

Примеры и задачи
по курсу
«Классификация и стандартизация
ТОПЛИВ»

Составитель:
Никитин Е.Е., к.т.н.
профессор кафедры ЭиМНГХК
«ИНЖЕКОН»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Массовый, объемный и мольный состав.....	3
2. Техничко-экономические показатели процессов переработки топлив.....	5
3. Теплота сгорания и температура горения топлива.....	9
4. Химическая переработка топлива.....	14
5. Компаундирование автомобильных бензинов по ДПР.....	16
6. Компаундирование бензинов по октановому числу.....	18
7. Процессы переработки нефти.....	21
8. Классификация нефтей.....	23
9. Задачи для домашней работы и аудиторных занятий.....	27
Приложение 1.....	34
Приложение 2.....	35
Приложение 3.....	36
Приложение 4.....	37

1. МАССОВЫЙ, ОБЪЕМНЫЙ И МОЛЬНЫЙ СОСТАВ

Количество вещества — одна из основных величин, характеризующая численностью содержащихся в системе структурных единиц (атомов, молекул, ионов и др.). Единицей количества вещества является *моль*.

Мольная масса — масса 1 моль вещества:

$$M = m/N$$

Мольный объем — объем 1 моль вещества:

$$V_m = V/m$$

Массовая доля компонента в смеси — отношение массы компонента A , содержащегося в смеси, и общей массы смеси:

$$w_A = m_A/m$$

Мольная доля компонента в смеси — отношение количества компонента и общего количества смеси:

$$x_A = N_A/N$$

Объемная доля компонента в смеси — отношение приведенного (к обычным давлению и температуре смеси) объема компонента и общего объема смеси:

$$\varphi_A = V_A/V$$

Показатель «*объемная доля*» используется преимущественно для характеристики газовых смесей и совпадает (для газов) с показателем «*мольная доля*», если не учитывать отклонения реальных газов от идеального состояния.

Массовое соотношение компонента в смеси — отношение массы данного компонента к массе остальной части смеси.

Мольное соотношение компонента в смеси — отношение количества данного компонента к количеству остальной смеси.

Объемное соотношение компонента в смеси — отношение приведенного объема данного компонента к объему остальной смеси.

Массовая концентрация компонента — отношение массы компонента смеси к объему смеси:

$$C_x = m_A/V$$

При расчетах химико-технологических процессов часто возникает необходимость перевода массового состава смеси в мольный и наоборот. Для перевода массовых долей в мольные находят массу каждого компонента в 1 кг или в 100 кг (если массовые доли выражены в процентах) смеси; делят массу компонента на его относительную мольную массу, определяя количество компонента (кмоль); деля число моль каждого компонента

на сумму общего числа моль, получают мольные доли компонентов. Для пересчета мольных долей в массовые определяют количество каждого компонента в 100 моль смеси; определяют массу каждого компонента, умножая количество компонента на его относительную мольную массу; находят массовые доли, деля массу каждого компонента на общую массу смеси.

Пример 1. Определить массовые доли компонентов в смеси, состоящей из 400 кг бензола и 100 кг толуола.

Решение. Общая масса вещества в смеси:

$$400 + 100 = 500 \text{ кг}$$

Массовые доли компонентов в смеси:

$$\text{бензол } 400 : 500 = 0,8$$

$$\text{толуол } 100 : 500 = 0,2$$

Массовую долю второго компонента в данном случае можно определить также, учитывая, что сумма массовых долей компонентов равна единице. Тогда массовая доля толуола равна:

$$1 - 0,8 = 0,2$$

Пример 2. Определить мольные доли компонентов в смеси, состоящей из 100 кг метана, 120 кг этана и 180 кг этилена.

Решение. Мольная масса метана 16 кг/кмоль, этана 30 кг/кмоль, этилена 28 кг/кмоль. Количество каждого компонента:

$$\text{метан } 100 : 16 = 6,25 \text{ кмоль}$$

$$\text{этан } 120 : 30 = 4,0 \text{ кмоль}$$

$$\text{этилен } 180 : 28 = 6,43 \text{ кмоль}$$

Общее количество вещества:

$$6,25 + 4,0 + 6,43 = 16,68 \text{ кмоль}$$

Мольные доли компонентов:

$$\text{метан } 6,25 : 16,68 = 0,37$$

$$\text{этан } 4,0 : 16,68 = 0,24$$

$$\text{этилен } 6,43 : 16,68 = 0,39$$

Для этилена мольная доля может быть определена также исходя из равенства суммы мольных долей компонентов единице. Тогда мольная доля этилена равна:

$$1 - 0,37 - 0,24 = 0,39$$

2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТОПЛИВ

Экономическая эффективность и практическая целесообразность химического производства определяются технико-экономическими показателями, важнейшими из которых являются расходный коэффициент сырья и выход продуктов, производительность аппарата, интенсивность процесса (аппарата) и экономическая эффективность химического производства. Расход каждого вида сырья, отнесенный к единице целевого продукта, называют *расходным коэффициентом (A)* и выражают в тоннах (т), килограммах (кг), метрах кубических (м³).

Теоретические расходные коэффициенты ($A_{\text{теор}}$) рассчитывают на основании стехиометрических соотношений, по которым происходит превращение сырья в целевой продукт.

$$A_{\text{теор}} = \frac{m_1}{m_2}$$

где,

$A_{\text{теор}}$ – теоретический расходный коэффициент (в т, кг, м³);

m_1 – расход сырья, реагента;

m_2 – масса целевого продукта.

Практические расходные коэффициенты ($A_{\text{прак}}$) учитывают также побочные реакции и производственные потери.

Выход продукта η – это отношение массы полученного целевого продукта к его массе, которая должна быть получена по стехиометрическому управлению, выраженное в процентах:

$$\eta = \frac{m_{\text{прак}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100\%,$$

где,

$m_{\text{прак}}$ – масса или объем целевого продукта, полученного практически;

$m_{\text{теор}}$ – масса или объем целевого продукта, получение которого теоретически возможно.

Производительность аппарата (процесса) (П) – это масса выработанного продукта или переработанного сырья в единицу времени:

$$\Pi = \frac{m}{\tau},$$

где,

Π – производительность (в кг/ч, т/сут, м³/сут);

m – масса продукта (в т, кг);

τ – время (в ч, сут).

Максимально возможная производительность аппарата (при оптимальных условиях) называется мощностью (N):

$$N = \Pi_{\text{опт}}$$

где,

N – мощность аппарата (в кг/ч, т/сут)

Интенсивность аппарата (процесса) (I) – это производительность, отнесенная к единице полезного объема или к единице полезной площади.

$$I = \frac{\Pi}{V_n} = \frac{m}{V_n \tau}$$

$$I' = \frac{\Pi}{S_n} = \frac{m}{S_n \tau}$$

где,

I - интенсивность (в кг/м³·ч, кг/м²·ч);

V_n – полезный объем аппарата;

S_n - полезная площадь аппарата.

Экономическая эффективность является самым важным показателем, отражающим совершенство химико-технологического процесса, и характеризуется: капитальными затратами, себестоимостью продукции и производительностью труда.

Удельные капитальные затраты (K_y) – отношение общей стоимости установки (цеха) к ее годовой мощности:

$$K_y = \frac{K}{N}$$

где,

K_y – удельные капитальные затраты $\left(\frac{\text{в руб} \cdot \text{г}}{\text{т}} \right)$;

K – капитальные затраты (в руб.);

N – мощность установки (в т/г)

Зависимость удельных капитальных затрат от единичной мощности установки, т.е. одного производственного агрегата, выражается уравнением:

$$K_y = a \cdot N^{-0,4},$$

где,

$$K_y - \text{удельные капитальные затраты} \left(\frac{\text{в руб} \cdot \text{г}}{\text{т}} \right);$$

a – коэффициент, зависящий от характера химического производства, его находят для каждого продукта с использованием практических данных;

N – мощность агрегата (в т/г)

Себестоимость (C) – денежное выражение затрат данного предприятия на изготовление и сбыт единицы продукции. Зависимость между себестоимостью и единичной мощностью производственного агрегата выражается уравнением:

$$C = m \cdot N^n,$$

где,

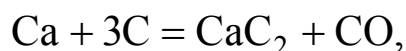
C – себестоимость продукта (в руб/т);

N – мощность цеха или установки (в т/г);

m, n – коэффициенты ($n=0,2$ или $0,3$).

