

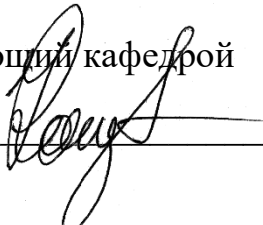
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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 и обслуживание газохранилищ»

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. Оценка состояния сжиженного углеводородного газа с помощью диаграмм состояния вещества	4
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Расчет физических свойств сжиженного углеводородного газа	10
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Гидравлический расчет трубопровода для транспорта сжиженного газа	15
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Хранение сжиженного углеводородного газа	20
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. Расчет параметров слива сжиженного газа на газонаполнительных станциях	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	27

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Оценка состояния сжиженного углеводородного газа с помощью диаграмм состояния вещества

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения основных характеристик сжиженных углеводородных газов с помощью диаграмм состояния вещества.

Задачи работы заключаются в изучении диаграмм состояния пропана и *n*-бутана, а также в определении физических характеристик сжиженных углеводородных газов.

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

Все основные характеристики пропана и *n*-бутана: плотность, удельный объем, теплоемкость, энтальпия жидкости, насыщенных и перегретых паров в зависимости от температуры и другие — могут быть легко и с допустимой для практики точностью найдены по диаграммам состояния вещества, которые были предложены Институтом газа АН УССР (рис. 1, 2). Схема их построения приведена на рис. 3.

На горизонтальных осях диаграмм отложены значения энтальпии, I , а на вертикальной — значения постоянного давления насыщенных и перегретых паров p . Жирной линией нанесена пограничная кривая $ЖКП$, состоящая из двух частей: кривой $ЖК$, характеризующей состояние жидкости, и кривой $ПК$, характеризующей состояние насыщенного пара. Между этими кривыми проведены из критической точки к линии постоянной сухости пара KX (X , кг/кг). Удельные объемы (v , м³/кг) показаны в области жидкости линиями $ОБ$, а в области пара $О'Б'В$.

Линии постоянной температуры (t , °С) показаны: в докритической зоне (ниже точки K) ломаной кривой $ТЕМП$, а в сверхкритической зоне (выше точки K) главной кривой $Т'E'$. Линии постоянной энтропии [S ,

кДж/(кг·°С)] показаны кривыми АД. Пользование приведенными диаграммами состояния показано на примерах.

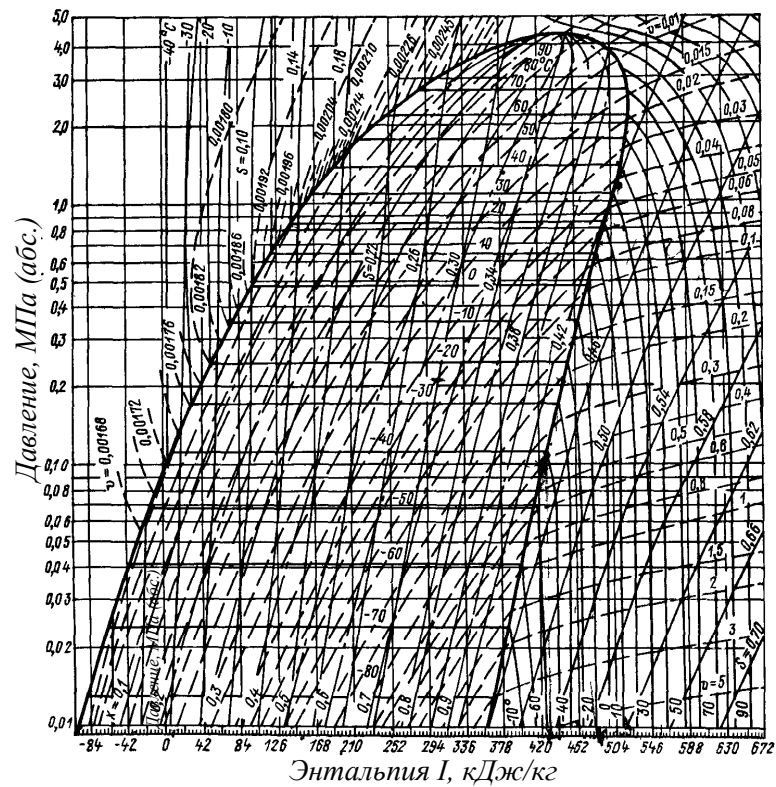


Рисунок 1 – Диаграммы состояния пропана

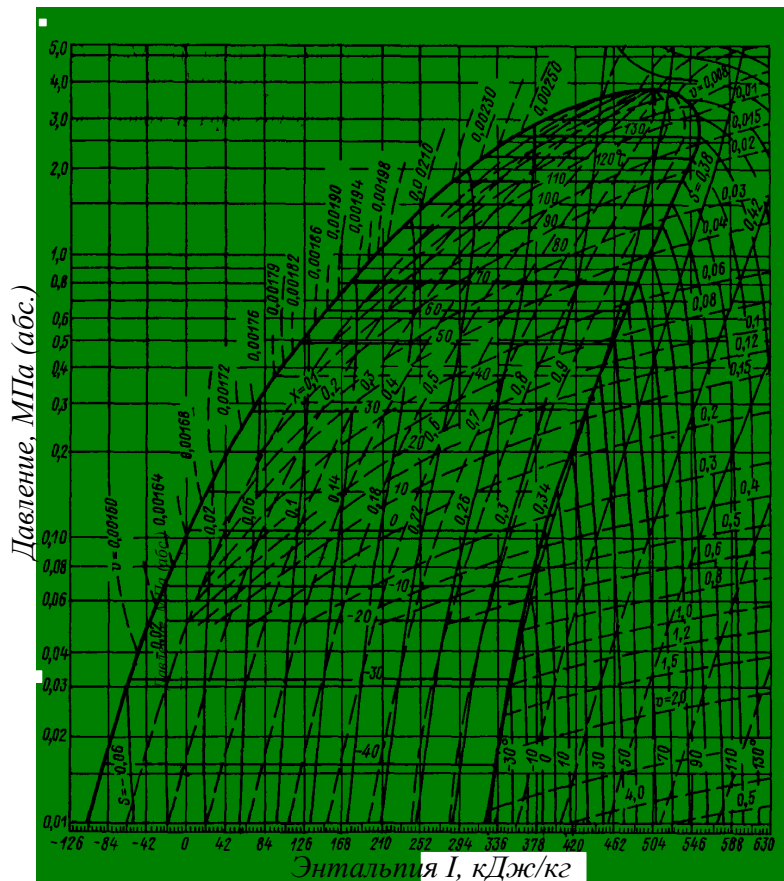


Рисунок 2 – Диаграммы состояния бутана

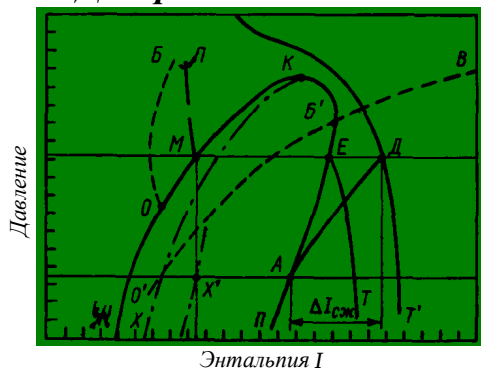


Рисунок 3 – Схема построения диаграмм состояния

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить упругость насыщенных паров жидкого пропана, находящегося в резервуаре, если температура жидкости равна +20°C.

