервуарами установлены задвижки. Определить диаметры отдельных участков трубопровода и подобрать насосы. Остальные данные представлены в табл. 3.

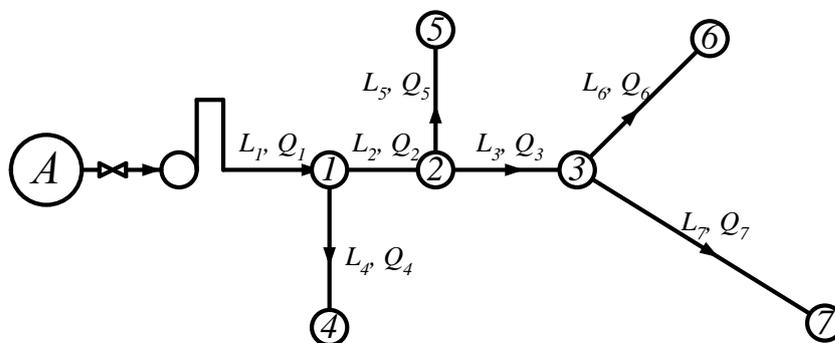


Рисунок 2 – Сеть распределительных трубопроводов

Таблица 3 – Исходные данные к задаче 1

| | Номер варианта | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| ρ , кг/м ³ | 730 | 750 | 770 | 780 | 800 | 810 | 840 | 860 | 775 | 845 |
| ν , сСт | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| P , МПа | 0,1 | 0,2 | 0,15 | 0,25 | 0,3 | 0,2 | 0,25 | 0,35 | 0,3 | 0,4 |
| Q , м ³ /ч | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 700 | 900 | 600 | 1000 | 800 |
| q_4 , м ³ /ч | 130 | 200 | 250 | 250 | 280 | 200 | 200 | 100 | 250 | 100 |
| q_5 , м ³ /ч | 140 | 160 | 150 | 200 | 220 | 150 | 200 | 150 | 350 | 250 |
| q_6 , м ³ /ч | 180 | 240 | 200 | 100 | 150 | 180 | 300 | 200 | 150 | 200 |
| L_1 , м | 100 | 110 | 120 | 130 | 110 | 90 | 140 | 100 | 120 | 80 |
| L_2 , м | 120 | 100 | 110 | 130 | 90 | 120 | 50 | 130 | 90 | 110 |
| L_3 , м | 80 | 90 | 100 | 120 | 70 | 110 | 60 | 90 | 110 | 130 |
| L_4 , м | 150 | 130 | 120 | 110 | 150 | 140 | 170 | 100 | 160 | 100 |
| L_5 , м | 200 | 180 | 160 | 120 | 190 | 140 | 100 | 170 | 150 | 150 |
| L_6 , м | 180 | 200 | 150 | 170 | 90 | 160 | 50 | 80 | 100 | 160 |
| L_7 , м | 200 | 160 | 150 | 160 | 100 | 140 | 50 | 70 | 120 | 140 |

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 11. Сифонный слив железнодорожных цистерн нефтепродуктов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения параметров сифонного слива железнодорожных цистерн.

Задачи работы заключаются в определении диаметров трубопроводных коммуникаций, их гидравлический расчет, подборе насосов для производства слива, проверке коммуникаций на устойчивость всасывания.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При неисправных сливных приборах железнодорожных цистерн или отсутствии сливных устройств, для герметизированного слива нефтепродуктов применяют верхний (сифонный) слив (рис. 1).

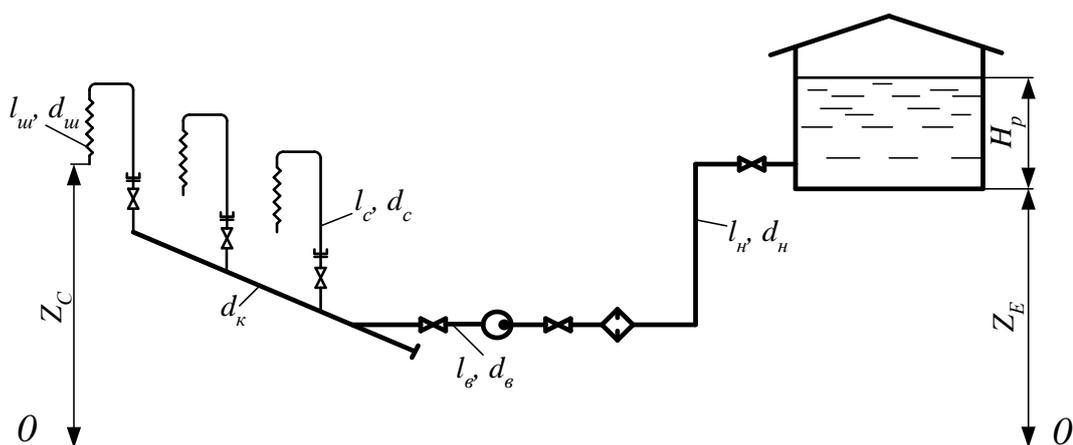


Рисунок 1 – Расчетная схема сифонного слива железнодорожных цистерн

Алгоритм расчета сифонного слива таков. Исходя из объема нефтепродукта в цистерне и требуемой продолжительности слива, определяется необходимый расход в одном стояке Q_c . Затем по формуле (7,

см. пр. работу 10) находятся расчетные диаметры сливного стояка, коллектора, всасывающего и нагнетательного трубопроводов. После этого выбираются их стандартные значения.

