

*Запорожский государственный комбинат «Звезда»
Днепропетровский государственный технический университет

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОВ БЕНЗИНА ИЗ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Введение. Все технологические операции, которые проводятся с нефтепродуктами от добычи и переработки до потребления, сопровождаются различного рода потерями. Большое количество потерь происходит в результате испарения нефтепродуктов [1]. Газовые полости (ГП) резервуаров парков нефтехранилищ, нефтеперерабатывающих заводов, нефтебаз и АЗС, в которых находятся нефтепродукты, содержат пары летучих фракций углеводородов (ЛФУ). Перемешиваясь с воздухом, они образуют паровоздушные смеси (ПВС). Эти процессы происходят в замкнутых объемах газовых полостей резервуаров.

Уменьшить количество паров компонентов бензина в ПВС возможно путем их конденсации. Конденсация компонента ПВС происходит тогда, когда парциальное давление паров компонента больше давления его насыщенного пара. Парциальное давление компонента зависит от температуры, концентрации в ПВС и свойств бензина. Давление насыщенного пара компонента зависит от его свойств и температуры.

Постановка задачи. Условия для конденсации паров бензина можно создать различными путями:

1. Путем уменьшения температуры ПВС при постоянном давлении.
2. Путем увеличения давления смеси при постоянной температуре, например путем сжатия ПВС в компрессоре. Это приводит к повышению давления паров компонентов. Когда давление пара какого-либо компонента в ПВС становится больше давления насыщенного пара этого компонента, начнется процесс его конденсации.

3. Путем увеличения давления и уменьшения температуры ПВС.

В задачу исследования входят:

- рассмотрение условий начала конденсации компонентов ПВС;
- установление условий конденсации паров ПВС путем сжатия;
- определение давления над жидким конденсатом;
- вычисление массовых концентраций и массовых долей компонентов ПВС.

Результаты работы. Рассмотрим условия начала конденсации компонентов ПВС. Параметры компонентов ПВС бензина с температурой поверхностного слоя, равной 25,6°С, и давлением насыщенных паров при 38°С $p_{s38} = 68000$ Па приведены в табл.1. Количество паров бензина в ПВС составляет 1,23 кг/м³. ПВС при этих параметрах взрыво- и пожаробезопасна.

Таблица 1 – Параметры компонентов ПВС при температуре поверхностного слоя 25,6°С

i	Компонент	a_i , Па	b_i , 1/град	C_i , %	ρ_i , кг/м ³
1	2	3	4	5	6
1	Пропан	$4,73 \cdot 10^5$	0,027	1,5	0,04
2	Изобутан	$1,57 \cdot 10^5$	0,03	8	0,214

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
3	Нормальный бутан	$1,06 \cdot 10^5$	0,032	10	0,268
4	Пентан	$2,58 \cdot 10^4$	0,037	14	0,375
5	Бензол	$5,69 \cdot 10^3$	0,036	0,5	0,013
6	Гексан	$6,78 \cdot 10^3$	0,042	6	0,161

где a_i , Па и $b_i, \frac{1}{\text{дддд}}$ – экспериментальные коэффициенты;

C_i – объемная концентрация i -го компонента, %;

ρ_i – массовая концентрация i -го компонента, кг/м^3 .

Конденсация паровоздушной смеси путем охлаждения. Парциальное давление паров i -го компонента ПВС

$$p_{pi} = \gamma_i p, \quad (1)$$

где γ_i – объемная доля i -го компонента ПВС;

p – давление ПВС.

Зависимость давления насыщенного пара i -го компонента ПВС от температуры

$$p_{si} = a_i \cdot \exp(b_i \cdot t) \quad (2)$$

получена путем аппроксимации данных, приведенных в [2].

Конденсация паров ПВС путем сжатия в компрессоре воздушного охлаждения. Недоохлаждение после холодильной ступени компрессора составляет 15°C . Температура окружающей среды равна 20°C . Температура t_k ПВС после компрессорной ступени составляет $20 + 15 = 35^\circ\text{C}$.

Давление насыщенного пара p_{ksi} для i -го компонента при сжатии ПВС в компрессоре [3]

$$p_{ksi} = a_i \cdot \exp(b_i \cdot t_k). \quad (3)$$

Давление пара p_{pkci} i -го компонента при различных степенях ε_j сжатия ПВС в компрессоре

$$p_{pkci} = \gamma_i \cdot p \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

где $p=101300\text{Па}$ – давление на входе в компрессор;

ε – степени сжатия ПВС в компрессоре.