Пример 1. Определите расходные коэффициенты в производстве карбида кальция, содержащего 90% CaC_2 , если сырье – антрацит марки АК с содержанием углерода 96%, известь (негашеная) с содержанием CaO 85%.

Решение. Карбид кальция получают по реакции, выражаемой уравнением:



$$M_{\text{гCaC}_2} = 64; \quad M_{\text{гCaO}} = 56; \quad A_{\text{гC}} = 12.$$

По условию в 1 т продукта содержится 900 кг CaC_2 . Определим, сколько оксида кальция требуется на образование 900 кг CaC_2 .

$$A_{\text{т}} = \frac{900 \cdot 56}{64} = 787,5 \text{ (кг)}.$$

Материальный и тепловой (энергетический) балансы составляют для анализа работы существующего аппарата, установки, производства или при проектировании нового. Материальный же баланс технологического процесса или части его составляют на основании закона сохранения массы вещества, и это означает, что масса веществ,

поступивших на технологическую операцию – приход, равна массе полученных веществ – расход.

Расчеты балансов основываются на технико-экономических показателях. Для процессов, которые можно описать суммарной химической реакцией, материальный баланс складывается из двух частей: левая часть уравнения - приход, правая часть уравнения – расход. Материальный баланс рассчитывается или только по уравнению основной суммарной реакции (упрощенный) или с учетом всех параллельных побочных реакций и продуктов (полный). Уравнение материального баланса:

$$\sum m_{\text{прих}} = \sum m_{\text{расх}},$$

$$\sum m_{\text{прих}} - \sum m_{\text{расх}} = 0$$

где,

$\sum m_{\text{прих}}$ – суммарная масса исходных веществ процесса цикла;

$\sum m_{\text{расх}}$ - суммарная масса конечных продуктов процесса.

Материальный баланс обычно рассчитывается на единицу полученного продукта (кг, т, м³) или в % на основе данных производства. Результаты сводят в таблицу. Материальный баланс служит основой для составления теплового и экономического балансов и поэтому составляется первым. В результате составления материального баланса можно вычислить практические расходные коэффициенты на сырье.

Тепловой (энергетический) баланс технологического процесса или части его составляют на основе закона сохранения энергии, в сочетании с которым в замкнутой системе сумма всех видов энергии постоянна, т.е. приход теплоты должен быть равен расходу его в данном процессе, аппарате, операции. Уравнение теплового баланса:

$$\sum Q_{\text{прих}} = \sum Q_{\text{расх}},$$

где,

$Q_{\text{прих}}$ – сумма теплот Q_1, Q_2, Q_3 ;

Q_1 – теплота, приносимая входящими в аппарат веществами;

Q_2 – теплота экзотермических реакций, протекающих в данном аппарате;

Q_3 – теплота, вносимая извне, за счет подогрева;

$\sum Q_{\text{расх}}$ – сумма теплот Q_4, Q_5, Q_6 ;

Q_4 – теплота, уносимая выходящими из аппарата продуктами;

Q_5 – теплота эндотермических реакций, протекающих в аппарате;

Q_6 – потери теплоты в окружающую среду и отвод ее через холодильники, помещенные внутри аппарата.

Уравнение теплового (энергетического) баланса:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6.$$

Q_1 и Q_4 в технологии называют теплосодержанием материалов и рассчитывают для каждого вещества, поступающего в аппарат и выходящего из него:

$$Q_1 \text{ или } Q_4 = m \cdot c \cdot t,$$

где,

m – масса вещества (кг, моль) (берут из данных материального баланса);

c – средняя теплоемкость этого вещества (берут из справочника);

t – температура, отсчитанная от какой-либо точки (обычно 273 К).

Тепловые эффекты химических реакций Q_2 и Q_5 могут быть рассчитаны на основе изобарных теплот образования из элементов различных веществ $q_{обр}^0$, или теплот сгорания, или энтальпии образования веществ ΔH_{298} в стандартных условиях (для массы 1 моль, давления $1,01 \cdot 10^5$ Па, температуры 298 К) Изменение энтальпии реакции ΔH численно равно тепловому эффекту реакции, взятому с обратным знаком:

$$\Delta H = -Q_p$$

Изменение энтальпии (ΔH) реакции находим как разность энтальпии продуктов реакции и исходных веществ:

$$\Delta H_p = \sum \Delta H_{\text{прод}} - \sum \Delta H_{\text{исх}}$$

Значение $\Delta H_{обр}$ приведено в справочниках термохимических и термодинамических величин.

Подвод теплоты Q_3 можно учесть по потере ее теплоносителем. Потери теплоты Q_6 можно рассчитать по изменению теплоты хладагента или в процентах к массе внесенной теплоты.

3. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ И ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

*Теплотой сгорания топлива*¹ Q называется количество тепла (в килоджоулях), выделяемое при полном сгорании 1 кг топлива. При сгорании газообразного топлива это количество относится к 1 м³. Таким образом, теплота сгорания топлива представляет собой тот суммарный тепловой эффект, который дают при сжигании горючие составные части топлива. Следовательно, теплота сгорания топлива будет зависеть от его состава.

¹ Теплота сгорания топлива именуется также его тепловой способностью.

Для подсчета теплоты сгорания топлива по его аналитическому (элементарному) составу наиболее употребительна в технических расчетах формула Менделеева (1):

$$Q_H^p = 339,3C + 1256H - 109(O - S) - 25,2(9H + W)$$

где,

Q_H^p — низшая (рабочая, или полезная) теплота сгорания топлива (кДж/кг), т. е. теплота сгорания топлива, вычисленная при условии, что после его сгорания вода находится в виде пара;

C — процентное содержание углерода;

H — то же водорода;

O — то же кислорода;

S — то же серы;

W — то же влаги в рабочем топливе (с учетом содержания в нем $A\%$ золы и $N\%$ азота).

Сумма составных частей топлива должна составлять 100%:

$$C + H + O + S + N + A + W = 100\%$$

Характеризуя топливо, различают его высшую теплоту сгорания Q_B^p , которую вычисляют при условии, что вся вода, образовавшаяся при сгорании, и первоначально содержащаяся влага в топливе конденсируется из отходящих газов в жидкость и охлаждается до первоначальной температуры, т. е. до температуры, с которой поступает топливо в топку (1а):

$$Q_B^p = 339,3C + 1256H - 109(O - S) = Q_H^p + 25,2(9H + W)$$

Для характеристики топлива, кроме теплоты сгорания, служит его жаропроизводительная способность, т. е. та наивысшая, или предельная, температура, которая теоретически может быть достигнута в результате сжигания данного горючего. Эта температура называется теоретической, или максимальной, температурой горения (t_{\max}) и подсчитывается по уравнению (2):

$$t_{\max} = \frac{Q_H^p + ct_T + \alpha G(1,02 + 1,95x)t_B}{m_1c_1 + m_2c_2 + \dots}$$

где,

Q_H^p — низшая теплотворная способность (теплота сгорания) топлива; c — средняя удельная теплоемкость горючего (топлива);

t_T — температура поступающего в топку горючего (топлива);

$\alpha G(1,02 + 1,95x)t_B$ — теплосодержание влажного воздуха;

$G_{\text{теор}}$ — теоретический расход воздуха (в кг), идущего на сжигание 1 кг рабочего топлива;

α — коэффициент избытка воздуха, практически принимается для твердого топлива от 1,3 до 1,7, для жидкого — от 1,1 до 1,2 и для газообразного — от 1,0 до 1,2;

1,02 — удельная теплоемкость воздуха;

1,95 — удельная теплоемкость водяных паров;

x — влагосодержание воздуха (в кг) на 1 кг сухого воздуха;

t_B — температура воздуха, поступающего на сгорание; $m_1, m_2 \dots$ — количество составных частей продуктов сгорания (в кг) на 1 кг сгораемого топлива; c_1 и $c_2 \dots$ — средние удельные теплоемкости составных частей продуктов сгорания топлива.

Теоретический расход воздуха G (в кг на 1 кг горючего) может быть определен исходя из элементарного состава топлива по уравнению (3):

$$G = \frac{1}{23} \left[\frac{32}{12} C + \frac{16}{2} H + \frac{32}{32} (S - O) \right]$$

Или

$$G_{\text{теор}} = 0,116C + 0,348H + 0,0435 (S - O)$$

Примечание. Если топливо и воздух поступают в топку без подогрева, то вторым (ct_T) и третьим ($\alpha G(1,02+1,95x)t_B$) членами уравнения в технических расчетах пренебрегают, так как они ничтожно малы по сравнению с величиной Q_H^p .