Решение.

Находят пересечение линии постоянной температуры, соответствующей $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (линия TE на рис. 3), с пограничной кривой насыщенного пара (линия PK). Затем через точку пересечения проводится

линия; параллельная линии постоянного давления, и на оси ординат отсчитывается упругость паров насыщенного пропана. Для настоящего примера эта упругость равна 0,84 МПа (абс.). Упругость паров пропана при температуре +20 °С равна 0,833 МПа (абс.). Если линия постоянной температуры не пересекает пограничную кривую насыщенного пара (линия $T'E'$ на рис. 3), то это свидетельствует, что при этой температуре пропан никаким давлением не может быть превращен в жидкость, так как его температура выше критической.

Задача № 2. Определить удельный объем и плотность жидкой и паровой фаз пропана в условиях задачи № 1.

Решение.

Удельный объем жидкого пропана находится в точке пересечения линии постоянной температуры с пограничной кривой жидкости, а удельный объем насыщенных паров — в точке пересечения этих линий с пограничной кривой пара. Для данного примера удельный объем находится по рис. 1: $v_{жс} = 0,00196 \text{ м}^3/\text{кг}$, а удельный объем насыщенного пара $v_n = 0,058 \text{ м}^3/\text{кг}$. Точные значения этих величин: $v_{жс} = 0,002004 \text{ м}^3/\text{кг}$, $v_n = 0,056 \text{ м}^3/\text{кг}$. Плотности жидкости и пара определяются по известным формулам: $\rho_{жс} = 1/0,00186 = 510,2 \text{ кг/м}^3$, $\rho_n = 1/0,058 = 18,24 \text{ кг/м}^3$.

Задача № 3. Определить скрытую теплоту испарения жидкого пропана при условиях задачи № 1.

Решение.

Скрытая теплота испарения определяется по разности энтальпий насыщенного пара и жидкости. Энтальпия жидкости находится на оси абсцисс по точке пересечения линии постоянной температуры (или постоянного давления) с пограничной кривой жидкости, а энтальпия насыщенного пара — по точке пересечения этих линий с пограничной кривой насыщенного пара. Для условий примера энтальпия жидкости $i_{жс} = 140,7 \text{ кДж/кг}$ и энтальпия насыщенного пара $I_{н.н} = 495,6 \text{ кДж/кг}$. Скрытая теплота испарения $\lambda = i_{н.н} - i_{жс} = 495,6 - 140,7 = 354,9 \text{ кДж/кг}$, ее значение 345,67 кДж/кг.

Задача № 4. Определить количество тепла, необходимое для испарения 100 кг жидкого пропана и перегрева его паров до 20 °С под давлением 0,5МПа (абс.).

Решение.

Энтальпия кипящей жидкости по рис. 9.17 $I_{жс} = 100,8 \text{ кДж/кг}$. Энтальпия перегретого пара (точка пересечения линии постоянного давления и кривой постоянной температуры) $I_{н.н} = 512,4 \text{ кДж/кг}$. Теплота испарения 1

кг жидкости и перегрева 1 кг пара $q = I_{n.n} - I_{жс} = 512,4 - 100,8 = 411,6$ кДж/кг. Количество тепла, необходимое для испарения 100 кг жидкого пропана и перегрева его паров до 20 °С $Q = 411,6 \cdot 100 = 41160$ кДж/кг. Для условий примера по той же диаграмме определяют температуру кипения жидкости $t_{к..жс} = +1$ °С (приблизительно эта же температура соответствует упругости паров). Скрытая теплота испарения $\lambda = 478,8 - 100,8 = 378$ кДж/кг. Теплота перегрева паров $q_{пер} = q - \lambda = 411,6 - 378 = 33,6$ кДж/кг.

Задача № 5. Определить количество пара, которое образуется при дросселировании жидкого пропана от 0,8 до 0,2 МПа (абс.), и температуру в конце дросселирования.

Решение.

Дросселирование жидкости проходит по линии постоянной энтальпии от точки пересечения линии постоянного давления с пограничной кривой жидкости (точка M на рис. 3) до точки пересечения постоянной энтальпии с заданной линией постоянного давления (точка X' на рис. 3). Точка пересечения заданной линии постоянного давления с линией постоянной энтальпии и кривой постоянной сухости пара (точка X') показывает, какое количество пара образовалось в результате дросселирования жидкости. Для заданного примера по рис. 1 его количество равно 0,25 кг/кг. Температура в конце дросселирования определяется точкой пересечения заданной линии постоянного давления с пограничной кривой пара (точка A на рис. 3). Для заданного примера эта температура по рис. 1 равна -25°С.

Задача № 6. Определить работу, необходимую для сжатия 1 кг насыщенных паров пропана от 0,2 до 0,8 МПа (абс.), и температуру пара в конце процесса. Процесс сжатия от начального до конечного давления проходит по линии постоянной энтропии.

Решение.

Теоретическая работа сжатия определяется разностью энтальпии в конце процесса (точка D) и в начале процесса (точка A): $\Delta I_{сжс} = I_D - I_A$.

Температура пара (газа) в конце процесса определяется линией постоянной температуры, проходящей через точку D . Для заданного примера по рис. 9.17 $\Delta I_{сжс} = 512,4 - 449,4 = 63$ кДж/кг. Температура пара в конце процесса сжатия равна +25 °С.

Задача № 7. Критическая температура н-бутана $T_{кр.}=425,2^0\text{К}$ и критическое давление $P_{кр.}=37,5$ атм. Определить удельный объем н-бутана при температуре 80°С и давлении 10 кг/см².

Решение.