Потери напора в стояке

$$h_c = \left(\lambda_{ш} \frac{l_{ш}}{d_c} + \lambda_c \frac{l_c}{d_c} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{v_c^2}{2g} = h_{ш} + \lambda_c \frac{l_{c.нр}}{d_c} \cdot \frac{v_c^2}{2g},$$

(1)

где $\lambda_{ш}$, $l_{ш}$ – коэффициент гидравлического сопротивления и длина шланга;

λ_c , l_c – то же для стояка диаметром d_c ;

$\sum \zeta$ – суммарный коэффициент местных сопротивлений в стояке;

v_c – средняя скорость движения нефтепродукта в стояке;

$l_{c.нр}$ – приведенная длина стояка.

Расход нефтепродукта в коллекторе

$$Q_K = Q_C \cdot n_C,$$

(2)

где n_C – количество стояков, подключенных к коллектору слева или справа (берем большее) от точки присоединения всасывающего трубопровода.

Потери напора в коллекторе, как трубопроводе с переменным расходом, находятся по формуле

$$h_K = n_K \cdot \left(\lambda_K \frac{l_K}{d_K} + \sum \zeta_K \right) \cdot \frac{v_K^2}{2g} = n_K \cdot \lambda_K \frac{l_{K.нр}}{d_K} \cdot \frac{v_K^2}{2g},$$

(3)

где n_K – коэффициент, учитывающий изменение расхода по длине коллектора: при ламинарном режиме $n_K = 0,5$, а при турбулентном – $n_K = 1/3$;

λ_K – коэффициент гидравлического сопротивления наиболее протяженной ветви коллектора длиной l_K и диаметром d_K при движении нефтепродукта со средней скоростью v_K ;

$\sum \zeta_K$ – сумма коэффициентов местного сопротивления коллектора;

$l_{K.нр}$ – приведенная длина коллектора.

Расходы во всасывающем и нагнетательном трубопроводах сливной коммуникации

$$Q = Q_C \cdot n_{co},$$

(4)

где n_{co} – общее число стояков, подключенных ко всему коллектору.

По величине расхода Q находятся потери напора на трение во всасывающем $h_в$, и в нагнетательном $h_н$ трубопроводах.

Суммарные потери напора в трубопроводах фронта слива с учетом уровня нефтепродукта в резервуаре H_p

$$H = h_c + h_K + h_в + h_н + \Delta Z + H_p,$$

(5)

где ΔZ – разность нивелирных высот конца и начала трубопровода.

По требуемому напору H и подаче Q выбирается тип насоса, после чего выполняется расчет фактически обеспечиваемого им расхода слива Q_ϕ решением квадратного уравнения

$$A_c Q_\phi^2 + B_c Q_\phi + C_c = 0,$$

(6)

где A_c, B_c, C_c – расчетные коэффициенты:

$$A_c = \frac{8}{\pi^2 g} \left[\frac{\lambda_{ш} \cdot l_{ш} + \lambda_c \cdot l_{c.np}}{n_{co}^2 \cdot d_c^5} + n_k \lambda_k \frac{l_{к.np}}{d_k^5} \left(\frac{n_c}{n_{co}} \right)^2 + \lambda_v \frac{l_{в.np}}{d_v^5} + \lambda_n \frac{l_{н.np}}{d_n^5} \right] + b;$$

$$B_c = -a;$$

$$C_c = \Delta Z + H_p - H_0.$$

При решении (6) в качестве первого приближения Q_ϕ для расчета λ_c необходимо брать величину Q_c .

Расчет сифонного слива завершается проверкой коммуникаций на устойчивость всасывания. Нормальная работа сливного стояка возможна при условии, что остаточное давление в любой точке трубопроводной сети больше давления насыщенных паров сливаемого нефтепродукта при температуре перекачки. При несоблюдении этого условия нарушается сплошность нефтепродукта в трубопроводе, и сифонный слив становится невозможным.

Задача проверки коммуникаций на устойчивость всасывания решается графо-аналитически. Для этого сначала в масштабе изображают цистерну, стояк (рис. 2) и всю трубопроводную коммуникацию, а затем строят линию остаточных напоров.

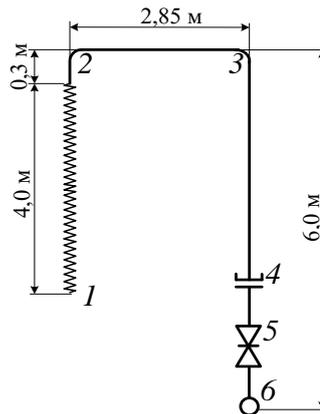


Рисунок 2 – Геометрические размеры стояка и его характерные точки

Построение начинают с того, что от конца шланга вверх откладывают напор

$$H_A = \frac{P_A - P_S}{\rho g},$$

(7)

равный высоте столба нефтепродукта, создающего минимальное для данной местности атмосферное давление, за вычетом напора, соответствующего давлению насыщенных паров нефтепродукта.

Найденные значения потерь напора на каждом участке откладываются по вертикали вниз от линии напора в системе. Получают график остаточных напоров.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Произвести гидравлический расчет коллектора для слива маршрута из 10 цистерн с нефтепродуктом вязкостью $\nu = 0,05 \text{ см}^2/\text{с}$ при $t = + 5^\circ\text{C}$. Время слива маршрута 1,5 ч. Расстояние между сливными стояками 12 м. Внутренний диаметр сливного стояка $d = 102 \text{ мм}$, коллектора $d = 207 \text{ мм}$ (рис. 3). Емкость цистерны 61 м^3 .