Давление над жидким конденсатом. После конденсации одного из компонентов ПВС начинается процесс абсорбции остальных компонентов в жидком конденсате. При этом масса конденсата увеличивается, объемные доли компонентов в ПВС уменьшаются, и устанавливается давление насыщенного пара над конденсатом, зависящее как от давления насыщенного пара компонентов, так и от объемных долей этих компонентов в жидком конденсате.

Состав конденсата определяется совокупностью сконденсировавшихся паров.

Парциальное давление паров i -го компонента p_{pci} в ПВС определяется зависимостью (1).

Массовая концентрация i -го компонента в ПВС

$$\rho_i = \frac{p_{pi}}{R_i \cdot T_n}, \quad (5)$$

где R_i – газовая постоянная i -го компонента;

T_n – температура ПВС, К.

Температура T_n может быть любой, но выше температуры конденсации одного из компонентов ПВС. В нашем случае конденсация гексана начинается при температу-

ре смеси 2,8°C. Следовательно, T_n должна быть выше 2,8°C. Примем $T_n = 303 \text{ K}$ ($t_n=30 \text{ }^\circ\text{C}$).

Вычислим массовые концентрации ρ_c (табл.2) и массовые доли β i -го компонента ПВС (табл.3).

$$\beta_i = \frac{\rho_{c_i}}{\sum_{i=1}^6 \rho_{c_i}}. \quad (6)$$

Таблица 2 – Массовые концентрации компонентов в ПВС

	Пропан	Изобутан	нбутан	Пентан	Бензол	Гексан
$\rho_c, \text{ кг/м}^3$	0,027	0,21	0,257	0,405	0,031	0,259

Таблица 3 – Массовые доли компонентов в конденсате

	Пропан	Изобутан	нбутан	Пентан	Бензол	Гексан
β_i	0,022	0,177	0,216	0,341	0,026	0,218

Плотность ρ_i i -го жидкого компонента в зависимости от температуры при $t_n=30^\circ\text{C}$

$$\rho_i = \rho_{0i} \cdot (1 - \alpha_i \cdot t_n), \quad (7)$$

где ρ_{0i} – плотность i -го жидкого компонента при $0 \text{ }^\circ\text{C}$, кг/м^3 ;

α_i – температурный коэффициент расширения i -го компонента, $1/\text{град}$.

Плотности жидких компонентов при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ и их температурные коэффициенты расширения приведены в табл.4.

Таблица 4 – Параметры жидких компонентов

	Пропан	Изобутан	нбутан	Пентан	Бензол	Гексан
$\rho_{0i}, \text{ кг/м}^3$	542,7	581	601	645,5	884,5	677,2
$\alpha_i, 1/\text{град}$	0,00313	0,0024	0,00226	0,00157	0,000984	0,00131

Объемные доли γ_i i -го компонента, определенные зависимостью

$$\gamma_i = \frac{\beta_i \rho_i}{\sum_{i=1}^6 \beta_i \rho_i}, \quad (8)$$

приведены в табл.5.

Таблица 5 – Объемные доли компонентов в ПВС

	Пропан	Изобутан	нбутан	Пентан	Бензол	Гексан
γ_i	0,027	0,195	0,23	0,33	0,018	0,2

Если все компоненты сконденсировались, то по закону Рауля давление насыщенного пара компонента над конденсатом пропорционально давлению насыщенного пара компонента и его объемной доле γ_i в жидкой смеси компонентов. Следовательно, давление насыщенного пара p_{skij} i -го компонента над конденсатом при температуре t_j равно:

$$p_{skij} = \gamma_i \cdot a_i \cdot \exp(b_i \cdot t_j). \quad (9)$$

Суммарное давление насыщенного пара компонентов над конденсатом в зависимости от температуры t_j жидкого конденсата

$$p_{rsj} = \sum_{i=1}^6 p_{skij}. \quad (10)$$

При температуре поверхностного слоя бензина в резервуаре, равной $2,5^{\circ}\text{C}$ образуется паровоздушная смесь, состав и параметры которой приведены в табл.6. Количество паров бензина в ПВС составляет $0,595 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 6 – Состав компонентов ПВС

i	Компонент	a_i , Па	b_i , 1/град	C, %	ρ_i , кг/м ³
1	Пропан	$4,73 \cdot 10^5$	0,027	0,68	0,013
2	Изобутан	$1,57 \cdot 10^5$	0,03	4,1	0,105
3	Нормальный бутан	$1,06 \cdot 10^5$	0,032	5	0,128
4	Пентан	$2,58 \cdot 10^4$	0,037	6,4	0,204
5	Бензол	$5,69 \cdot 10^3$	0,036	0,455	0,015
6	Гексан	$6,78 \cdot 10^3$	0,042	3,4	0,129