а) Определяем приведенную температуру и приведенное давление

$$T_{np.} = \frac{273,2 + 80}{425,2} = \frac{353,2}{426} = 0,83;$$

$$P_{np} = \frac{10}{37,5} = 0,27$$

б) По графику рис. 4 определяем коэффициент сжимаемости $z=0,825$

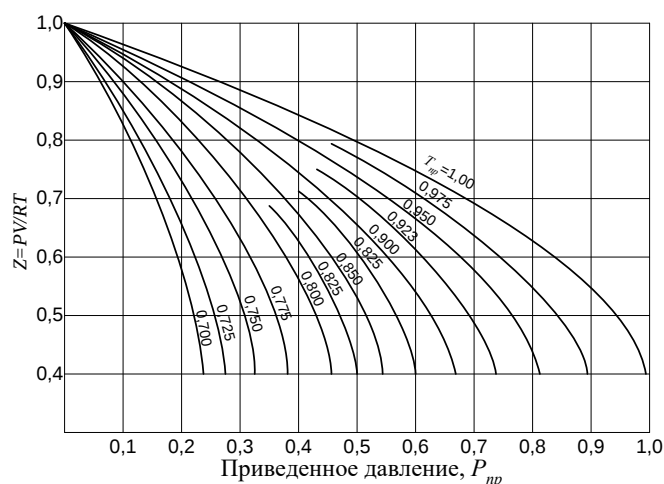


Рисунок 4 – Зависимость приведенной температуры от приведенного давления

в) удельный объем определяем из уравнения

$$Pv = zRT ,$$

откуда
$$V = \frac{zRT}{P} = \frac{0,825 \cdot 14,59 \cdot 353,2}{10 \cdot 10^4} = 0,0424 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

5. ЗАДАЧА ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Привести решение задачи.

Газовая смесь, состоящая из метана - 80%; этана - 8,5%; этилена - 4,8%; пропана - 6% и пропилена - 0,7%, сжата при температуре 60⁰С до 40 ат. Определить плотность газовой смеси.

Ответ: $\rho = 27,3 \text{ кг/м}^3$.

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 № 2. Расчет физических свойств сжиженного углеводородного газа

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения физических свойств сжиженного углеводородного газа с разным весовым составом.

Задачи работы заключаются в изучении основных физических свойств сжиженных газов и в их аналитическом определении на основании существующих зависимостей и взаимосвязей.

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 физическими свойствами сжиженного углеводородного газа являются: весовой состав газа (молярный); среднее значение молекулярной массы и плотности; псевдокритическая температура; давление; газовая постоянная смеси; состав жидкой равновесной фазы; удельный объем.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Имеется сжиженный газ, весовой состав паровой фазы которого равен: этана – 2,1%; этилена - 1,5%; пропана 64,4%; пропилена – 4,8%; н-бутана - 22%; Бутилена – 5,2%.

Необходимо:

- а) пересчитать весовой состав газа в объемный (молярный);**
- б) определить среднее значение молекулярной массы и плотности, псевдокритическую температуру и давление, газовую постоянную этой смеси и состав жидкой равновесной фазы сжиженного газа.**

Решение.

Пересчет весового состава паровой фазы в молярный производится:

$$y_i^0 = y_i = \frac{100 \frac{y_i}{M_i}}{\sum \frac{y_i}{M_i}} \quad \text{в процентах,}$$

$$y_i^0 = y_i = \frac{\frac{y_i}{M_i}}{\sum \frac{y_i}{M_i}} \quad \text{в долях единицы.}$$

$$y^0 C_2H_6 = \frac{100 \frac{0,021}{30,06}}{\frac{0,021}{30,06} + \frac{0,015}{28,05} + \frac{0,644}{44,09} + \frac{0,048}{42,08} + \frac{0,22}{58,12} + \frac{0,057}{56,10}} = \frac{0,069}{0,0217} = 3,18\% ;$$

$$\sum \frac{y_i}{M_i} = 0,0217 ;$$

$$y^0 C_2H_6 = \frac{\frac{0,21}{30,06}}{0,0217} = \frac{0,00069}{0,0217} = 0,0318 ;$$

$$y^0 C_2H_4 = \frac{0,053}{0,0217} = 2,44\% \quad \text{или } 0,0244;$$

$$y^0 C_3 H_8 = \frac{1,46}{0,0217} = 67,35\% \quad \text{или } 0,6735;$$

$$y^0 C_3 H_6 = \frac{0,114}{0,0217} = 5,25\% \quad \text{или } 0,0525;$$

$$y^0 C_4 H_{10} = \frac{0,380}{0,0217} = 17,5\% \quad \text{или } 0,175;$$

$$y^0 C_4 H_8 = \frac{0,093}{0,0217} = 4,28\% \quad \text{или } 0,0428.$$

Таким образом, состав паровой фазы в объемах (молярных) процентах и объемных долях будет равен:

$$C_2 H_6 = 3,18 \quad (0,032);$$

$$C_2 H_4 = 2,44 \quad (0,024);$$

$$C_3 H_8 = 67,35 \quad (0,674);$$

$$C_3 H_6 = 5,25 \quad (0,052);$$

$$C_4 H_{10} = 17,5 \quad (0,175);$$

$$C_4 H_8 = 4,28 \quad (0,043);$$

$$\sum y_i = 100 \quad (1).$$

Средняя молекулярная масса газовой смеси

$$M_{cp.} = \frac{1}{\sum \frac{y'_i}{M_i}} = \frac{1}{0,0217} = 46,1.$$

Средняя плотность газовой смеси при нормальных условиях:

а) по закону Авогадро

$$\rho_{см} = \frac{M_{cp.}}{22,4} = \frac{46,1}{22,4} = 2,06 \text{ кг/м}^3.$$

б) по правилу смешения

$$\rho_{см} = y_1 \rho_1 + y_2 \rho_2 + \dots + y_n \rho_n = \sum y_i \rho_i = 0,021 \cdot 1,35 + 0,015 \cdot 1,29 +$$

$$0,644 \cdot 2,01 + 0,048 \cdot 1,88 + 0,22 \cdot 2,695 + 0,052 \cdot 2,596 = 2,1 \text{ кг/м}^3,$$

где $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ - плотность насыщенных паров компонентов сжиженного газа при температуре 0°C .