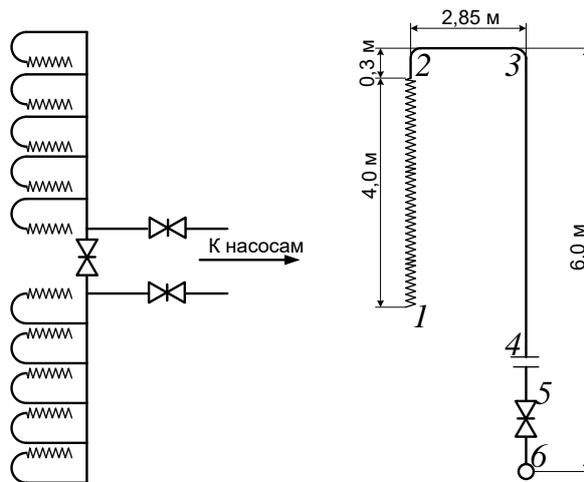


Рисунок 3 – Коллектор для сливо-наливных операций с цистернами

Решение.

Расход нефтепродукта через один стояк:

$$q = \frac{61,0}{1,5} = 41 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0114 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Средняя скорость жидкости

$$\omega_1 = \frac{4g}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0114}{3,14 \cdot 0,102^2} = 1,4 \text{ м/с}.$$

Параметр Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_{11} d}{\nu} = \frac{140 \cdot 10,2}{0,5} = 28000.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{28000}} = 0,0246.$$

Потеря напора в шланге:

$$h_1 = \lambda_{ii} \frac{l_{ш} \omega_1^2}{d \cdot 2g} = 0,1 \frac{4}{0,102} \cdot \frac{1,4^2}{2 \cdot 9,81} = 0,78 \text{ м.}$$

Геометрическая длина стояка:

$$l = 0,3 + 2,85 + 6,0 = 9,15 \text{ м.}$$

Находим сумму местных сопротивлений:

$$\sum \xi = 1,0 + 0,23 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,32 = 2,08.$$

Приведенная длина стояка:

$$l_{np} = l + \frac{d}{\lambda} \sum \xi = 9,15 + \frac{0,102}{0,0246} 2,08 = 17,8 \text{ м.}$$

Потеря напора в стояке:

$$h_2 = 0,0246 \frac{17,8}{0,102} \cdot \frac{1,4^2}{2 \cdot 9,81} = 0,49 \text{ м.}$$

Расход нефтепродукта через одну половину коллектора:

$$Q = 5q = 5 \cdot 0,0114 = 0,057 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Скорость жидкости при выходе из коллектора:

$$\omega_2 = \frac{4Q}{\pi d_k^2} = \frac{4 \cdot 0,057}{3,14 \cdot 0,207^2} = 1,69 \text{ м/с.}$$

Параметр Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_2 d}{\nu} = \frac{169 \cdot 20,7}{0,05} = 70000.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{70000}} = 0,0194.$$

Приведенная длина коллектора:

$$l_{np} = l + \frac{d}{\lambda} \sum \xi = 12 \cdot 4 + 6 \frac{0,207}{0,0194} \cdot 0,32 \cdot 5 = 71,1 \text{ м.}$$

Потеря напора в коллекторе, как в трубопроводе с переменным расходом:

$$h_3 = \frac{1}{3} \lambda \frac{l_{np} \omega_2^2}{d_K \cdot 2g} = \frac{1}{3} \cdot 0,0194 \cdot \frac{71,1}{0,207} \cdot \frac{1,69^2}{2 \cdot 9,81} = 0,32 \text{ м.}$$

Полные потери напора определяется как сумма последовательных сопротивлений:

$$h_k = 0,78 + 0,43 + 0,32 = 1,53 \text{ м.}$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача № 1. Произвести гидравлический расчет трубопроводов для схемы слива, изображенной на рис. 4. Построить характеристики трубопроводов и подобрать центробежный насос. Отметки дна резервуара, оси насоса и нижней образующей цистерны одинаковы. Вязкость нефтепродукта $\nu = (0,05 + 0,1N) \text{ см}^2/\text{с}$.

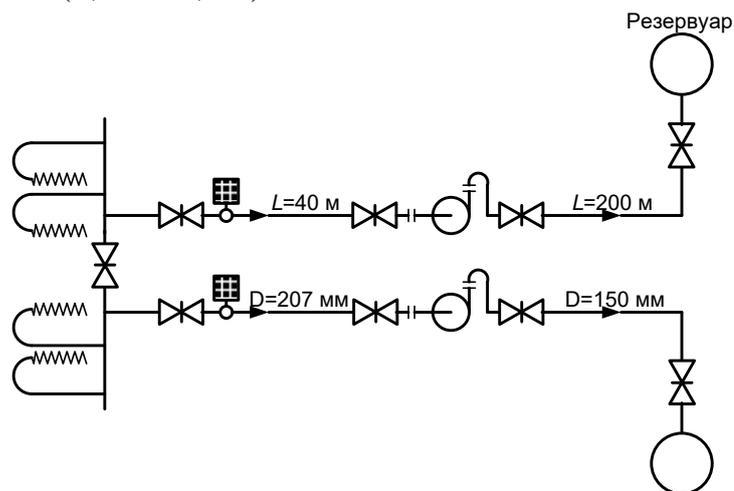


Рисунок 4 – Схема слива для задачи № 1

Задача № 2. Определить производительность двух параллельно соединенных насосов (рис. 5). Подобрать двигатели к насосам и установить, как влияет высота резервуаров ($H = 11,5 \text{ м}$) на производительность перекачки. Разность геодезических отметок дна резервуара и цистерны $z_2 = 10 \text{ м}$, плотность нефтепродукта $\rho = (750 + N) \text{ кг/м}^3$.