Для характеристики газообразного топлива служит также индекс Уоббе, выражающий собой отношение высшей теплоты сгорания газа (Q_B^p Мдж/м³) к его относительной плотности (d):

$$\text{индекс} = \frac{Q_B^p}{d}$$

Пример 1. Определим низшую и высшую теплотворную способность угольного штыба состава: 68,2% С, 1,4% Н₂, 1,5% О₂, 1,2% S, 6,0% влаги и 21,7% золы.

Решение. По уравнению (1) и (1а) имеем:

$$Q_B^p = 339,3 \cdot 68,2 + 1256 \cdot 1,4 - 109 \cdot (1,5 - 1,2) - 25,2(9 \cdot 1,4 + 6,0) = 24400 \text{ кДж/кг}$$

Теоретический расход воздуха $G_{\text{теор}}$ для сгорания 1 кг топлива указанного состава определится по уравнению (3):

$$G_{\text{теор}} = 0,116 \cdot 68,2 + 0,348 \cdot 1,4 + 0,0435 (1,2 - 1,5) = 8,4 \text{ кг}$$

При коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,4$ фактический расход воздуха составит:

$$G_{\text{факт}} = 8,4 \cdot 1,4 = 11,76 \text{ кг}$$

Пример 2. Подсчитать температуру горения каменного угля в воздухе, если состав угля: 73,0% С, 5,5% Н₂, 8,0% О₂, 2,0 Н₂, 1,0% S, 4,5% золы и 6,0% влаги. Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,4$; степень насыщения воздуха водяными парами 0,87; весь углерод

топлива сгорает до CO_2 , температура угля и воздуха, поступающих в топку, 20°C ; теплотери вследствие прямой отдачи факелом топлива и стенками топки, а также уноса тепла шлаком примем 6% от общего прихода тепла.

Решение. Расчет ведем на 1 кг рабочего топлива по уравнению (2). Подсчитаем значение числителя в этом уравнении, т. е. общий приход тепла (ΣQ) при сгорании 1 кг топлива.

По уравнению (1) низшая теплота сгорания топлива определится

$$Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 339,3 \cdot 73,0 + 1256 \cdot 5,5 - 109(8,0 - 1,0) - 25,2(9 \cdot 5,5 + 6,0) = 29540 \text{ кДж/кг.}$$

Теплосодержание 1 кг угля при 20°C составит:

$$ct = 0,84 \cdot 20 = 17 \text{ кДж/кг}^2$$

Теоретический расход воздуха G определится по уравнению (3):

$$G = -0,116 \cdot 73 + 0,348 \cdot 5,5 + 0,0435(1-8) = 10,08 \text{ кг.}$$

Влагосодержание воздуха (x) определится из следующего: давление насыщенных водяных паров при 20°C равно 2340 н/м^2 ; при степени насыщения воздуха парами 0,87 давление водяных паров составит $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2340 \cdot 0,87 = 2036 \text{ н/м}^2$. Следовательно, в 1 м^3 воздуха содержится $2036 / (101 \cdot 10^3) = 0,02 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$. Плотность сухого воздуха $1,2928 \text{ кг/м}^3$. Отсюда влагосодержание 1 кг воздуха:

$$x = \frac{0,02}{1,2928} \cdot \frac{18}{22,4} = 0,0124 \text{ кг H}_2\text{O на 1 кг воздуха.}$$

Теплосодержание поступающего в топку воздуха

$$i_{\text{возд}} = 1,4 - 10,08(1,02 + 1,95 \cdot 0,0124) \cdot 20 = 293 \text{ кДж}$$

Общий приход тепла ($2Q$)

$$y, Q = 29540 + 17 + 293 = 29850 \text{ кДж.}$$

Учитывая 6% теплотерью, находим количество тепла (Q), уносимое отходящими газами:

$$Q = 0,94 \Sigma Q = 0,94 \cdot 29850 = 28060 \text{ кДж}$$

Дальнейший подсчет t производим интерполяцией. Определим состав продуктов сгорания. 1 кг рабочего угля содержит:

- $0,73/12 = 0,0608 \text{ кмоль C}$, который при сгорании дает в отходящих газах $0,0608 \text{ кмоль CO}_2$;

- $0,055/2 = 0,0275 \text{ кмоль H}_2$, который при сгорании дает $0,0275 \text{ кмоль H}_2\text{O}$

- $0,01/32 = 0,0003 \text{ кмоль S}$, которая при сгорании дает $0,0003 \text{ кмоль SO}_2$;

- $0,02/28 = 0,0007 \text{ кмоль N}_2$ и $0,06/18 = 0,0032 \text{ кмоль H}_2\text{O}$, которые переходят в

отходящие газы в виде N_2 и H_2O .

² $0,84 \text{ кДж/кг-град}$ – средняя теплоемкость угля

Кроме продуктов, получающихся от сгорания угля, следует также учесть содержание в них: а) влаги и азота, поступающих с воздухом; б) кислорода, поступающего с избытком, воздуха.

Поступило влаги с воздухом:

$$\frac{1,4 \cdot 10,08 \cdot 0,0124}{18} = 0,0097 \text{ кмоль } H_2O$$

Поступило избытка воздуха:

$$\frac{0,4 \cdot 10,08}{1,293} = 3,12 \text{ м}^3$$

В нем содержится кислорода:

$$\frac{0,21 \cdot 3,12}{22,4} = 0,0292 \text{ кмоль}$$

Поступило всего воздуха (необходимого для сгорания угля, и избыток воздуха):

$$\frac{1,4 \cdot 10,8}{1,293} = 10,91 \text{ м}^3$$

В нем содержится азота:

$$\frac{0,79 \cdot 10,91}{22,4} = 0,3892 \text{ кмоль}$$

Таким образом, состав отходящих газов (на 1 кг сгоревшего рабочего топлива):

CO ₂	0,0608 кмоль или 0,0603/0,5206	11,7%
H ₂ O	(0,0275+0,0032+0,0097)=0,0404 кмоль	7,7%
O ₂	0,0292	5,6%
N ₂	0,0007+0,3892=0,3899	74,9%
SO ₂	0,0003	0,1%

Отсюда подсчитаем действительную температуру горения угля (теплосодержание газов берем из справочника).

Принимаем $t=1500^0\text{C}$. Теплосодержание отходящих газов составит:

$$Q^1 = 78600 \cdot 0,0608 + 61700 \cdot 0,0404 + 51000 \cdot 0,0292 + 48600 \cdot 0,3899 + 79500 \cdot 0,0003 = 27720 \text{ кдж } (Q^1 < Q)$$

Принимаем $t=1600^0\text{C}$. При этом имеем:

$$Q^2 = 84600 \cdot 0,0608 + 66700 \cdot 0,0404 + 54700 \cdot 0,0292 + 52200 \cdot 0,3899 + 85400 \cdot 0,0003 = 29720 \text{ кдж } (Q^2 > Q^1)$$

Определяем разности теплосодержание и температур продуктов сгорания:

$$Q_2 - Q_1 = 29\,720 - 27\,720 = 2000 \text{ кДж}$$

$$\Delta t_1 = 1600 - 1500 = 100^\circ\text{C}$$

$$Q - Q_1 = 28\,060 - 27\,720 = 340 \text{ кДж}$$

$$\Delta t = t - 1500$$

Отсюда

$$\Delta t = 340 \cdot 100 / 2000 = 17^\circ\text{C}$$

4. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТОПЛИВА

При расчете площади поверхности теплообмена в установках для нагрева жидкого топлива пользуются среднелогарифмической разностью температур, которая вычисляется по формуле:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \lg \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

где,

Δt_{cp} — среднелогарифмическая разность температур, К;

Δt_1 — разность температур теплоносителя (на входе) и нагреваемого вещества (на выходе);

Δt_2 — разность температур теплоносителя (на выходе) и нагреваемого вещества (на входе).

Относительное движение теплоносителя и нагреваемого вещества рассматривается здесь и далее только противоточное, ибо это наиболее распространенный случай в процессах химической переработки топлива. Аналогично рассчитывается движущая сила адсорбции при улавливании продуктов химической переработки топлив.