Псевдокритическая (среднекритическая) температура смеси

$$T_{кр.} = y_1 T_{кр1} + y_2 T_{кр2} + \dots + y_n T_{крn} = \sum y_i T_i =$$

$$= 0,021 \cdot 305,6 + 0,015 \cdot 282,4 + 0,644 \cdot 307,0 + 0,048 \cdot 364,4 + 0,22 \cdot 426,0 +$$

$$+ 0,052 \cdot 419,8 = 381,7^\circ \text{K}.$$

Среднекритическое (псевдокритическое) давление

$$P_{кр} = y_1 P_{кр1} + y_2 P_{кр2} + \dots + y_n P_{крn} = \sum y_i P_{кр}$$

$$P_{кр} = 0,021 \cdot 49,8 + 0,015 \cdot 50,8 + 0,644 \cdot 43,4 + 0,048 \cdot 46,9 +$$

$$+ 0,22 \cdot 37,2 + 0,052 \cdot 39,5 = 42,5 \text{ кг/см}^2, \text{ или } 4,17 \text{ МПа}.$$

Удельная газовая постоянная газовой смеси заданного выше состава может быть определена по правилу смещения

$$R_{см} = y_1 R_1 + y_2 R_2 + \dots + y_n R_n = \sum y_i R_i ,$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ - удельные газовые постоянные компонентов, входящих в газовую смесь.

$$R_{см} = 0,021 \cdot 28,12 + 0,015 \cdot 30,25 + 0,644 \cdot 19,24 + 0,048 \cdot 20,16 + 0,22 \cdot 14,59 + 0,052 \cdot 15,11 = 18,68 \text{ кГм/кг} \cdot \text{град, или } 183,1 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К.}$$

Состав жидкой фазы сжиженного газа определяется в следующей последовательности.

а) Определяем общее давление равновесной системы пар-жидкость. Согласно объединенному уравнению законов Рауля и Дальтона

$$y_i P = x_i \theta_i,$$

концентрация компонента в жидкой фазе будет

$$x_i = y_i \frac{P}{\theta_i} .$$

Так как состав жидкой фазы равен

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1,$$

то из предыдущих двух уравнений можно записать

$$P \left(\frac{y_1}{\theta_1} + \frac{y_2}{\theta_2} + \dots + \frac{y_n}{\theta_n} \right) = 1 ,$$

откуда общее давление системы пар-жидкость равно

$$P = \frac{1}{\frac{y_1}{\theta_1} + \frac{y_2}{\theta_2} + \dots + \frac{y_n}{\theta_n}} = \frac{1}{\sum \frac{y_i}{\theta_i}} ,$$

$$\frac{1}{\frac{0,021}{23,55} + \frac{0,015}{40,25} + \frac{0,644}{4,66} + \frac{0,048}{5,75} + \frac{0,22}{1,1} + \frac{0,052}{1,27}} = \frac{1}{0,3884} = 2,57 \text{ кг/см}^2$$

или 0,252 МПа,

где $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ - упругость компонентов газовой смеси в чистом виде берутся из справочных таблиц.

б) По уравнению $x_i = y_i \frac{P}{\theta_i}$ определяем состав жидкой фазы в долях

единицы и процентах:

$$x_{C_2H_6} = 0,021 \frac{2,57}{23,55} = 0,023 \quad (0,23);$$

$$x_{C_2H_4} = 0,015 \frac{2,57}{40,25} = 0,001 \quad (0,1);$$

$$x_{C_3H_8} = 0,644 \frac{2,57}{4,66} = 0,3547 \quad (35,47);$$

$$xC_3H_6 = 0,048 \frac{2,57}{5,75} = 0,0214 \quad (2,14);$$

$$xC_4H_{10} = 0,22 \frac{2,57}{1,1} = 0,5148 \quad (51,48);$$

$$xC_4H_8 = 0,052 \frac{2,57}{1,27} = 0,1058 \quad (10,58).$$

Таким образом, состав жидкой фазы в процентах и долях единицы равен:

$$C_2H_6 = 0,23 \quad (0,0023);$$

$$C_2H_4 = 0,10 \quad (0,001);$$

$$C_3H_8 = 35,47 \quad (0,3547);$$

$$C_3H_6 = 2,14 \quad (0,0214);$$

$$C_4H_{10} = 51,48 \quad (0,5148);$$

$$C_4H_8 = 10,58 \quad (0,1058);$$

$$\sum x_i = 100\% \quad \sum = 1.$$

Задача № 2. Критическая температура n -бутана $T_{кр.}=425,2^\circ\text{K}$ и критическое давление $P_{кр.}=37,5$ атм. Определить удельный объем n -бутана при температуре 80°C и давлении 10 кг/см^2 .

Решение.

1. Определяем приведенную температуру и приведенное давление

$$T_{пр.} = \frac{273,2 + 80}{425,2} = \frac{353,2}{426} = 0,83 ,$$

$$P_{пр} = \frac{10}{37,5} = 0,27 .$$

2. По графику (рис. 4, практ. работа № 1) определяем коэффициент сжимаемости $z=0,825$.

3. Удельный объем определяем из уравнения:

$$Pv = zRT ,$$

$$\text{откуда } V = \frac{zRT}{P} = \frac{0,825 \cdot 14,59 \cdot 353,2}{10 \cdot 10^4} = 0,0424 \text{ м}^3 / \text{кг} .$$

5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Привести решение задач.

1. Газовая смесь, состоящая из метана – 81 %; этана – 8,5 %; этилена – 4,3%; пропана – 5,8 % и пропилена - 0,4 %, сжата при температуре 60°C до 40 ат. Определить плотность газовой смеси.

2. Газовая смесь, состоящая из метана – 80,4 %; этана - 8,0 %; этилена – 4,2 %; пропана – 6,8 % и пропилена - 0,6 %, сжата при температуре 60°C до 40 ат. Определить плотность газовой смеси.

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. Гидравлический расчет трубопровода для транспорта сжиженного газа

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков гидравлического расчета трубопроводов для транспортировки сжиженного газа.

Задачи работы заключаются в определении физических параметров перекачиваемой жидкости, средней скорости движения сжиженного газа, диаметра и характеристик шероховатости трубопровода, параметров давления.

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 И ТИПОВОЙ ПРИМЕР

Необходимо произвести гидравлический расчет трубопровода для сжиженного газа пропускной способностью 350 м³/сут. Состав газа (в % об.): пропан 65, *n*-бутан 30, *n*-пентан 5. Длина трубопровода 75 км. Отметка начальной точки 35,75 м, конечной 49,78 м, наиболее возвышенной 77,86 м. Расстояние от начальной точки до возвышенной 56 км. Температура жидкости в трубопроводе колеблется от $T_1 = 278^\circ \text{ К}$ зимой до $T_2 = 298^\circ \text{ К}$ летом. В сжиженном газе заметны следы сероводорода.

Решение.