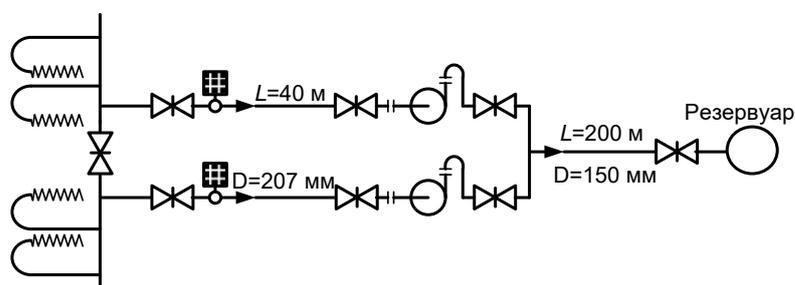


Рисунок 5 – Схема слива для задачи № 2

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12. Принудительный налив нефтепродуктов в транспортные емкости

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения параметров принудительного налива нефтепродуктов в транспортные емкости.

Задачи работы заключаются в определении диаметров участков трубопроводной коммуникации, подборе насоса для осуществления налива, расчете фактического расхода и продолжительности налива.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Исходными данными для расчета являются: количество заполняемых цистерн $n_{ц}$, средний полезный объем одной цистерны $V_{ц}$, требуемая продолжительность налива τ_n , а также схема коммуникаций.

Требуемая подача насоса определяется по формуле:

$$Q_n = \frac{n_{ц} V_{ц}}{\tau_n},$$

(1)

Расход в коллекторе:

$$Q_k = \frac{Q_n}{K_k},$$

(2)

где κ_{κ} – коэффициент, учитывающий схему подключения насоса к коллектору: при симметричном подключении $\kappa_{\kappa}=2$, при несимметричном $1 < \kappa_{\kappa} < 2$.

Средний расход нефтепродукта в стояке:

$$Q_c = Q_n / n_{\text{ц}},$$

(3)

Диаметры всех участков находятся с учетом рекомендуемых в табл. 1 (см. пр. работу 10) скоростей перекачки нефтепродуктов.

Напор H_n , который должен развивать насос, определяется суммированием расчетных потерь на трение, потерь на местных сопротивлениях и разности нивелирных высот цистерны и резервуара.

По величинам H_n и Q_n подбирается тип насоса.

Фактическая подача насоса находится решением квадратного уравнения (6, см. пр. работу 11), в котором расчетные коэффициенты $A_{\text{ц}}$, $B_{\text{ц}}$ и $C_{\text{ц}}$ находятся по формулам:

$$A_{\text{ц}} = b + \frac{8}{\pi^2 g} \left[\frac{\lambda_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}} + \lambda_{\text{с}} \cdot l_{\text{с.нр}}}{n_{\text{с}}^2 \cdot d_{\text{с}}^5} + n_{\kappa} \lambda_{\kappa} \frac{l_{\kappa.\text{нр}}}{\kappa_{\kappa}^2 d_{\kappa}^5} + \lambda_{\text{в}} \frac{l_{\text{в.нр}}}{d_{\text{в}}^5} + \lambda_{\text{н}} \frac{l_{\text{н.нр}}}{d_{\text{н}}^5} \right];$$

$$B_{\text{ц}} = -a;$$

$$C_{\text{ц}} = D_{\text{ц}} + Z_{\text{ц}} - Z_{\text{р}} - H_0 - H_{\text{р}}, \quad (4)$$

где $l_{\text{с.нр}}$, $l_{\kappa.\text{нр}}$, $l_{\text{в.нр}}$, $l_{\text{н.нр}}$ – приведенная длина соответственно стояка, коллектора, всасывающего и нагнетательного трубопроводов;

$D_{\text{ц}}$ – диаметр котла цистерны;

$H_{\text{р}}$ – взлив нефтепродукта в резервуаре.

При расчете λ_i в первом приближении необходимо принимать расход, по которому определялся диаметр участка d_i .

В случае самотечного налива при расчете коэффициентов $A_{\text{ц}}$, $B_{\text{ц}}$ и $C_{\text{ц}}$ необходимо принять $H_0 = a = b = 0$.

Алгоритм расчета налива транспортных средств такой же, как и при принудительном сливе.

При наливе транспортных емкостей должна быть исключена опасность воспламенения паров разрядами статического электричества.

По специфике искрообразования операция по наливу нефтепродуктов в цистерны разделяется на три стадии:

1) начальную – длящуюся с начала подачи продукта до момента затопления отверстия шланга;

2) основную – длящуюся до окончания подачи продукта;

3) завершающую – заканчивающуюся извлечением загрузочного шланга из цистерны.

На первой стадии допустимая скорость заполнения цистерны $v_{\text{доп.1}}$ определяется из условия, что входная плотность зарядов статического электричества не должна превышать допустимой величины, что дает

$$v_{\text{дон.1}} = \left[\frac{17,7 \cdot 10^{-6}}{\beta_1} d^{2-m_1} \cdot (1,14 - 2 \lg \varepsilon) \right]^{\frac{1}{n-1}},$$

(5)

где β_1 ; m_1 ; n – постоянные коэффициенты, значения которых для нефтепродуктов с электропроводностью γ даны в табл. 1;

ε – относительная шероховатость труб.

На основной стадии налива скорость нефтепродукта лимитируется условиями разряда статического электричества между поверхностью наэлектризованного продукта и элементами конструкции цистерны

$$v_{\text{дон.2}} = 2,59 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{\varphi_{\text{дон}} \cdot L_{\text{ц}} \cdot \gamma \cdot (1,14 - 2 \lg \varepsilon)}{\eta \cdot \beta_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot d^{m_1}}},$$

(6)

где $\varphi_{\text{дон}}$ – безопасное допустимое значение потенциала поверхности нефтепродукта в цистерне, $\varphi_{\text{дон}} = 3 \cdot 10^4$ В;

$L_{\text{ц}}$ – длина цистерны, м;

η – коэффициент, учитывающий влияние наливного стояка на электрическое поле в цистерне, при $L_{\text{ц}} = 9 \dots 11$ м - $\eta = 0,75$, а при $L_{\text{ц}} > 11$ м - $\eta = 1$;

ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость нефтепродукта (табл. 1).