В промышленности данные материального баланса процессов химической переработки топлив принято приводить в массовых долях, а состав образующейся при этом газовой фазы в объемных долях. Для того чтобы эти данные были сопоставимы, надо сначала найти среднюю молярную массу газа (по аддитивности, с учетом доли каждого компонента), затем условное число молей газовой смеси.

$$M = \sum \omega_i \cdot M_i$$

где,

M — молярная масса газа, выраженная в кг/кмоль;

ω_i — массовая доля компонента в газе, выраженная в долях единицы;

M_i — молярная масса компонента, выраженная в кг/кмоль.

$$n = \frac{m \cdot \omega}{M}$$

где,

n — условное число молей;

m — масса вещества, из которого получается газ, кг;

ω — массовая доля газа, выраженная в долях единицы;

M — средняя молярная масса газа (выраженная в кг/кмоль).

Природный и попутный нефтяной газы широко используются как топливо. Для расчетов в этом случае пользуются правилом аддитивности:

$$q_n = \omega_i \cdot q_i$$

где,

ω_i — массовая или объемная доля газа от исходного сырья, выраженная в долях единицы;

q_i — удельная или объемная теплота сгорания компонента газа, выраженная в кДж/кг или кДж/м³.

Зная теплоту сгорания топлива, можно рассчитать нужную его массу или объем для обеспечения того или иного процесса по формуле:

$$m = \frac{q}{\eta \cdot q_i}$$

где,

m — масса или объем топлива, кг или м³;

q — необходимое количество теплоты для обеспечения процесса, кДж;

η — коэффициент полезного действия установки, в долях от единицы;

q_i — удельная или объемная теплота сгорания топлива, кДж/кг или кДж/м³.

Пример 1. Определите среднелогарифмическую разность температур для второй ступени АВТ, где нефть нагревается от 380 К до 630 К дымовыми газами, имеющими на входе температуру 1200 К, а на выходе 620 К.

Решение:

$$1200 \xrightarrow{\text{дымовые газы}} 620; \Delta t_{1=1200} \text{ К} - 630 \text{ К} = 570 \text{ К}$$

$$630 \xleftarrow{\text{нефть}} 380; \Delta t_2 = 620 \text{ К} - 380 \text{ К} = 240 \text{ К}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{570 - 240}{2,3 \lg \frac{570}{240}} = 382 \text{ K}$$

Пример 2. При каталитическом крекинге керосина массовая доля газа равна 18 % от сырья. Определите массу метана, которая получится из 1 т керосина, если объемные доли компонентов газа крекинга: Н₂-9, СН₄-27, С₂Н₆-12, С₃Н₈-3,5; С₂Н₄-25, С₃Н₆-15, С₄Н₈-8,5%.

Решение. Среднюю молярную массу смеси определяют по формуле:

$$M = 0,09 \cdot 2 + 0,27 \cdot 16 + 0,12 \cdot 30 + 0,035 \cdot 44 + 0,25 \cdot 28 + 0,15 \cdot 42 + 0,085 \cdot 56 = 27,7 \text{ кг/кмоль}$$

Условное число молей смеси:

$$n = \frac{1000 \cdot 0,18}{27,7} = 6,5 \text{ кмоль}$$

Масса метана в смеси:

$$m(\text{CH}_4) = 6,5 \cdot 16 \cdot 0,27 = 28,08 \text{ кг}$$

5. КОМПАУНДИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ ПО ДПР

Бензин – топливо для двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием

Одной из принципиальных стадий цикла работы двигателя внутреннего сгорания является воспламенение бензина. Когда двигатель разогрет, с этим нет проблем: тепло обеспечивает поступление 100% бензина в цилиндр в виде паров. Но когда двигатель только начинает работать на холоде, ситуация усложняется.

При запуске холодного двигателя необходимо, чтобы бензин содержал достаточно летучих углеводородов для образования воспламеняющейся паровоздушной смеси. Мерой летучести является давление насыщенных паров, конкретнее, давление паров по Рейду (ДПР) – характеристика, названная по имени человека, который разработал прибор для ее измерения.

Давление насыщенного пара – это мера поверхностного давления, которое необходимо, чтобы жидкость не испарялась. Для легкокипящего углеводорода типа пропана давление паров очень высоко, так как этот углеводород очень летуч. Более высококипящий углеводород, такой как газойль, характеризуется почти нулевым давлением насыщенных паров, так как при комнатной температуре он испаряется крайне медленно. ДПР измеряют при температуре 15°C (60°F).

Режим работы двигателя. При холодном запуске должно испаряться достаточное количество бензина (приблизительно 10 %), чтобы образовалась воспламеняемая смесь. Если воспламенение произошло, то оставшаяся часть бензина (которая не испарилась) тоже наверняка сгорит. Другое условие относится к режиму, когда работает полностью разогретый двигатель, или к режиму, когда горячий двигатель нужно повторно запустить. В этом случае пары бензина не должны расширяться слишком сильно, иначе на пути в цилиндр бензин невозможно будет смешать с воздухом.

Для холодного запуска требуется бензин с ДПП 13 psi (0,91 атм). В теплое время года машины не будут заводиться, если ДПП бензина окажется выше, чем 8,5 psi (0,60 атм).

Пример компаундирование в соответствии с давлением насыщенных паров для смеси:

Таблица 1

Компонент	ДПП, psi (атм)
изо-С4	71,0 (4,99)
н-С4	52,0 (3,66)
Риформат с ИОЧ 94	2,8 (0,20)
Риформат с ИОЧ 100	4,2 (0,29)
Легкий продукт гидрокрекинга	3,9 (0,27)
Тяжелый продукт гидрокрекинга	1,7 (0,12)
Алкилат	4,6 (0,32)
Прямогонный бензин	11,1 (0,77)
Прямогонный лигроин	1,0 (0,07)
Крекинг-бензин	4,4 (0,31)
Бензин с установки коксования	4,0 (0,28)

Для того чтобы определить количество бутана, которое требуется для достижения необходимого давления насыщенных паров, требуется произвести алгебраический расчет средневзвешенных значений. Давление насыщенного пара не вполне пропорционально объемным долям компонентов, но для нашей цели такой расчет дает вполне достаточную точность. Предположим, требуемое значение ДПП равно 10psi (0,7 атм) и имеется смесь из пяти компонентов. Нужно рассчитать, сколько н-бутана следует добавить к этой смеси.

Таблица 2

Компонент	Объем, баррель	ДПР	Объем x ДПР
Прямогонный бензин	4000	1,0	4000
Риформат	6000	2,8	16800
Легкий прод. гидрокрекинга	1000	4,6	4600
Крекинг-бензин	8000	4,4	35200
Всего	19000	60600	
н-Бутан	x	52	52x

Чтобы получить величину ДПР, равную 10 psi (0,7 атм), следует добавить:

$$10(19000 + x) = 60600 + 52x,$$

$$190000 + 10x = 60600 + 52x,$$

$$-52x + 10x = -129400,$$

$$x = 3081 \text{ баррелей н-бутана.}$$

Общее количество произведенного бензина составит $19000 + 3081 = 22081$ баррель.

6. КОМПАУНДИРОВАНИЕ БЕНЗИНОВ ПО ОКТАНОВОМУ ЧИСЛУ

Октановое число показывает, будет ли бензин детонировать в двигателе.

Детонация.

Когда смесь паров бензина и воздуха подается в цилиндр, поршень движется вверх и сжимает ее. При сжатии пары нагреваются.

Если смесь паров бензина и воздуха достаточно сильно сжать, то она сильно нагреется и может самовоспламениться без участия свечи зажигания. Если это случится раньше, чем поршень достигнет верхней точки своего хода, то произойдет детонация, то есть двигатель будет препятствовать движению коленчатого вала, вместо того, чтобы ему способствовать. Детонация обычно воспринимается как постукивание или гудение двигателя. Очевидно, детонации следует избегать, так как она не только работает против движущей силы мотора, но также отрицательно сказывается на его механических частях. На ранних стадиях разработки бензиновых двигателей было обнаружено, что различные

компоненты бензина ведут себя по-разному. Ключевой характеристикой компонента является степень сжатия.

При измерении октанового числа бензина или компонента бензина имеет значение конкретная степень сжатия, а именно та, при которой самовоспламенение произойдет именно в верхней точке хода поршня. Для измерения степени сжатия, при которой данный компонент бензина детонирует, был разработан специальный ряд чисел. За бензин с октановым числом 100 был условно принят изооктан (2,2,4-триметилпентан) C_8H_{18} . Нормальный гептан C_7H_{16} , который детонирует при значительно меньшей степени сжатия, был принят за бензин с октановым числом 0. Используя испытания на стендовом двигателе, каждому компоненту бензина можно поставить в соответствие смесь изооктана и н-гептана определенного состава. Октановым числом считается процентная доля изооктана в смеси, детонирующей при той же степени сжатия.

