

Практическая работа № 11. Расчет материального баланса узла химической очистки газового потока абсорбционным методом

Рассчитать материальный баланс узла абсорбции CO_2 , выделяющегося при сжигании (X) $\text{м}^3/\text{ч}$ топлива в потоке воздуха (азот-кислородной смеси) с расходом Q $\text{м}^3/\text{ч}$, раствором гидроксида калия (KOH) концентрацией (C_{KOH}).

Принять следующие условия и допущения:

- температура абсорбента и газового потока – 20 °С;
- давление процесса – атмосферное;
- концентрация CO_2 на выходе из абсорбера – 0,1 % об.
- образованием в процессе абсорбции бикарбоната калия пренебречь;
- в состав воздуха входит только азот и кислород;
- наличием остаточного количества кислорода, образованием паров воды, оксидов азота и других газов в составе продуктов горения пренебречь.

Исходные данные для расчета материального баланса узла абсорбции представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные

№ п/п	Сжигаемое вещество (топливо)	Расход топлива, $\text{м}^3/\text{ч}$	Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	Концентрация раствора KOH, % масс.	Поглотительная способность CO_2 , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Поглотительная способность N_2 , $\text{м}^3/\text{м}^3$
1	метан	100	1100	12	34	$1,675 \cdot 10^{-3}$

Справочные данные:

- плотность метана – 0,7168 $\text{кг}/\text{м}^3$;
- плотность CO_2 – 1,9768 $\text{кг}/\text{м}^3$;
- плотность азота – 1,2505 $\text{кг}/\text{м}^3$;
- плотность 12 % раствора KOH – 1110 $\text{кг}/\text{м}^3$;

- плотность КОН – 2120 кг/м³;
- плотность карбоната калия – 2430 кг/м³
- плотность воды – 997 кг/м³.

1. Определим массовый расход сжигаемого метана G_{CH_4} (кг/ч):

$$G_{\text{CH}_4} = \rho_{\text{CH}_4} \cdot X, \quad (1)$$

где ρ_{CH_4} – плотность метана, кг/м³;

X – объемный расход метана м³/ч.

$$G_{\text{CH}_4} = 0,7168 \cdot 100 = 71,68 \text{ кг/ч.}$$

2. Представим схему материального баланса узла абсорбции (рис. 1).

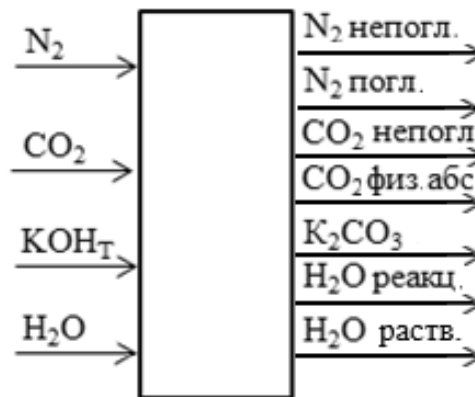
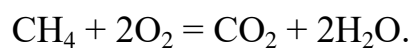


Рис. 1 Схема материального баланса узла абсорбции.

3. Определим массовый расход CO_2 G_{CO_2} (кг/ч), выделяющегося при горении метана.

Уравнение горения:



Исходя из уравнения реакции:

$$G_{\text{CO}_2} = \frac{G_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CH}_4}}, \quad (2)$$

где M_{CO_2} – молекулярная масса CO_2 , г/моль;

M_{CH_4} – молекулярная масса метана, г/моль.

$$G_{\text{CO}_2} = \frac{71,68 \cdot 44}{16} = 197,12 \text{ кг/ч.}$$

4. Определим объемный расход CO_2 V_{CO_2} ($\text{м}^3/\text{ч}$), выделяющегося при горении метана:

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2}}, \quad (3)$$

где ρ_{CO_2} – плотность CO_2 , $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{197,12}{1,9768} = 99,72 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

5. Определим объемный расход азота ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{возд.}} - V_{\text{CO}_2}, \quad (4)$$

$$V_{\text{N}_2} = 1100 - 99,72 = 1000,28 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

6. Определим массовый расход азота G_{N_2} ($\text{кг}/\text{ч}$):

$$G_{\text{N}_2} = \rho_{\text{N}_2} \cdot V_{\text{N}_2}, \quad (5)$$

где ρ_{N_2} – плотность азота, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$G_{N_2} = 1,2505 \cdot 1000,28 = 1250,85 \text{ кг/ч.}$$

7. Определим объемный расход не поглощенного углекислого газа после абсорбции $V_{CO_2\text{непогл.}}$ с концентрацией 0,1 % об. ($m^3/ч$):

$$V_{CO_2\text{непогл.}} = \frac{V_{\text{возд.}} \cdot C_{\text{конеч.}CO_2}}{100}, \quad (6)$$