Таблица 1 – Величины коэффициентов β_1 ; m_1 ; n и абсолютная диэлектрическая проницаемость нефтепродуктов

| Нефтепродукт | $\gamma \cdot 10^{10}$, м/м | $\beta_1 \cdot 10^6$ | n | m_1 | $10^{-12} \cdot \varepsilon_0$ Ф/м |
|-------------------|------------------------------|----------------------|------|-------|------------------------------------|
| Топливо ТС-1 | 0,48...1,25 | 12,64 | 1,97 | 1,15 | 18,6 |
| Бензин А-72 | 0,65... 2,56 | 7,92 | 2,07 | 1,21 | 17,5 |
| Бензин А-76 | 1,77...5,60 | 8,44 | 1,81 | 0,92 | 17,5 |
| Бензин А-72 эт. | 2,79...4,45 | 19,8 | 1,69 | 1,69 | 17,5 |
| Бензин А-76 эт. | 1,50...3,16 | 36,6 | 1,76 | 1,21 | 17,5 |
| Бензин А-93 эт. | 4,02... 25,20 | 21,64 | 1,9 | 1,03 | 17,5 |
| Дизтопливо летнее | 3,00... 11,30 | 21,88 | 2,57 | 1,52 | 18 |
| Дизтопливо зимнее | 10,80...11,80 | 32,52 | 2,08 | 1,22 | 18 |

Для предотвращения разряда статического электричества на завершающей стадии налива рукав надо извлекать из цистерны не менее чем через 2 минуты после окончания заполнения цистерны.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Произвести поверочный расчет всасывающего трубопровода (рис. 3, см. работу 11) на устойчивость всасывания автомобильного бензина при температуре 30°C. Кинематическая вязкость бензина при температуре перекачки $\nu = 0,0065$ см²/с упругость

паров 400 мм рт. ст. плотность $\rho=0,715 \text{ т/м}^3$. Производительность насоса 200 м³/ч. Минимальное атмосферное давление $P_a = 720 \text{ мм рт. ст.}$. Отметки днища цистерны и оси насоса одинаковы.

Решение.

Расход нефтепродукта через один стояк:

$$q = \frac{200}{5} = 40 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0111 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Скорость нефтепродукта в стояке:

$$\omega = \frac{4q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0111}{3,14 \cdot 0,102^2} = 1,36 \text{ м/с}.$$

Параметр Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega d}{\nu} = \frac{136 \cdot 10,2}{0,0065} = 214000.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления по формуле Н.И. Белокопя:

$$\lambda = \frac{1}{(1,83 \lg \text{Re} - 1,70)^2} = \frac{1}{(1,83 \lg 214000 - 1,70)^2} = 0,0155.$$

Потеря напора на участке 2-3:

$$h_{2-3} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2}{2 \cdot 9,81} = \left(0,0155 \frac{2,85}{0,102} + 0,23 \right) \frac{1,36^2}{2 \cdot 9,81} = 0,1 \text{ м}.$$

Потеря напора на участке 3-4:

$$h_{3-4} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2}{2g} = \left(0,0155 \frac{6,0}{0,102} + 0,15 \cdot 2 + 0,32 \right) \frac{1,36^2}{2 \cdot 9,81} = 0,14 \text{ м}.$$

Расход нефтепродукта через одну половину коллектора:

$$Q = 5q = 5 \cdot 0,0111 = 0,0555 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Скорость жидкости при выходе из коллектора:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0555}{3,14 \cdot 0,207^2} = 1,65 \text{ м/с}.$$

Параметр Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega d}{\nu} = \frac{165 \cdot 20,7}{0,0065} = 526000.$$

Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\lambda = \frac{1}{(1,83 \lg \text{Re} - 1,70)^2} = \frac{1}{(1,83 \lg 526000 - 1,70)^2} = 0,0130.$$

Потеря напора на участке 4-5 (в коллекторе):

$$h_{4-5} = \frac{1}{3} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2}{2g} = \frac{1}{3} \left(0,13 \frac{54}{0,207} + 0,32 \cdot 5 \right) \cdot \frac{1,65^2}{2 \cdot 9,81} = 0,23 \text{ м}.$$

Потеря напора на участке 5-6 в (во всасывающем трубопроводе):

$$H = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{\omega^2}{2g} = \left(0,13 \frac{40}{0,207} + 0,15 \cdot 2 + 1,70 \right) \cdot \frac{1,65^2}{2 \cdot 9,81} = 0,62 \text{ м.}$$

Построим график остаточных напоров. На чертеже коммуникации, выполненном в масштабе (рисунок), наносим уровень минимального атмосферного давления H_a (в м столба жидкости), отмеряя его от нижней образующей цистерны:

$$H_a = \frac{\rho_a \rho_{pm}}{\rho_0} = \frac{720 \cdot 13,6}{0,715 \cdot 1000} = 13,7 \text{ м бензинового столба.}$$

От уровня атмосферного давления откладываем вниз потери напора на участке 1-2 и получаем точку 2. Ордината 2-2 представляет собой остаточный напор в точке 2. Аналогичным образом получаем точки 3, 4, 5 и 6. Ломанная 1-2-3-4-5-6 представляет собой график остаточных напоров для данной коммуникации.