Типы октановых чисел.

Испытания по определения октановых чисел проводят при двух разных режимах. Измерение октанового числа по исследовательскому методу (ИОЧ) моделирует езду на машине в мягких условиях. Измерение октанового числа по моторному методу (МОЧ) проводят в более жестких условиях, которые моделируют движение на большой скорости или при значительной нагрузке. Сочетание величин МОЧ и ИОЧ дает полное представление о работе в разных условиях.

На АЗС указывается следующая величина:

$$\frac{МОЧ + ИОЧ}{2}$$

Когда два компонента бензина смешивают, величины ИОЧ и МОЧ не подчиняются правилу аддитивности. Другими словами, ИОЧ и МОЧ смеси не равны величинам, полученным усреднением с учетом объемных долей компонентов. Однако, существует такая величина, как октановое число смешения, которое уже подчиняется правилу аддитивности. Октановое число смешения определенным образом связано с истинным октановым числом (которое находят по испытаниям на двигателе) и выясняется опытным путем. Когда говорят об ИОЧ и МОЧ компонентов бензина, то могут иметь в виду как истинные октановые числа, так и числа смешения. Так с момента все октановые числа, которые будут упоминаться, будут означать именно октановые числа смешения.

Пример компаундирования по октановому числу

Рассчитаем МОЧ и ИОЧ для смеси из предыдущего примера:

	Объем (баррели)	МОЧ	ИОЧ
Прямогонный бензин	4000	61,6	66,4
Риформат	6000	84,4	94,0
Бензин фракции гидрокрекинга	1000	73,7	75,5
Крекинг-бензин	8000	76,8	92,3
н-Бутан	3081	92,0	93,0
Всего	22081		

Средние значения октановых чисел для 22081 баррелей равны: МОЧ 78,1 и ИОЧ 87,4.

Теперь рассчитаем, сколько нужно добавить алкилата, чтобы получить требуемые МОЧ 80,0 и ИОЧ 89,0. Октановые числа алкилата составляют 95,9 (МОЧ) и 97,3 (ИОЧ).

	Объем (баррели)	МОЧ	ИОЧ
Бензин	22081	78,1	87,4
Алкилат	Y	95,9	97,3
Норматив (минимум)		80,0	89,0

Чтобы 22081 баррелей бензина соответствовали нормативу по МОЧ, нужно следующее количество алкилата:

$$22081 \cdot 78,1 + 95,9 Y = 80,0 (22081 + Y),$$

$$Y = 2638 \text{ баррелей.}$$

Для норматива по ИОЧ проводится аналогичный расчет:

$$22081 \cdot 87,4 + 97,3 Y = 89,0 (22081 + Y),$$

$$Y = 4257 \text{ баррелей.}$$

Поскольку для соответствия нормативу по ИОЧ требуется больше алкилата, это и определяет действительную потребность, так как оба заданных октановых числа являются минимально допустимыми.

7. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Различают первичные и вторичные процессы переработки нефти.

Первичная переработка (прямая гонка) нефти осуществляется на установках, работающих при атмосферном давлении. При этом получают светлые продукты: *бензиновый дистиллят* (смесь углеводородов $C_5—C_{12}$, выкипающая при температуре от 180 до 200°C), *лигроиновый дистиллят* (смесь углеводородов $C_7—C_{14}$, выкипающая при 120—240°C), *керосиновый дистиллят* (смесь углеводородов $C_9—C_{16}$, выкипающая при 180—300°C) и *соляровый дистиллят* (смесь углеводородов $C_6—C_{18}$, выкипающая при 250—350°C). Остаток после отгонки нефтяных дистиллятов — *мазут* — разгоняют в вакууме, получая различные смазочные масла. Выход бензинового дистиллята при прямой гонке достигает 5-20% от количества исходной нефти.

Для увеличения выхода бензина и других светлых продуктов дистилляты прямой гонки и мазуту подвергают *вторичной* переработке с частичным разложением (деструкцией) углеводородов. Различают *термические* и *каталитические* процессы деструктивной переработки.

1. Термические процессы:

- а) крекинг под давлением (при 460-560°C и 2-7 МПа);
- б) газофазный крекинг (при 550-600 °C и 3-5 МПа);
- в) коксование нефтяных остатков (при 480-560°C и атмосферном давлении);
- г) пиролиз (при 700-800 °C и давлении, близкому атмосферному).

2. Каталитические процессы:

- а) каталитический крекинг на алюмосиликатных катализаторах (при 440-500°C и 1-3 МПа);
- б) каталитический риформинг на платиновом или на оксидном молибденовом катализаторе (при 500-550°C и 7-10МПа);
- в) деструктивная гидрогенизация и гидрокрекинг (при 400-500°C и 3—70 МПа).

Пример 1. Определить компонентный состав бензиновой фракции (пределы выкипания 93—123 °C), полученной в процессе прямой гонки нефти, если количество получаемой фракции составляет 34 800 кг/ч. Состав бензиновой фракции в массовых долях следующий: парафиновые углеводороды 27,2%, непредельные углеводороды 0,7%, ароматические углеводороды 0,9%, нафтеновые углеводороды 71,2%. Определить массовый расход нефти, необходимой для получения указанной фракции, если выход фракции составляет 20% от общей массы нефти, затраченной на прямую гонку.

Решение. Массовый расход нефти для «получения бензиновой фракции с учетом 20%-ного выхода:

$$\frac{34800 * 100}{20} = 174000 \text{ кг/ч}$$

Компонентный состав бензиновой фракции:
парафины:

$$\frac{34800 * 27,2}{100} = 9465,6 \text{ кг/ч}$$

непредельные:

$$\frac{34800 * 0,7}{100} = 243,6 \text{ кг/ч}$$

ароматические:

$$\frac{34800 * 0,9}{100} = 313,2 \text{ кг/ч}$$

нафтены :

$$\frac{34800 * 71,2}{100} = 24777,6 \text{ кг/ч}$$

Пример 2. Определить компонентный состав бензиновой фракции (52 800 кг/ч, пределы выкипания 58—93 °С), полученной пиролизом нефтяного сырья, если ее состав в массовых долях следующий:

- парафиновые углеводороды 4,9%,
- непредельные углеводороды 97,9%,
- ароматические углеводороды 56,2%,
- нафтеновые углеводороды 1%.

Определить массовый расход нефти, необходимой для получения указанной фракции, если выход фракции составляет 60% от общей массы нефти, затраченной на пиролиз. Условно принять молекулярную массу для нефти 282, для бензиновой фракции 142.

Решение. Массовый расход нефти для получения бензиновой фракции:

$$\frac{52800 * 282}{142} = 104856,3 \text{ кг/ч}$$

Массовый расход нефти с учетом 60% -ного выхода:

$$\frac{104856,30 * 100}{60} = 174760,5 \text{ кг/ч}$$

Компонентный состав бензиновой фракции:
парафины:

$$\frac{52800 * 4,9}{100} = 2587,2 \quad \text{кг/ч}$$

непредельные:

$$\frac{52800 * 37,9}{100} = 20011,8 \quad \text{кг/ч}$$

ароматические:

$$\frac{52800 * 56,2}{100} = 29673,6 \quad \text{кг/ч}$$

нафтены :

$$\frac{52800 * 1}{100} = 528 \quad \text{кг/ч}$$

Пример 3. Производительность установки платформинга по жидкому сырью составляет 1760 т/сут. Объемный расход смеси паров и циркуляционного водорода равен 2,57 м³/с в условиях процесса. Объемная скорость жидкого сырья, имеющего плотность 748 кг/м³, составляет 1,53 ч⁻¹; лилейная скорость паро-газовой смеси в сечении реактора равна 0,39 м/с. Определить общий объем катализатора в реакторах и диаметр реактора:

Решение. Объемный расход жидкого сырья на установке платформинга:

$$\frac{1760 * 1000}{24 * 748} = 98,039 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

Объем катализатора в реакторах:

$$\frac{98,039}{1,53} = 64,08 \quad \text{м}^3$$

Диаметр реактора:

$$1,13 * \sqrt{\frac{2,57}{0,39}} = 2,9 \quad \text{м}$$

8. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕФТЕЙ

Классификация нефтей является базой, которая позволяет предопределить ассортимент и качество продуктов, подобрать наилучшие условия переработки тех или

иных нефтей.