1. Определим физические параметры перекачиваемой жидкости.

а) Плотность $\rho_m = \rho_o - \alpha(T - T_0)$ кг/м³ при $T = T_2 = 298^\circ \text{ К}$.

для пропана $\rho_{o\text{пр}} = 529,7 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 1,354 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{град}$,

$\rho_{\text{пр}m} = 529,7 - 1,354 \cdot 25 = 529,7 - 33,8 = 495,9 \text{ кг/м}^3$;

для *n*-бутана $\rho_{o\text{б}} = 601,0 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 1,068 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{град}$,

$\rho_{\text{б}m} = 601,0 - 1,068 \cdot 25 = 601 - 26,7 = 574,3 \text{ кг/м}^3$;

для *n*-пентана $\rho_{o\text{н}} = 645,5 \text{ кг/м}^3$, $\alpha = 0,9503 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{град}$,

$\rho_{\text{н}m} = 645,5 - 0,9503 \cdot 25 = 645,5 - 23,8 = 621,7 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Компоненты	Концентрация объемная	Плотность при $T = 293^\circ \text{ К}$, кг/м ³	Масса компонентов, кг	Концентрация массовая
Пропан	0,65	501,0	$501 \times 0,65 = 326,5$	$326,5/531,7=0,607$
<i>n</i> -Бутан	0,30	579,0	$579 \times 0,30 = 173,9$	$173,9/531,7=0,334$
<i>n</i> -Пентан	0,05	626,0	$626 \times 0,05 = 31,3$	$31,3/531,7=0,059$
			Итого: 531,7	1,00

Плотность смеси

$$\rho_{\text{смт}} = \frac{1}{\frac{y_{\text{пр}}}{\rho_{\text{пр}m}} + \frac{y_{\text{б}}}{\rho_{\text{б}m}} + \frac{y_{\text{н}}}{\rho_{\text{н}m}}}.$$

Так как концентрация $y_{\text{пр}}$, $y_{\text{б}}$, $y_{\text{н}}$ в формуле массовая, а нам задана объемная, произведем пересчет

$$\rho_{\text{смт}} = \frac{1}{\frac{0,607}{495,9} + \frac{0,334}{573,3} + \frac{0,059}{621,7}}.$$

б) Вязкость $\mu_T = Ae^{\frac{C}{T}}$ Па·с при $T = T_2 = 298^\circ \text{ К}$.

для пропана $A = 0,703 \cdot 10^{-5}$, $C = 777,20$,

$$\mu_{np} = 0,703 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{\frac{777,20}{298}} = 0,703 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{2,61} = 9,537 \cdot 10^{-5} \text{ Па·с};$$

для н-бутана $A = 1,613 \cdot 10^{-5}$, $C = 689,0$,

$$\mu_{np} = 1,613 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{\frac{689}{298}} = 1,613 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{2,31} = 16,28 \cdot 10^{-5} \text{ Па·с};$$

для n-пентана $A = 2,151 \cdot 10^{-5}$, $C = 700,15$,

$$\mu_{np} = 2,151 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{\frac{700,15}{298}} = 2,151 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{2,35} = 22,53 \cdot 10^{-5} \text{ Па·с}.$$

Вязкость смеси $\lg \mu_{см} = y_{np} \lg \mu_{np} + y_{\delta} \lg \mu_{\delta} + y_n \lg \mu_n$.

Для упрощения вычислений укрупняем значение μ в 10^5 раз.

Тогда

$$\lg \mu_{T_2}^{см*} = 0,607 \lg 9,537 + 0,334 \lg 16,28 + 0,059 \lg 22,53 = 1,0795.$$

$$\mu_{T_2}^{см*} = 12,01 \text{ Па·с}$$

или, принимая во внимание укрупнение,

$$\mu_{T_2}^{см*} = 12,01 \cdot 10^{-5} \text{ Па·с}.$$

в) Упругость паров при температуре $T = 298^\circ \text{ К}$ по формуле

$$\lg p = A - \frac{B}{C + T}.$$

для пропана $A = 9,4367$, $B = 1048,9$, $C = -5,61$,

$$\lg p_{np} = 9,4367 - \frac{1048,9}{5,61 + 298} = 5,9819; \quad p_{np} = 959200 \text{ Н/м}^2 = 0,9529 \text{ МПа}$$

для n-бутана $A = 9,11808$, $B = 1030,34$, $C = -22,109$,

$$\lg p_{\delta} = 9,11808 - \frac{1030,34}{-22,109 + 298} = 5,38349, \quad p_{\delta} = 241\,800 \text{ н/м}^2 = 0,2418$$

МПа;

для n-пентана $A = 8,99851$, $B = 1075,82$, $C = -39,791$,

$$\lg p_n = 8,99851 - \frac{1075,82}{-39,791 + 298} = 4,83204, \quad p_n = 67\,930 \text{ н/м}^2 = 0,6793 \text{ бар} =$$

0,06793 МПа.

Упругость паров смеси

$$p_{абс}^{см} = z_{np} p_{np} + z_{\delta} p_{\delta} + z_n p_n.$$

Так как z_{np} , z_{δ} , z_n — мольная концентрация, делаем пересчет

Тогда

$$p^{см} = 0,678 \cdot 0,9529 + 0,282 \cdot 0,2418 + 0,04 \cdot 0,06793 = 0,7071 \text{ МПа (абс.)}$$

2. Задаемся средней скоростью движения жидкости в трубопроводе

$v = 1,5 \text{ м/сек.}$

3. Диаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}},$$

$$Q = \frac{350 \cdot 1000}{536 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,0757 \text{ м}^3/\text{с},$$

тогда

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0757}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,249 \text{ м.}$$

Таблица 2 – Результаты расчетов

Компоненты	Концентрация массовая	Молекулярный вес	Число молей	Концентрация мольная
Пропан	0,607	44	0,607/44 = 0,0138	0,0138/0,02038 = 0,678
n-Бутан	0,334	58	0,334/58=0,00576	0,00576/0,02038 = 0,282
n-Пентан	0,059	72	0,059/72=0,00082	0,00082/0,02038 = 0,040
			Итого 0,02038	1,000

4. Принимаем величину эквивалентной шероховатости $k_s = 0,5 \text{ мм}$. Тогда относительная шероховатость

$$\frac{k_s}{d} = \frac{0,5}{249} = 0,00201,$$

а гладкость

$$\frac{d}{k_s} = \frac{249}{0,5} = 500.$$

5. Потеря напора по длине трубопровода

$$h_{\lambda} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

Коэффициент λ , исходя из условия движения жидкости в зоне, соответствующей шероховатому трению, определяем по формуле И.Никурадзе