Выразим теперь упругость паров бензина в метрах бензинового столба:

$$H_y = \frac{400 \cdot 13,6}{0,715 \cdot 1000} = 7,6 \text{ м бензинового столба.}$$

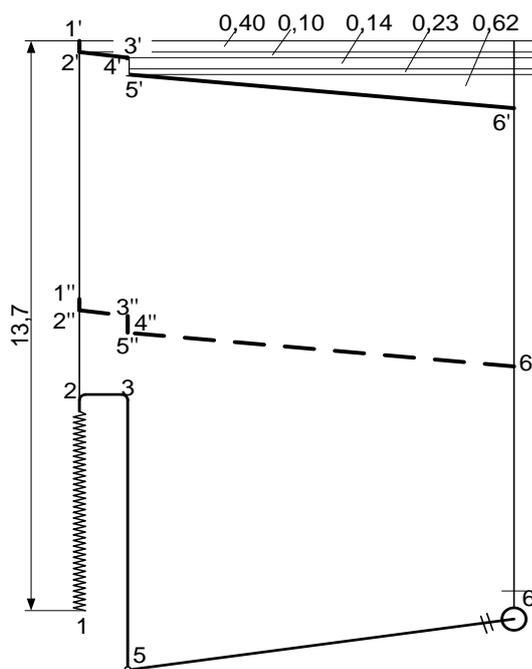


График остаточных напоров

Параллельно линии остаточных напоров на расстоянии 7,6 м строим линию упругости пара.

Из полученного графика видно, что линия упругости пара нигде не пересекает коммуникацию, следовательно, во всей всасывающей линии не будет вскипания бензина. Наименее надежной точкой коммуникации, с точки зрения образования газовой пробки, является точка 3, где ордината 3-3 наименьшая.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13. Расчет необходимого давления на входе в насос при перекачке нефти и нефтепродуктов. Оценка фактических потерь

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков обоснования необходимого давления на входном насосе при перекачке жидких углеводородов, а также навыков оценки фактических потерь нефти и нефтепродуктов при заполнении транспортных емкостей и при опорожнении нефтепроводов и резервуаров.

Задачи работы заключаются в определении давления насыщенных паров перекачиваемых жидких углеводородов, в расчете потерь нефти (нефтепродуктов) при заполнении транспортных емкостей с учетом коэффициента степени насыщенности паровоздушной смеси и превышения объема паровоздушной смеси над объемом закачиваемого нефтепродукта, в расчете расходов нефти (нефтепродуктов), вытекающих через отверстия в стенке нефтепроводов и резервуаров с учетом формы отверстия, толщины стенки емкостей, условий истечения, приемной среды.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Расчет необходимого давления

Для нормальной работы насоса необходимо, чтобы минимальное давление на входе в него превышало давление насыщенных паров перекачиваемой среды на величину, соответствующую разности допустимого кавитационного запаса и скоростного напора на входе в насос:

$$\frac{P_{BX}}{\rho g} \geq \frac{P_S}{\rho g} + \Delta h_{доп.н} - \frac{v_{BX}^2}{2g};$$

(1)

$$v_{BX} = \frac{4Q}{\pi d_{BX}^2},$$

(2)

Давление насыщенных паров перекачиваемых жидкостей (в Па) может быть найдено по одной из следующих зависимостей:

- для нефтей

$$P_S = P_a \exp\left[\frac{1 - T_{НК}}{T} \cdot 10,53\right];$$

(3)

- для автомобильных бензинов

$$P_S \approx 57000 \cdot \exp[-0,0327(T_{НК} - T)]$$

(4)

- для авиационных бензинов

$$P_S \approx 65000 \cdot \exp[T_{НК} - T],$$

(5)

где $T_{НК}$ - температура начала кипения нефти или бензина, К.

3.2. Потери нефти и нефтепродуктов при заполнении транспортных емкостей

Потери нефти (нефтепродуктов) при заполнении транспортных емкостей (нефтеналивных судов, железнодорожных и автомобильных цистерн, бочек) определяется по формуле

$$G_T = k_T V_{зак} \rho_y \left(\frac{P_S}{P_\Gamma} \right),$$

(6)

где k_T - коэффициент, учитывающий степень насыщенности паровоздушной смеси и превышение объема вытесняемой ПВС над объемом $V_{зак}$ закачиваемого нефтепродукта;

ρ_y - плотность паров нефтепродукта;

P_Γ - давление в газовом пространстве.

$$\rho_y = \frac{P_{\Gamma} M_y}{\bar{R} T_{\Gamma}},$$

(7)

где P_{Γ} , T_{Γ} – абсолютное давление и температура в ГП;

\bar{R} – универсальная газовая постоянная, $\bar{R} = 8314$ Дж/(кмоль·К);

M_y – молярная масса паров нефтепродукта, кг/кмоль.

Молекулярная масса вычисляется по формулам:

– для бензинов

$$M_y = 60,9 - 0,306 T_{H.K.} + 0,001 T_{H.K.}^2;$$

(8)

– для нефтей

$$M_y = 0,0043 (T_{H.K.} - 61)^{1,7},$$

(9)

где $T_{H.K.}$ – температура начала кипения нефтепродукта (нефти), К;

Величина коэффициента k_T зависит от условий налива. При заполнении транспортных емкостей сверху открытой струей:

$$k_T = (0,7 + \sqrt[3]{\tau_n})^{-1},$$

(10)

где τ_n – продолжительность налива, ч.

При наливе сверху или снизу закрытой струей:

$$k_T = 0,85 a_T \sqrt{\tau_n},$$

(11)

где a_T – постоянный коэффициент.

$$a_T = \begin{cases} 1 & \text{при } H_E \leq 1 \text{ м} \\ 1/H_E & \text{при } H_E > 1 \text{ м} \end{cases}$$

(12)

где H_E – высота (диаметр котла) наливаемой емкости, м.