С того момента, как добыча нефти и ее переработка вышли на промышленный уровень, классификация нефти претерпевала изменения и дополнения.

Химическая классификация основана на групповом составе нефтей. По этой классификации различают следующие нефти: метановая; нафтеновая; метано-нафтеновая; ароматическая; метано-нафтено-ароматическая; нафтено-ароматическая.

Существует промышленная классификация, основанная на плотности нефти. В этой классификации выделяют 3 типа нефти: легкие, чья плотность ниже $0,878 \text{ г/см}^3$; утяжеленные — от $0,878$ до $0,884 \text{ г/см}^3$; тяжелые — выше $0,884 \text{ г/см}^3$.

Широкое распространение имела также технологическая классификация нефти. Согласно этой классификации нефть подразделяется на три класса по содержанию серы, три типа по выходу фракций, выкипающих до $350 \text{ }^\circ\text{C}$, четыре группы по потенциальному содержанию базовых масел, две подгруппы по индексу вязкости и три вида по содержанию твердого парафина. В целом нефть характеризуется шифром, составленным последовательно из обозначений класса, типа, группы, подгруппы и вида, которым соответствует данная нефть.

Таблица 3

Класс	Содержание серы, % масс	Тип	Выход светлых нефтепродуктов, %масс.	Группа	Содержание базовых масел, % масс.	Подгруппа	Индекс вязкости базовых масел	Вид	Содержание парафина, % масс.
I малосернистая	<0,50	T ₁	>45,0	M ₁	>25	И ₁	85	П ₁ малопарафинистая	<1,5
II сернистая	0,51÷2,00	T ₂	30,0÷44,9	M ₂ M ₃	15÷25 15÷25	И ₂	40÷85	П ₂ парафинистая	1,51÷6,00
III Высокосернистая	>2,00	T ₃	<30,0	M ₄	<15	И ₃		П ₃ высокопарафинистая	>6,00

В настоящее время действует классификация нефтей по ГОСТ Р 51858—2002. Согласно этому стандарту нефть по физико-химическим свойствам, степени подготовки, содержанию сероводорода и легких меркаптанов нефти подразделяют на классы типы, группы и виды. В зависимости от массовой доли серы нефти подразделяют на классы 1-4 (табл.3). По плотности, а при поставке на экспорт - дополнительно по выходу фракции и массовой доле парафина нефти подразделяют на пять типов (табл. 4) По степени подготовки нефти подразделяют на группы 1-3 (табл. 5). По массовой доле сероводорода и легких меркаптанов нефти подразделяют на виды 1-3 (табл. 6).

Условное обозначение нефти состоит из четырех цифр, соответствующих обозначениям класса, типа, группы и вида нефти. При поставке нефти на экспорт к обозначению типа добавляется индекс «э». Структура условного обозначения нефти:



Рисунок 1 – Структура условного обозначения нефти

Таблица 4

Классы нефтей

Класс нефти	Наименование	Массовая доля серы, % масс
1	Малосернистая	До 0,60 включ.
2	Сернистая	0,61-1,80
3	Высокосернистая	1,81-3,50
4	Особо высокосернистая	Свыше 3,50

Таблица 5

Типы нефтей

Наименование параметра	Норма для типа нефти									
	0 (особо легкая)		1 (легкая)		2 (средняя)		3 (тяжелая)		4 (битуминозная)	
	Для экономики страны	для экспорта	для экономики страны	для экспорта	для экономики страны	для экспорта	для экономики страны	для экспорта	для экономики страны	для экспорта
Плотность при температуре 15°C, кг/м ³	Не более 834,5		834,5 ÷ 854,4		854,4 ÷ 874,4		874,4 ÷ 899,3		Более 899,3	
Выход фракции, не менее, %, до температуры:										
200°C	-	30	-	27	-	-	-	-	-	-
300°C	-	52	-	47	-	-	-	-	-	-
350°C	-	62	-	57	-	-	-	-	-	-
Массовая доля парафина, не более, %	-	6	-	6	-	-	-	-	-	-

Если по одному из показателей (плотности или выходу фракций) нефть относится к типу с меньшим номером, а по другому — к типу с большим номером, то нефть признают соответствующей типу с большим номером.

Таблица 6

Группы нефтей

Наименование показателя	Норма для нефти группы		
	1	2	3
Массовая доля воды, не более, %	0,5	0,5	1,0
Концентрация хлористых солей, не более, мг/дм ³	100	300	900
Массовая доля механических примесей, не более, %	0,05		
Давление насыщенных паров, не более, кПа	66,7	66,7	66,7
Содержание хлорорганических соединений, милг ⁻¹ (ppm)	Не нормируется. Определение обязательно		

Виды нефтей

Наименование показателя	Норма для нефти вида		
	1	2	3
Массовая доля сероводорода, не более, мил ⁻¹ (ppm)	20	50	100
Массовая доля метил- и этилмеркаптанов, мил ⁻¹ (ppm)	40	60	100

Нефть с массовой долей сероводорода менее 20 мил⁻¹ считают не содержащей сероводород.

Рассмотрим несколько примеров классификации нефти.

1. нефть (при поставке потребителю в России): массовая доля серы 1,15% (класс 2); плотность при 15°C 860,0 кг/м³ (тип 2); концентрация хлористых солей 120 мг/дм³, массовая доля воды 0,40% (группа 2); при отсутствии сероводорода (вид 1) - обозначают «2.2.2.1 ГОСТ Р 51858-2002».

2. нефть (при поставке на экспорт): массовая доля серы 1,15% (класс 2); плотность при 15°C 860,0 кг/м³, объемная доля фракции до 200°C – 26%, до 300°C – 46%, до 350°C – 55%, массовая доля парафина 4,1% (тип 2э); концентрация хлористых солей 90 мг/дм³, массовая доля воды 0,40% (группа 1); при отсутствии сероводорода (вид 1) - обозначают «2.2э.1.1 ГОСТ Р 51858-2002».

По шифру нефти можно составить представление о наиболее рациональных схемах ее переработки и обосновать необходимость в процессах облагораживания нефтепродуктов.

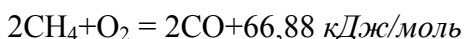
9. ЗАДАЧИ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ РАБОТЫ И АУДИТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Балансовые запасы углей Боготольского месторождения КАТЭК составляют 6937 млн. т. Определите объем оксида серы SO₂ (н. у.), который будет загрязнять воздух при полном использовании всех запасов этого угля в качестве энергетического топлива. Массовая доля серы в угле в среднем 0,8%. Какую массу 100%-ной серной кислоты можно получить из дымовых газов, если бы 15 % всего оксида удалось уловить? Какую массовую долю, выраженную в процентах, от выпуска кислоты в 10 млн. т составит утилизированная серная кислота?

2. Определите, какую массу пыли за год рассеет на прилегающих площадях тепловая электростанция мощностью 0,5 млн. кВт, работающая на буром угле КАТЭК,

если ее КПД 15%. Потери с уносом составляют 1,5% от массы угля. Сколько железнодорожных вагонов грузоподъемностью 60 т необходимо для перевозки этой пыли?

3. При получении водорода парокислородной конверсией метана часть сырья сгорает в самом реакторе. Процессы здесь могут быть выражены уравнениями:



Следует подобрать состав трехкомпонентной газовой фазы в молях ($x \text{ CH}_4$; $y \text{ O}_2$; $z \text{ H}_2\text{O}$) так, чтобы суммарная удельная теплота реакции была близка к нулю.

4. В мире производили ежегодно 30 млн. т водорода. При этом около 70% получали из природного газа. Если известно, что за данный период добывали 700 млрд. м³ природного газа, рассчитайте, какая массовая доля его шла на производство водорода. Реальный выход водорода при паровой конверсии метана 2,3 моль/моль CH₄. Необходимо принять во внимание, что объемная доля метана в природном газе равна 90%.

5. Торфяной воск получают экстрагированием торфа. Расходный коэффициент сырья 16,7 кг/кг. Какую массу кускового торфа в (т) с влажностью 40% надо добыть, чтобы получить массу воска 500 т?

6. Возможно получение метана из бурого угля с использованием теплоты ядерного реактора. Переработка такого угля массой 660 т с массовой долей углевода в угле 55,6% дает метан объемом $1,1 \cdot 10^5 \text{ м}^3$. Определите выход метана в процентах от теоретического.