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 2 \lg 500)^2} = 0,0243.$$

Тогда

$$h_{\lambda} = 0,0196 \frac{75000}{0,218} \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 839,1 \text{ м.}$$

Учитывая местные сопротивления

$$h_{\text{общ}} = 839,1 \text{ м} + 0,015 \cdot 839,1 = 851,7 \text{ м.}$$

Перепад давления

$$\Delta p_{\text{общ}} = h_{\text{общ}} \gamma = h_{\text{общ}} Q g = 851,7 \cdot 536 \cdot 9,81 = 4\,478\,372 \text{ Н/м}^2 = 4,478 \text{ МПа.}$$

6. Принимая давление в конце трубопровода равным давлению насыщения при максимальной температуре (для нашего случая $p_{\text{абс}} = 0,707$

МПа или $p_{изб} = 0,607$ МПа), определяем ориентировочное давление p_1 в начале трубопровода

$$p_1 = 4,478 + 0,607 = 5,08 \text{ МПа.}$$

7. Предельное число Re_{II}

$$Re_{II} = \left(120 \frac{d}{k_s} \right)^{1,125} \left(\frac{\nu}{\nu} \right)^{0,67}.$$

Кинематическая вязкость при $T = T_2 = 298^\circ \text{ К}$

$$\nu = \frac{\mu_{T_2}^{CM}}{Q_{T_2}^{CM}} = \frac{12,01 \cdot 10^{-5}}{536} = 0,234 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$$

Зная, что вязкость воды $\nu = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$, имеем:

$$Re = (120 \cdot 500)^{1,125} \cdot \left(\frac{0,234 \cdot 10^{-6}}{1,0 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,67} = (60000)^{1,125} \cdot 0,234^{0,67} = 97630.$$

Фактическое значение

$$Re = \frac{\nu d}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 0,249}{0,234 \cdot 10^{-6}} = 1\,590\,000.$$

Таким образом, движение будет осуществляться в режиме, соответствующем зоне шероховатого трения.

8. Давление в опасной точке

$$\frac{p_B}{\gamma} = (z_1 - z_B) + \frac{p_1}{\gamma} - h_B;$$

$$h_B = h_{общ} \frac{l_B}{l_{общ}} = 851,7 \frac{56000}{75000} = 635 \text{ м.}$$

Тогда

$$\frac{p_B}{\gamma} = (35,75 - 77,86) + \frac{5\,080\,000}{536 \cdot 9,81} - 635 = 289,03 \text{ м.}$$

или, что, то же самое,

$$p_B = 289,03 \cdot 536 \cdot 9,81 = 1,519 \text{ МПа.}$$

Давление в этой точке превышает упругость паров на $(1,519 - 0,707) = 0,812$ МПа, что соответствует указанным выше условиям.

9. Для наблюдения условия по давлению в конце трубопровода принимаем

$$p_{дон} = 0,12 \text{ МПа.}$$

Тогда давление в конце трубопровода

$$p_2 = 0,607 + 0,12 = 0,827 \text{ МПа,}$$

и соответственно в начале

$$p_1 = 5,08 + 0,2 = 5,28 \text{ МПа.}$$

Таким образом, в расчете определены все искомые величины.

4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Привести решение задачи.

1. В резервуаре находится сжиженный газ, паровая фаза которого состоит (в весовых процентах): этана 2,1 %, этилена 1,5 %, пропана 64,4 %, пропилена 4,8%, н-бутана 22 %, бутилена 5,2 %. Определить состав жидкой фазы при температуре 0°C.

Ответ: $C_2H_6 = 0,23 \%$; $C_2H_4 = 0,1 \%$; $C_3H_8 = 35,47 \%$; $C_3H_6 = 2,14 \%$; $C_4H_{10} = 51,48 \%$; $C_4H_8 = 10,58 \%$.

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 № 4. Хранение сжиженного углеводородного газа

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета параметров давления в резервуарах при хранении сжиженного углеводородного газа.

Задачи работы заключаются в определении величины давления в резервуарах с учетом нагрева газа, физических характеристик газа и геометрических и механических параметров емкостей.

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

Хранение сжиженных углеводородных газов, таких как пропан, пропилен, бутан, бутилен, пентан и др., осуществляется в резервуарных парках с наземными металлическими горизонтальными и шаровыми резервуарами в резервуарах и подземных емкостях при газобензиновых и нефтеперерабатывающих заводах, установках стабилизации нефти, газоприемораздаточных заводах и газонаполнительных станциях.

Резервуарные парки, базы СУГ помимо склада сжиженного газа имеют ряд сооружений: эстакады для слива газа из железнодорожных цистерн в резервуары, насосно-компрессорные станции для перемещения жидкой и паровой фаз, цехи для наполнения автоцистерн и баллонов, насосные для слива из баллонов остатков СУГ.

Широко используются для хранения СУГ под давлением стальные резервуары цилиндрической и сферической формы. Сферические резервуары устанавливают только на поверхности земли, объемом 300, 600, 900, 2000 и 4000 м³ с расчетным давлением от 0,25 МПа до 1,8 МПа. Наиболее распространены резервуары объемом 600 м³ с расчетным давлением до 1,8 МПа. Цилиндрические резервуары с эллиптическими днищами объемом 25, 50, 100, 175 и 200 м³ применяют более широко, чем сферические. Их устанавливают горизонтально и располагают как на поверхности, так и под землей.

Несколько резервуаров, установленных в местах потребления газа, называются резервуарной установкой сжиженного газа (РУСГ). Общий объем надземных и подземных резервуаров этой установки не превышает 20 и 50 м³ соответственно.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Рассчитать величину давления, которая может быть в наземной емкости объемом $V = 25 \pm 0,25 \text{ м}^3$, наполненной пропаном в количестве $G = 10700 \pm 53 \text{ кг}$; газ нагреет до расчетной температуры 328 К.

Характеристика емкости: горизонтальная цилиндрическая с полусферическими днищами; коэффициент формы $c=1,4$, диаметр $D=2\text{м}$;

толщина стенки $\delta=24$ мм; материал корпуса Ст 3; коэффициент линейного расширения и модуль упругости металла корпуса соответственно: $\alpha=12 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ и $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$; абсолютное давление при гидравлическом испытании $p = 24 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Коэффициент объемного сжатия пропана $\beta_{сж}=72 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н}$. Плотность жидкой фазы и давление насыщенных паров пропана соответственно равны:

при $T=338 \text{ К}$, $\rho'=421 \text{ кг/м}^3$ и $p_y=23 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$;

при $T=328 \text{ К}$, $\rho'=437 \text{ кг/м}^3$ и $p_y=19,31 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$;

при $T=293 \text{ К}$, $\rho'=499 \text{ кг/м}^3$ и $p_y=8,46 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

Решение.