При температуре поверхностного слоя бензина в резервуаре, равной -28°C , образуется паровоздушная смесь, состав и параметры которой приведены в табл.7. Количество паров бензина в ПВС составляет $0,235 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 7 – Состав ПВС при температуре поверхностного слоя бензина в РВС, равной -28°C

№	Компонент	a_i , Па	b_i , 1/град	C, %	C_m , кг/м ³
1	Пропан	$4,73 \cdot 10^5$	0,027	0,3	0,0066
2	Изобутан	$1,57 \cdot 10^5$	0,03	1,4	0,04
3	Нормальный бутан	$1,06 \cdot 10^5$	0,032	1,8	0,052
4	Пентан	$2,58 \cdot 10^4$	0,037	2,5	0,09
5	Бензол	$5,69 \cdot 10^3$	0,036	0,09	0,0034
6	Гексан	$6,78 \cdot 10^3$	0,042	0,01	0,043

Суммарное давление паров над конденсатом при температуре 0°C для рассмотренных случаев изменяется незначительно в диапазоне от $76,7 \text{ КПа}$ до $79,7 \text{ КПа}$. Для конденсата, полученного из паров бензина, во всем диапазоне эксплуатационных температур можно принять среднее значение суммарного давления паров компонентов над конденсатом при температуре 0°C $p_s(0)$, равным $78,030 \text{ КПа}$. В этом случае зависимость давления пара над конденсатом от температуры можно аппроксимировать уравнением

$$p_s(t) = a_k \cdot \exp(b_k \cdot t), \quad (11)$$

где $a_k = 78030 \text{ Па}$ – давление насыщенного пара над жидким конденсатом при 0°C ;

$b_k = 0.031 \text{ 1/град}$ – температурный коэффициент.

Выводы.

1. Конденсация паров бензинов возможна при соответствующем сочетании давления и температуры паровоздушной смеси. Заданную концентрацию паров бензина в выбрасываемой после компримирования ПВС можно обеспечить при высоких давлениях и достаточно высокой температуре либо при низких давлениях и достаточно

низкой температуре. Получение высоких давлений требует использования компрессора, а получение низких температур требует использования источников холода, например, холодильной машины или детандера. Чем больше давление, создаваемое компрессором, тем больше мощность привода компрессора и его стоимость. Чем ниже потребная температура газовой смеси, тем большая мощность и стоимость источника холода.

Сочетание компрессора и холодильной машины можно выбрать, исходя из условия минимальной стоимости компрессорно-холодильного агрегата.

2. Конденсация компонентов ПВС возможна путем ее охлаждения или сжатия, или путем сжатия, а затем охлаждения сжатой ПВС.
3. При появлении конденсата одного из компонентов происходит абсорбция паров других компонентов в этом конденсате.
4. Давление насыщенного пара над жидким конденсатом мало зависит от температуры жидкого бензина, при которой была получена ПВС.
5. При сжатии и охлаждении ПВС можно выбрать степень сжатия компрессора и температуру охлаждения ПВС, при которых обеспечивается заданная концентрация паров бензина в выбрасываемой смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов Н.Н. Борьба с потерями от испарения нефтепродуктов / Константинов Н.Н. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1961. – 260с.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Варгафтик Н.Б. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 720с.
3. Греков В.Ф. Конденсация паров бензина с помощью компрессорной станции / А.А.Пьянков, А.А.Овсиевский // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2005. – №2(2). – С.30-33.

УДК 621.01.216

КЛИМОВ Р.А., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРОЦЕССОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ЭМУЛЬСИОННЫХ СРЕД

Введение. Все существующие методики расчетов предполагают нахождение режимных характеристик процессов диспергирования, эмульгирования или гомогенизации. Существуют различные методы получения эмульсий и их дальнейшей обработки. Перспективной является роторно-пульсационная обработка дисперсных систем в роторно-пульсационных аппаратах и пульсационных диспергаторах ударного типа [1-7]. В данном типе аппаратов реализуется комплекс сложных гидродинамических и теплофизических явлений, таких как высокоградиентные течения в зазорах между вращающимися и неподвижными элементами, интенсивные процессы турбулизации потока, явления кавитации и др. В роторных теплообменных аппаратах возникают импульсные явления локального вскипания обрабатываемой среды. Для этих аппаратов важным является определение относительных скоростей вращения элементов, оптимальных зазоров между этими элементами для различных типов обрабатываемых сред.