Если же налив осуществляется полуприкрытой струей (сначала открытой, а затем закрытой), то

$$k_T = (1,1 + \sqrt[3]{\tau_n})^{-1}.$$

(13)

3.3. Потери при истечении нефти и нефтепродуктов из трубопроводов и резервуаров

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

$$Q_y = \mu_p f_p \sqrt{2g\Delta H},$$

(14)

где μ_p – коэффициент расхода;

f_p – площадь отверстия;

ΔH – 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:

$$\mu_p = \begin{cases} \frac{Re}{48} & \text{при } Re \leq 25 \\ \frac{Re}{1,5 + 1,4 \cdot Re} & \text{при } 25 < Re \leq 300 \\ 0,592 + \frac{0,27}{Re^{1/6}} & \text{при } 300 < Re \leq 10000 \\ 0,592 + \frac{5,5}{Re^{0,5}} & \text{при } Re > 10000 \end{cases}$$

(15)

где Re – число Рейнольдса для условий истечения.

$$Re = \frac{L' \sqrt{2g\Delta H}}{\nu},$$

(16)

где L' – характерный линейный размер отверстия.

$$L' = 4f_p / \aleph_p;$$

(17)

где \aleph_p – периметр отверстия.

Площадь отверстия также рассчитывается в зависимости от его формы:

– для круглого коррозионного отверстия диаметром d_{cp}

$$f_p = 0,25\pi d_{cp}^2; \quad \aleph_p = \pi d_{cp};$$

(18)

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

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

(19)

– для протяженного коррозионного повреждения длиной l_* и шириной b_*

$$f_p = l_* \cdot b_*; \quad \aleph_p = 2(l_* + b_*);$$

(20)

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

$$f_p = 0,5b_{min} b_{max}; \quad \aleph_p = 2\sqrt{b_{min}^2 + b_{max}^2};$$

(21)

– для разрывов кольцевых швов с расхождением кромок b_k

$$(22) \quad f_p = \pi d b_k; \quad \aleph_p = 2 \cdot (\pi d + b_k);$$

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

$$(23) \quad f_p = 0,5 l_p b_p; \quad \aleph_p = l_p + 2 \sqrt{b_p^2 + \left(\frac{l_p}{2}\right)^2}.$$

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

$$(24) \quad \Delta H = 0,5(H_1 + H_2),$$

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

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

$$H_i = Z_{жи} - Z_0.$$

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

$$(25) \quad H_i = Z_{жи} - Z_0 - \frac{P_a - P_s}{\rho g},$$

где P_s – давление насыщенных паров нефти (нефтепродукта) при температуре перекачки.

Средний расход, с которым нефть вытекает из работающего трубопровода, вычисляется по формуле (24), в которой

$$(26) \quad \Delta H = H_2 - \Delta Z_x + \sum_{i=1}^{n_1} A_i - \left(f x + \sum_{i=1}^{n_1} B_i \right) Q^{2-m},$$

где ΔZ_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;

$$Q = \sqrt[2-m]{\frac{H_2 + \sum_{i=1}^{n_1} A_i - \Delta Z - H_{\text{КП}}}{fx + \sum_{i=1}^{n_1} B_i + \varphi^{2-m} \left[f(L-x) + \sum_{i=n_1+1}^n B_i \right]}};$$

(27)

φ – 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 (27) находится первое приближение Q , по формуле (26) – первое приближение ΔH и далее по формуле (14) – первое приближение Q_y . Уточнив величину φ , расчет повторяют. Для нахождения Q_y с заданной точностью достаточно 2...3 итераций.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить потери автомобильного бензина при различных способах налива автомобиля-цистерны АЦ–8,5–255Б. Давление насыщенных паров бензина по Рейду $P_R = 40000$ Па, температура бензина 295 К, его температура начала кипения 319 К, расход налива 40 м³/ч. Налив ведётся при атмосферном давлении $P_a = 101320$ Па.

Решение.

1. По табл. 9 (см. пр. работу 8) находим, что эксплуатационный объём цистерны составляет 8,5 м³, малая ось эллипса, форму которого имеет её сечение, равна 1,22 м.

2. Продолжительность налива цистерны:

$$\tau_H = \frac{8,5}{40} = 0,213 \text{ ч.}$$

3. Давление насыщенных паров бензина при условиях налива по формуле (4) с учетом, что средняя величина $(V_{\text{П}}/V_{\text{Ж}})_{\text{ср}} = 1$:

$$F(V_{\text{П}}/V_{\text{Ж}}) = 1,41 - 0,25 \cdot 1^{0,37} = 1,16;$$

$$P_S = 1,22 \cdot 40000 \cdot e^{-0,034 \cdot (311 - 295)} \cdot 1,16 = 32857 \text{ Па.}$$

4. Плотность паров бензина при температуре налива по формуле (7):

$$\rho_y = \frac{101320 \cdot 65,1}{8314 \cdot 295} = 2,69 \text{ кг/м}^3.$$

5. Величина вспомогательных коэффициентов k_T , и a_T по формулам (10)-(12) и потери бензина по формуле (8):

– при заполнении цистерны сверху открытой струёй:

$$k_T = \left(0,7 + \sqrt[3]{0,213}\right)^{-1} = 0,771;$$

$$G_T = 0,771 \cdot 8,5 \cdot 2,69 \cdot \frac{32857}{101320} = 5,72 \text{ кг};$$

– при наливе сверху или снизу закрытой струёй:

$$a_T = \frac{1}{1,22} = 0,82;$$

$$k_T = 0,85 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{0,213} = 0,322;$$

$$G_T = 0,322 \cdot 8,5 \cdot 2,69 \cdot \frac{32857}{101320} = 2,39 \text{ кг}.$$

– при наливе сначала открытой, а затем закрытой струёй:

$$k_T = \left(1,1 + \sqrt[3]{0,213}\right)^{-1} = 0,589;$$

$$G_T = 0,589 \cdot 8,5 \cdot 2,69 \cdot \frac{32857}{101320} = 4,37 \text{ кг}.$$

Из результатов расчёта видно, что по сравнению с наливом открытой струёй налив бензина под уровень в рассматриваемом случае позволяет сократить потери в 2,4 раза, а налив полуоткрытой струёй – только на 30,9 %.