Изменение давления

$$dp = \frac{72 \cdot 10^{-10} \cdot 1,07 \cdot 53}{437 \cdot 25 \cdot 6 \cdot 10^{-17}} + \frac{72 \cdot 10^{-10} \cdot 1,07 \cdot 10700 \cdot 0,2}{437 \cdot 25^2 \cdot 6 \cdot 10^{-17}} = 6,32 \cdot 10^5 + 9,06 \cdot 10^5 = \\ = 15,38 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Полное давление в емкости

$$p = 19,31 \cdot 10^5 + 15,38 \cdot 10^5 = 34,69 \text{ Па.}$$

В неблагоприятном случае давление в емкости на $10,69 \cdot 10^5 \text{ Па}$ будет больше давления гидравлического испытания.

Задача № 2. Рассчитать величину давления, которое может быть в баллоне объемом $V=50 \pm 0,2$ л, наполненном пропаном в количестве $G=21,5 \pm 0,26$ кг при условии, что газ нагрет до расчетной температуры 338 К.

Характеристика баллона: днища полусферические; коэффициент формы $s=1,54$; диаметр $D=0,3$ м, толщина стенки $\delta=4$ мм; характеристика материала корпуса баллона та же, что и в задаче №28; абсолютное давление гидравлического испытания $p=26 \cdot 10^5 \text{ Па}$

Баллон, наполненный газом, взвешивается на весах типа ВМ-150, точность взвешивания $\pm 0,065$ кг.

Решение.

Изменение давления

$$dp = \frac{72 \cdot 10^{-10} \cdot 1,07 \cdot 0,26}{421 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 5,96 \cdot 10^{-17}} + \frac{72 \cdot 10^{-10} \cdot 1,07 \cdot 21,5 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{421 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 5,96 \cdot 10^{-17}} = 16,4 \cdot 10^5 + \\ + 5,2 \cdot 10^5 = 21,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Полное давление в баллоне

$$p = 23 \cdot 10^5 + 21,6 \cdot 10^5 = 44,6 \text{ Па.}$$

Давление в баллоне будет больше давления гидравлического испытания на $18,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

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 № 5. Расчет параметров слива сжиженного газа на газонаполнительных станциях

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета параметров слива сжиженного углеводородного газа на газонаполнительных станциях.

Задачи работы заключаются в определении количества слитого сжиженного газа, времени истечения газа из резервуара, а также в определении расхода паров на слив пропана из автоцистерны.

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 бесперебойного снабжения сжиженным газом в районах потребления создается система распределения сжиженных газов.

Основными производственными звеньями системы распределения являются кустовая база, газонапорная станция (ГНС) и транспортные средства.

Кустовые базы и ГНС сжиженного газа предназначены для приема, хранения и наполнения сжиженным газом баллонов и автоцистерн, а также для доставки их коммунально-бытовым и промышленным потребителям. На кустовых базах и ГНС сжиженного газа производятся следующие технологические операции:

- прием сжиженного газа;
- слив сжиженного газа;
- хранение сжиженных газов в емкостях хранилищ, автоцистернах, баллонах.

Расчет конструктивных примеров позволяет выявить зависимость времени освобождения резервуара от начального перепада давлений.

Анализируя эту зависимость, можно сделать вывод, что перепад давления выше $4-5 \text{ кгс/см}^2$ существенного сокращения времени слива не дает. Поэтому следует принимать перепад равным $2-4 \text{ кгс/см}^2$.

Рассмотрим компрессорный способ слива сжиженного газа из резервуара. Компрессор нагнетает пары сливаемого газа в паровое пространство емкости до определенного давления, одновременно происходит слив жидкости.

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть уравнение теплового баланса системы пар – жидкость – металл емкости и уравнение материального баланса.

Уравнение теплового баланса системы связывает тепло, подведенное к системе извне, с изменением теплосодержания каждого элемента системы в отдельности.

Уравнение материального баланса устанавливает связь между количеством поданного в емкость пара, количеством слитой за время работы компрессора жидкости с изменением массы пара и жидкости в емкости.

При совместном решении уравнений теплового и материального баланса принято:

- 1) вследствие постоянства объема, емкости скорости изменения объемов жидкости и пара равны;
- 2) скорость изменения температуры металла равна скорости изменения температуры пара;
- 3) скорости изменения физических параметров жидкости и пара при помощи частных производных связаны со скоростью изменения давления в емкости.

В результате имеем:

$$M' = \frac{\rho''}{\rho'} M'' + [(\alpha V'' + \beta V') + \gamma] \frac{(\rho' - \rho'') \Delta p}{\rho'(i'' - i')} + \left(V'' \frac{\partial \rho''}{\partial p} + V' \frac{\partial \rho'}{\partial p} \right) \times \frac{(i' \rho' - i'' \rho'') \Delta p}{\rho''(i'' - i')} + q_0 \frac{\rho' - \rho''}{\rho'(i'' - i')},$$

где

$$\alpha = \rho'' \frac{\partial i''}{\partial p} + i'' \frac{\partial \rho''}{\partial p}; \quad \gamma = cG \frac{\partial T_M}{\partial p};$$

$$\beta = \rho' \frac{\partial i'}{\partial p} + i' \frac{\partial \rho'}{\partial p}; \quad q_0 = \alpha_0 F (T_M - T_0) \tau;$$

M'' и M' – масса поданного пара и слитой жидкости; T_M и T_0 – температуры металла и окружающей среды; G и c – вес и теплоемкость металла емкости; F – поверхность резервуара; τ – время нагнетания.

Значение плотностей, объемов и энтальпий жидкости и пара являются первоначальными. Значение коэффициентов $\frac{\partial i}{\partial p}$ и $\frac{\partial \rho}{\partial p}$ в интервале температур от 0 до 30 °С могут быть приняты постоянными. Они легко определяются из соответствующих таблиц и диаграмм. Температура металла с достаточной степенью точности может быть принята равной среднеарифметической температуре пара за время нагнетания.