7. Один ядерный реактор мощностью 3000 кВт может обеспечить работу семи газогенераторов с массовым расходом 40 т/ч буроугольного полукокса с массовой долей углерода 72%. При этом получается синтез-газ для производства метанола, объемная доля CO в котором 31,5, а водорода 66,3%. Приняв выход метанола 80% от теоретического, а степень превращения полукокса в газ 90%, рассчитайте массу метанола, которую можно получить на установке за сутки.

8. Определите объемные доли компонентов воздушного генераторного газа в процентах, если реакция газификации углерода дойдет до конца. При расчете принять состав воздуха таким: O₂—21 % (по объему), остальное — азот.

9. Определите производительность по газу, м³/ч, полумеханизированного газогенератора с вращающейся шахтой диаметром 3,315 м, высотой 0,785 м, если интенсивность процесса по топливу (кокс) 200 кг/м²-ч, а выход воздушного газа 4 м³/кг.

10. При газификации кокса в полумеханизированных газогенераторах выход сухого водяного пара составляет $1,5 \text{ м}^3/\text{кг}$. Объемная теплота сгорания $Q=11\,430 \text{ кДж/м}^3$ для газа и удельная теплота сгорания $28\,500 \text{ кДж/кг}$ для кокса. Определите КПД газификации.

11. Рассчитайте, какой объем аммиака в год может быть получен при совместной работе коксохимического завода, перерабатывающего в год шихту массой 6 млн. т, и кислородно-конверторного цеха, где всутки подвергают разделению $1,88 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ воздуха. Принять выход газа от шихты $300 \text{ м}^3/\text{т}$. Объемная доля водорода в газе равна 55%, объемная доля азота в воздухе 78%.

12. При полукоксовании торфа получается газ, в котором объемные доли компонентов равны: H_2 —16; CH_4 —18; CO_2 —41; азот— 11,5; CO —13,5%. Выход газа 18% от массы исходного сырья. Рассчитайте, какую массу торфа следует подвергнуть полукоксованию для заполнения газом газгольдера диаметром 18 м и высотой 6 м (н. у.).

13. Энерготехнологический комбинат, где в год перерабатываются сланцы массой 16 млн. т, обеспечивается электроэнергией собственной ТЭЦ установленной мощностью 240 тыс. кВт. ТЭЦ работает на газе, получающемся при термической переработке сланца. Выход газа $240 \text{ м}^3/\text{т}$, его теплота сгорания $51\,500 \text{ кДж/м}^3$. Коэффициент полезного действия ТЭЦ 10%. Определите массовую долю сланца в процентах, расходуемого на производство электрической и тепловой энергии.

14. Для определения объема выработанного коксового газа пересчитывают фактически полученный объем газа на газ с объемной теплотой сгорания 16740 кДж/м^3 . Определите приведенный объем газа для завода, где фактически получается $290 \text{ м}^3/\text{т}$ шихты газа, в котором объемные доли компонентов (в %): CO —2; C_2H_4 —2,6; CO —7; CH_4 —30,4, H_2 —53; N_2 —5%.

15. Смолоразгонный цех коксохимического производства перерабатывает в 1 ч смолу массой 25 т. Какая масса 20%-ного раствора едкого натра в сутки S понадобится для извлечения одноатомных фенолов из нафталиновой и фенольной фракций, если массовая доля фенолов в них 6,6 и 48%, а массовые доли фракций смолы 10 и 3%?

16. Феноляты натрия, получаемые при извлечении фенолов из фракций каменноугольной смолы, разлагаются до свободных фенолов продувкой углекислым газом. Рассчитайте минимальный объем оксида углерода (IV), необходимый для разложения одной железнодорожной цистерны фенолят грузоподъемностью 50 т, если чистота продукта 25%, массовая доля свободной щелочи (едкого натра) 0,6%.

17. Пиридин, образующийся при коксовании угля, является сырьем для производства сульфамидных препаратов, в частности сульфидина, формула которого $\text{C}_{11}\text{H}_{11}\text{N}_3\text{O}_2\text{S}$. Какая масса сухой шихты пойдет для производства препарата массой 1 кг,

если массовая доля пиридина в сырых пиридиновых основаниях равна 45%, а массовая доля оснований в шихте 0,02%?

18. Через сатуратор для улавливания аммиака проходит в 1 ч коксовый газ объемом 40 000 м³. В соответствии с материальным балансом сатуратора по воде с газом за 1 ч должна уноситься вода массой 2 471,5 кг. Найдите объемную долю водяных паров в выходящем из сатуратора газе в процентах. (Объем поглощенного NH₃ не учитывать.)

19. Рассчитайте площадь поверхности орошения насадки бензольного скруббера, где в 1 ч улавливается бензол массой 1800 кг. Упругость паров бензола в газе 10³ Па и 10² Па, над маслом 38 и 410 Па (соответственно в начале и конце процесса). Коэффициент абсорбции бензола 0,00012 кг/м²·ч Па. В общем виде процесс абсорбции подчиняется уравнению:

$$k_{\text{аб}} = \frac{m \cdot 1000}{F \Delta p_{\text{ср}}}$$

где,

$k_{\text{аб}}$ — коэффициент абсорбции;

F — поверхность орошения, м²;

$\Delta p_{\text{ср}}$ — среднелогарифмическая разность давлений, Па; m — масса бензола, кг.

20. Какой объем 20%-ной серной кислоты плотностью 1,14 т/м³ потребуется для извлечения пиридиновых оснований в виде сульфата пиридина (C₆H₅NH)₂SO₄ из нафталиновой и поглотительной фракций смолы, если массовая доля в них оснований 7 и 12%, а массовая доля фракций от смолы 10 и 15% соответственно? В сутки в цехе перерабатывается смола массой 560 т.

21. В соединениях, входящих в состав нефтей, на 1 массовую долю элементов приходится 10 таких долей углерода и водорода (в среднем). Определите, какова массовая доля моноатомных сернистых соединений по отношению к другим видам находится во фракции, средняя относительная молекулярная масса которой 300. Элементный анализ показывает массовую долю серы, равную 1 %.

22. Массовая доля азота в нефтях в среднем 0,2%. Из всех азотсодержащих соединений 30% составляют азотистые основания, которые могут быть выделены обработкой 40%-ным спиртовым раствором серной кислоты. При перегонке нефти все эти основания переходят в дистиллаты. Рассчитайте, сколько железнодорожных цистерн вместимостью 32 м³ 92%-ной серной кислоты потребуется нефтеперерабатывающему заводу производительностью (по сырью) 500 тыс. т/г. Массовая доля дистиллатов прямойгонки равна 45 % от сырья, азотистые основания пиридин и хинолин (1 : 1).

23. Рассчитайте поверхность теплопередачи (m^2) конвективной камеры трубчатой печи для нагрева нефти с 443 до 523 К. Производительность печи $20 m^3/ч$, плотность нефти $0,85 t/m^3$; теплоемкость $2,05 kДж/(кг·град)$. Коэффициент теплопередачи $150 kДж/(m^2·град·ч)$. Температура газов на входе в камеру 1123 К, а на выходе 693 К.

24. Определите массу этаноламина, необходимую для приготовления раствора, который может поглотить в виде кислой соли весь сероводород из попутного газа Марковского месторождения Иркутской области объектом $10\ 000 m^3$.

25. Какая масса низкооктанового бензина в год потребуется для установки, производящей этилен массой 450 тыс. т, если потери в производстве составляют 0,5%?

26. Масса бензина для пиролиза составила 11,1 млн. т. Рассчитайте объем пиролизных газов, который получен из этой массы бензина, и массу синтез-газа, если на нее расходовалось 18% ресурсов метана пиролизного газа.

27. Мощности технологических линий по производству полиэтилена низкого давления составят 150 тыс. т в год. Какую минимальную массу керосина следует подвергнуть пиролизу для обеспечения бесперебойной работы такой линии?

28. Какая масса канальной сажи может быть получена из газов прямой гонки нефти, если на нефтеперегонном заводе разгоняется 6 млн. т нефти и при этом образуется газ, массовая доля которого составляет 8,5%? Выход сажи от углерода газа 22%. Массовые доли компонентов газа: C_2H_6 —12; CH_4 —28; C_3H_8 —10; C_2H_{10} -26; C_5H_{12} -24%.