Задача № 2. Определить какой объем бензина вытечет через коррозионный свищ диаметром 1 мм в стенке резервуара, находящемся на расстоянии 1,5 м от днища. Уровень взлива 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 отверстия, периметр и характерный линейный размер отверстия по формулам (18), (17):

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

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

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

3. Число Рейнольдса для условий истечения по формуле (16):

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

4. Коэффициент расхода по формуле (15)

$$\mu_p = 0,592 + \frac{5,5}{12221^{0,5}} = 0,642.$$

5. Расход бензина, вытекающего через отверстие в стенке резервуара, по формуле (14):

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

6. Объем бензина, вытекающего за рассматриваемый период:

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

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Определить потери автомобильного бензина при различных способах налива автомобиля-цистерны. Давление насыщенных паров по Рейду равно 40 кПа, температура бензина $(280 + N)$ °К, температура начала кипения бензина 319 К. Расход налива составляет:

АЦ- 5,5-4320 – 30 м³/ч;

АЦ- 8,5-225Б – 40 м³/ч;

АЦ-9,5-225Б – 45 м³/ч;

АЦ-10-260 – 45 м³/ч.

Налив ведется при атмосферном давлении $P_a = 101$ кПа.

2. Определить какой объем бензина вытечет через:

а) коррозионное повреждение длиной $l = (1 + N/2)$ мм, шириной $b = (0,1N + 1)$ мм;

б) круглое коррозионное отверстие диаметром $d_{cp} = (0,5N + 1)$ мм в стенке резервуара, находящееся на расстоянии 1,5 м от днища. Уровень взлива в период истечения 9 м. Продолжительность истечения 5 ч. Вязкость бензина равна $0,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14. Расчет механических дыхательных клапанов

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков подбора механического дыхательного клапана и определения расхода газа через него.

Задачи работы заключаются в подборе механического дыхательного клапана и определении максимального расхода газа через дыхательный клапан исходя из физических свойств нефтепродукта и газового пространства в резервуаре.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.4. Оформление отчетной документации
- 2.5. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Максимальный расход газов через дыхательный клапан:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \quad (1)$$

где q_1 – наибольшее поступление жидкости в резервуар, м³/ч;

q_2 – увеличение объема газа в резервуаре за счет нагрева поверхности резервуара м³/ч;

q_3 – увеличение объема газа в резервуаре при поступлении более теплой жидкости, м³/ч;

q_4 – увеличение объема газа в резервуаре за счет испарения жидкости, м³/ч.

$$q_2 = v_t \cdot V_2 \cdot \beta, \quad (2)$$

где β – коэффициент объемного расширения газов (1/273 °K⁻¹);

v_t – скорость нагрева газового пространства (принимается равной 0,0013 К/с);

V_2 – максимальный объем газового пространства (принимается равным объему резервуара), м³.

$$q_3 = E \cdot D^2, \quad (3)$$

где E – опытный коэффициент, зависящий от разности температур (ΔT) закачиваемого нефтепродукта и газового пространства резервуара (табл. 1);

D – диаметр резервуара, м.

$$(4) \quad q_4 = 1,3 \cdot D^2.$$

При работе резервуара на вакуум расход поступающего через клапан воздуха:

$$(5) \quad Q_6' = q_1' + q_2',$$

где q_1' - расход жидкости из резервуара, м³/ч;

q_2' - уменьшение объема газа в связи с охлаждением, м³/ч.

$$q_2' = v_t' \cdot V_2 \cdot \beta, \quad (6)$$

где v_t' - скорость охлаждения газового пространства (при дожде и ливне принимается равной $8 \cdot 10^{-3}$ К/с);

Таблица 1 – Показатели

| | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ΔT | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| E , м/ч | 0,074 | 0,089 | 0,310 | 0,470 | 0,810 | 1,180 | 1,620 |

4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Подобрать механический дыхательный клапан для резервуара емкостью V при максимальной производительности закачки q_1 (табл. 2).

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 1

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| V , тыс.м ³ | 1 | 3 | 3 | 5 | 5 | 2 | 1 | 2 | 20 | 10 |
| q_1 , м ³ /ч | 100 | 250 | 400 | 1300 | 1000 | 250 | 200 | 300 | 4600 | 2600 |
| D , м | 10,43 | 18,98 | 18,98 | 20,92 | 20,92 | 15,18 | 10,48 | 15,18 | 39,9 | 28,5 |

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сарданашвили А.Г., Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Химия, 1980. 256 с.
2. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и нефтехранилищ: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ». В 2 ч. Ч. 1 / сост.: П. В. Коваленко, М. Н. Клебанова; под общ. ред. П. В. Коваленко. – Новополюцк: ПГУ, 2006. – 340 с.
3. Бахмат Г.В., Васильев Г.Г., Гольянов А.И. и др. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах / Под общ. ред. Земенкова Ю.Д. – М.: Недра, 2004. 544 с.
4. СНиП 2-05.06-85. Магистральные трубопроводы. Госкомитет СССР по делам строительства. - М.:1985.
5. СНиП 2.01.01-82. Климатология. Госкомитет СССР по делам строительства. - М.: 1982.
6. СНиП 2. 04. 08 – 87. Газоснабжение – М.: Строительное издательство, 1989.
7. СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы», 1986.
8. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. - 1987.
9. ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные газопроводы, Часть I. Газопроводы - М.: Мингазпром, 1985.
10. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных, месторождений (ВНТП 3-85). Миннефтепром. - М.: 1985.
11. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов (ВНТП-2-86). Миннефтепром. - М.: 1987.