В формуле первый член равенства выражает расход пара на заполнение объема, ранее занятого жидкостью, второй и третий – на изменение теплосодержания жидкости и пара, четвертый – на теплоотдачу в окружающую среду. Если процесс слива производится таким образом, что прогреванию подвергается не вся масса жидкости, а только ее верхний незначительный слой, то, приняв $\frac{\partial i}{\partial p} = 0$ и $\frac{\partial \rho'}{\partial p} = 0$, получим формулу:

$$M' = \frac{\rho''}{\rho'} M'' + (\alpha V'' + \gamma) \frac{(\rho' - \rho'') \Delta p}{\rho''(i'' - i')} + V'' \frac{\partial \rho''}{\partial p} \times \frac{(i' \rho' - i'' \rho'') \Delta p}{\rho'(i'' - i')} + q_0 \frac{\rho' - \rho''}{\rho'(i'' - i')}.$$

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить количество слитого сжиженного пропана из автоцистерны АЦЖГ-12-200В. Степень наполнения $\varphi=0,57$; $V''=6 \text{ м}^3$; $V'=8 \text{ м}^3$; $G=5000 \text{ кг}$; $c=0,105 \text{ ккал/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$; $t'=0^\circ\text{C}$; $t_0=0^\circ\text{C}$; $p_n=8,5 \text{ кгс/см}^2$; $p_k=5,5 \text{ кгс/см}^2$; $\alpha=281,3\cdot 10^{-4} \text{ ккал/(кгс}\cdot\text{м)}$; $\gamma=2360\cdot 10^{-4} \text{ (ккал}\cdot\text{м}^2\text{)/кгс}$; $q_0=2500 \text{ ккал}$.

Решение.

$$\frac{i'\rho'-i''\rho''}{\rho''(i''-i')} = \frac{23\cdot 529 - 118\cdot 17,5}{17,5\cdot 87} = 6,67;$$

$$\frac{\rho'-\rho''}{\rho''(i''-i')} = \frac{529-118}{17,5\cdot 87} = 0,336;$$

Подставив цифровые значения величин в формулу, получим $M'=4643 \text{ кг}$.

Задача № 2. Определить время истечения н-Бутана из горизонтального цилиндрического резервуара в такой же резервуар, имеющий $D_1=2,6 \text{ м}$; $L_1=10,1 \text{ м}$; $T_1=T_2=5^\circ\text{C}$; $p_{cm}=7 \text{ кгс/см}^2$; $p_2=1,2 \text{ кгс/см}^2$; $\gamma_{жс}=595 \text{ кг/м}^3$; $a=2$; $b=3,24$; $f=0,00785 \text{ м}^2$; $\mu=0,18$.

Решение.

Вытеснение производится метаном: $G=53 \text{ кг}$; $R=52,9 \text{ (кг}\cdot\text{м)/(кг}\cdot\text{K)}$;

$$Z=0,98; \alpha=1,388; \beta=1; \gamma=2,12; n=0,625; \varphi=2,785; \varphi_n=49^\circ 15'; \varphi_6=\frac{\pi}{2}$$

$$\text{По таблицам функций } F(k, \frac{\pi}{2}) = 2,034; E(k, \frac{\pi}{2}) = 1,261; F(k, \frac{\pi}{2}) = 0,93; E(k, \varphi_n) = 0,7905.$$

Ответ: $\tau=33,6 \text{ мин}$.

Задача № 3. Определить расход паров на слив пропана из автоцистерны АЦЖГ-12-200В. Степень заполнения цистерны $f=0,83$; $G=5000 \text{ кг}$; $c=0,105 \text{ ккал/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, температура $t'=0^\circ\text{C}$; $t_0=-1^\circ\text{C}$; $V''=2,18 \text{ м}^3$; $V'=12 \text{ м}^3$; $p_n=4,9 \text{ кгс/см}^2$; $p_k=8,5 \text{ кгс/см}^2$; $\alpha=260\cdot 10^{-4} \text{ ккал/(кгс}\cdot\text{м)}$; $\beta=1503\cdot 10^{-4} \text{ ккал/(кгс}\cdot\text{м)}$; $\gamma=2260\cdot 10^{-4} \text{ (ккал}\cdot\text{м}^2\text{)/кгс}$; $q_0=1140 \text{ ккал}$.

Решение.

$$\frac{i'\rho'-i''\rho''}{\rho'(i''-i')} = \frac{23\cdot 529 - 118\cdot 10,28}{529\cdot 90} = 0,231;$$

$$\frac{\rho'-\rho''}{\rho'(i''-i')} = \frac{529-10,28}{529\cdot 90} = 0,0109;$$

$$V''\frac{\partial \rho''}{\partial p} + V'\frac{\partial \rho'}{\partial p} = (2,18\cdot 2 - 12\cdot 7,28)10^{-4} = 83,04\cdot 10^{-4}.$$

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. Бадагуев, Б. Т. Техническая эксплуатация газораспределительных систем / Б. Т. Бадагуев. – М.: Альфа-Пресс, 2013. – 432 с.
2. 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.

3. Вишневская, Н. С. Эксплуатация газораспределительных систем. Решение типовых задач [Текст]: метод. указания / Н. С. Вишневская, Е. В. Исупова. – Ухта: УГТУ, 2014. – 54 с.
4. Данилов, А. А. Автоматизированные газораспределительные станции: справ. / А. А. Данилов. – М.: Химиздат, 2006. – 544 с.: ил.
5. Данилов, А. А. Газораспределительные станции / А. А. Данилов, А. И. Петров. – СПб.: Недра, 1997. – 240 с.: ил.
6. Жила, В. А. Автоматика и телемеханика систем газоснабжения: учеб. / В. А. Жила. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 238 с.
7. Ионин, А. А. Газоснабжение: учеб. / А. А. Ионин; под ред. А. А. Широковой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 440 с.: ил.
8. Иссерлин, А. С. Газовые горелки / А. С. Иссерлин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1966. – 234 с.
9. Карякин, Е. А. Промышленное газовое оборудование: справ. / Е. А. Карякин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Газовик, 2013. – 624 с.: ил.
10. Кязимов, К. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования систем газораспределения: практ. пособие для слесаря газового хозяйства / К. Г. Кязимов, В. Е. Гусев. – М.: ЭНАС, 2012. – 288 с.: ил.
11. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных, месторождений (ВНТП 3-85). Миннефтепром. - М.: 1985.
12. ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные газопроводы, Часть I. Газопроводы - М.: Мингазпром, 1985.
13. Правилами измерения расхода газов и жидкостей РД 50-213-80.
14. 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.
15. Свод правил. Газораспределительные системы. СП 62.13330.2011. Актуализированная редакция. СНиП 42-01-2002.
16. СНиП 2-05.06-85. Магистральные трубопроводы. Госкомитет СССР по делам строительства. - М.:1985.