29. Масса светлых нефтепродуктов как сырья для пиролиза составила 16,5 млн. т. Валовой выход этих нефтепродуктов увеличивался за счет каталитического крекинга, коксования и гидрокрекинга мазута. Выход в этих процессах составляет соответственно 34,15 и 42% светлых нефтепродуктов. Определите потребность в мазуте для получения светлых нефтепродуктов массой 7,6 млн. т. Доля каждого из процессов одинакова

30. При получении бутадиена одностадийным окислительным дегидрированием бутана КПД процесса составляет 40%. Масса бензина для пиролиза составляет 15 млн. т. Рассчитайте массу бутадиена, которую можно получить при этом, если объемные доли компонентов газа окислительного пиролиза: H_2 —24,8; CH_4 —17,1; C_2H_4 —19,4; C_2H_2 —3,1; C_3H_8 —3,3; C_4H_{10} —15,4; CO и CO_2 —16,9%. Выход газа 72% от массы сырья.

31. Для увеличения ресурсов бензина керосино-газойлеву фракцию подвергают жидкофазному крекингу, одним из продуктов которого является газ, в котором объемные доли компонентов: H_2 —5; CH_4 —39; C_2H_6 —19; C_3H_8 —16; C_4H_6 —6; C_2H_4 —6; C_3H_6 —9. Определите выход газа в процентах от сырья, если на массу фракции 1 т получается объем газа $100 m^3$.

32. Какой объем природного газа необходим на неделю непрерывной работы котельной, обеспечивающей нагрев $1,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ воды от 315 до 365 К? КПД котельной 15%

33. Рассчитайте объемную теплоту сгорания смеси природного газа Аргединского месторождения Волгоградской области и доменного, в котором объемные доли компонентов $\text{CO} — 30$; $\text{H}_2 — 3$; $\text{CO}_2 — 9$; азот 58%. Газы взяты в объемных долях 1 : 2 .

34. Ежедневно на Кубани добывается природный газ объемом 50 млн. м^3 . Рассчитайте, какую массу антрацита в год можно заменить этим газом, если использовать его как энергетическое топливо.

35. Себестоимость добычи природного газа составляет 0,5, а угля 12 руб. за 1 т условного топлива. Определите, какую годовую экономию может дать перевод ТЭЦ мощностью 1,2 млн. кВт с каменного угля марки Д на газ КПД ТЭЦ 20%.

36. Какую массу изопрена и дивинила можно получить из попутного нефтяного газа объемом 4,5 млрд. м^3 , сжигаемого в настоящее время в факелах, если первый из них получается преимущественно из пентана, а второй из бутана? Руководствоваться данными для Западной Сибири.

37. Перерабатывается попутный нефтяной газ объемом 45 млрд. м^3 . Какая масса 96%-ного этанола может быть получена из этана, содержащегося в этом газе (объемная доля 11%), если потери в производстве составляют 15%?

38. Полагая, что объемная доля метана в природном газе равна 94%, рассчитайте, какую массу кокса как восстановителя позволит заменить такой газ объемом 1 м^3 . Массовая доля углерода в коксе 85%.

39. За год сожжено в факелах и выпущен в атмосферу попутный газ объемом примерно 10,5 млрд. м^3 . Какую массовую долю от угля, добытого в этом году (578 млн. т.), можно было бы заменить этим газом, если бы использовать его как топливо? Для расчета принять газ Серафимовского месторождения Коми АССР, уголь каменный и бурый (1:2) длинно-пламенный и челябинский.

40. Минеральные удобрения могут быть получены из попутного газа по схеме водород — аммиак — мочевины. Определите, какая масса мочевины может быть получена из попутного газа объемом 15 млрд. м^3 . Какую массовую долю от выпуска минеральных удобрений 143 млн. т составляет эта мочевины? При расчете принять, что в попутном газе объемная доля метана в среднем 80%, пиролизом которого и получают водород. Суммарный выход всех процессов метан — мочевины составляет, 60%.

41. Если перевести в жидкое состояние попутный газ месторождения Русский хутор Ставропольского края, то какую массу бензина как топлива может заменить такой сжиженный газ массой 1 кг?

Рекомендуемые обозначения и единицы измерения

Величина	Обозначение	Единицы измерения
Производительность (мощность) установки, аппарата	N	кг/с, кг/ч, м ³ /ч, т/сут, т/год
Массовый расход вещества	m	кг/с, кг/ч, т/сут, т/год
Объемный расход вещества	V	м ³ /с, м ³ /ч, м ³ /сут
Время	τ	с, ч, сут, год
Масса вещества	m	к, кг, т
Объем вещества	v	л, м ³
Давление	P	Па, кПа, МПа
Температура	t, T	°С, К
Парциальное давление компонента	p	Па, кПа, МПа
Парциальный объем компонента	v	л, м ³
Плотность вещества	ρ	кг/м ³
Мольная масса вещества	M	кг/моль
Мольный объем вещества	V _m	м ³ /моль
Массовая доля компонента смеси	w	доли ед., %
Мольная доля компонента смеси	x	доли ед., %
Объемная доля компонента смеси	φ	доли ед., %
Количество вещества	N	моль, кмоль
Концентрация компонента в суспензии, газовой смеси		
- массовая	C _x	кг/м ³
- мольная	ρ _A	кмоль/м ³
Степень конверсии сырья	α	доли ед., %
Выход продукта, селективность	β	доли ед., %
Объемная скорость подачи газа, жидкости	V _{об}	ч ⁻¹ , с ⁻¹
Объем катализатора в системе	V _к	м ³
Площадь поперечного сечения аппарата	S	м ²
Диаметр аппарата	D, d	м
Высота аппарата	H, h	м
Длина аппарата	L, l	м
Площадь поверхности теплообмена	F	м ²
Линейная скорость потока	ω	м/с
Тепловой поток (расход теплоты в единицу времени)	Q	Вт, кВт
Количество теплоты	q	Дж, кДж
Коэффициент теплопередачи	K	Вт/(м ² ·К)
Удельная теплоемкость	c	Дж/(кг·К)
Теплота фазового перехода	r	Дж/кг

Таблица 9

Удельные и объемные теплоты сгорания некоторых топлив

Вид топлива	Теплота сгорания, кДж/кг, кДж/м ³	
	высшая	низшая
Бензин	47 310	49 360
Керосин	46 270	43 130
Мазут	43 130	40 610
Этанол	27 100	25 600
Коксовый газ	17 100	16 500
Генераторный газ	4 800	4 300
Водород	12 750	10 785
Оксид углерода (II)	12 630	12 630
Метан	39 760	35 800
Этан	69 670	63 770
Пропан	99 150	91 280
Бутан	128 500	118 680
Пентан	157 910	146 130
Этилен	63 010	59 080
Ацетилен	58 010	56 800
Бурый уголь		
КАТЭК	16 960	15 910
Челябинский	16 870	17 780
Александровский	8 250	6 910
Каменный уголь		
Длиннопламенный	21 440	20 260
Тонкий	28 300	27 420

Состав природных горючих газов

Месторожде- ние	Состав газа, объемные доли, %							
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	H ₂ S
Аргедин- ское, Волго- градской обл.	95,8	1,9	0,6	0,3	0,6	0,2	1,1	—
Русский ху- тор, Ставро- польск. кр.	23,2	15,5	18,8	13,8	25,9	2,8	—	—
Серафимов- ское, Коми АССР	37,0	18,5	20,0	8,4	5,0	0,1	11,0	—
Марковское, Иркутской обл.	57,0	9,6	7,1	5,3	4,4	1,1	9,8	5,7
Северо-Сур- гутское, Тю- менской обл.	87,6	2,8	2,3	1,9	4,8	0,6	—	—
Локосов- ское, Тюмен- ской обл.	85,5	2,4	4,3	3,2	3,5	1,1	—	—
Прикумское, Ставро- польск. кр.	97,0	—	—	—	—	1,4	1,6	—

Таблица 11

Влияние природы сырья на выход и состав газа пиролиза

Показатели	Сырье			
	керосин	пропан	бензин	мазут
Выход газа, масс. доли, %	50,4	80,2	53,2	46,7
Жидкие продукты, масс. доли, %	49,0	19,0	36,3	41,8
Кокс пиролизный, масс.доли, %	0,6	0,8	0,5	2,5
Состав газа, объемные доли, %				
H ₂	10,2	24,2	22,5	26,6
CH ₄	40,2	48,3	48,2	43,0
C ₂ H ₆	6,0	2,6	2,8	2,7
C ₂ H ₄	28,1	21,7	23,5	23,7
C ₃ H ₆	15,0	1,0	0,8	2,0
C ₄ H ₁₀	0,5	0,2	0,2	-