где $C_{\text{конеч.}CO_2}$ – концентрация CO_2 на выходе из абсорбера, % об.

$$V_{CO_2\text{непогл.}} = \frac{1100 \cdot 0,1}{100} = 1,10 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

8. Определим массовый расход не поглощенного углекислого газа $G_{CO_2\text{непогл.}}$, (кг/ч):

$$G_{CO_2\text{непогл.}} = \rho_{CO_2} \cdot V_{CO_2\text{непогл.}} \quad (7)$$

$$G_{CO_2\text{непогл.}} = 1,9768 \cdot 1,1 = 2,17 \text{ кг/ч.}$$

9. Определим массовый расход поглощенного углекислого газа $G_{CO_2\text{погл.}}$, (кг/ч):

$$G_{CO_2\text{погл.}} = G_{CO_2} - G_{CO_2\text{непогл.}} \quad (8)$$

$$G_{CO_2\text{погл.}} = 197,12 - 2,17 = 194,95 \text{ кг/ч.}$$

10. Определим объемный расход поглощенного углекислого газа $V_{CO_2\text{погл.}}$, ($m^3/ч$):

$$V_{CO_2\text{погл.}} = V_{CO_2} - V_{CO_2\text{непогл.}} \quad (9)$$

$$V_{CO_2\text{погл.}} = 99,72 - 1,1 = 98,62 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

11. Определим объемный расход 12 %-го раствора гидроксида калия $V_{\text{KOH}_{\text{p-p}}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{\text{KOH}_{\text{p-p}}} = \frac{V_{\text{CO}_2\text{погл.}}}{\beta_{\text{CO}_2}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{KOH}_{\text{p-p}}}$ – объемный расход 12 % – го раствора гидроксида калия;

β_{CO_2} – поглотительная способность углекислого газа 12 % -ым раствором гидроксида калия, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

$$V_{\text{KOH}_{\text{p-p}}} = \frac{98,62}{34} = 2,90 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

12. Определим массовый расход 12 %-го раствора гидроксида калия $G_{\text{KOH}_{\text{p-p}}}$ ($\text{кг}/\text{ч}$):

$$G_{\text{KOH}_{\text{p-p}}} = \rho_{\text{KOH}_{\text{p-p}}} \cdot V_{\text{KOH}_{\text{p-p}}}, \quad (11)$$

где $G_{\text{KOH}_{\text{p-p}}}$ – массовый расход 12 %-го раствора гидроксида калия, $\text{кг}/\text{ч}$;

$\rho_{\text{KOH}_{\text{p-p}}}$ – плотность 12 %-го раствора гидроксида калия, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$$G_{\text{KOH}_{\text{p-p}}} = 1110 \cdot 2,9 = 3219,00 \text{ кг}/\text{ч}.$$

13. Определим массовый расход твердого гидроксида калия $G_{\text{KOH}_{\text{T}}}$ ($\text{кг}/\text{ч}$):

$$G_{\text{KOH}_{\text{T}}} = G_{\text{KOH}_{\text{p-p}}} \cdot 0,12 \quad (12)$$

$$G_{\text{KOH}_{\text{T}}} = 3219 \cdot 0,12 = 386,28 \text{ кг}/\text{ч}.$$

14. Определим объемный расход твердого гидроксида калия, $V_{\text{KOH}_{\text{T}}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{\text{KOH}_T} = \frac{G_{\text{KOH}_T}}{\rho_{\text{KOH}_T}} \quad (13)$$

$$V_{\text{KOH}_T} = \frac{386,28}{2120} = 0,18 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

15. Определим массовый расход воды $G_{\text{H}_2\text{O}} \text{ раств.}$ (кг/ч):

$$G_{\text{H}_2\text{O}} \text{ раств.} = G_{\text{KOH}_{p-p}} - G_{\text{KOH}_T} \quad (14)$$

$$G_{\text{H}_2\text{O}} \text{ раств.} = 3219 - 386,28 = 2832,72 \text{ кг/ч}.$$

16. Определим объемный расход воды $V_{\text{H}_2\text{O}} \text{ раств.}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} \text{ раств.} = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad (15)$$

где $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} \text{ раств.} = \frac{2832,72}{997} = 2,84 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

17. Определим объемный расход поглощенного азота 12 %-ым раствором гидроксида калия $V_{\text{N}_2 \text{ погл.}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{\text{N}_2 \text{ погл.}} = V_{\text{KOH}_{p-p}} \cdot \alpha_{\text{N}_2}, \quad (16)$$

где α_{N_2} – поглощательная способность азота 12 %-ым раствором гидроксида калия, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

$$V_{\text{N}_2 \text{ погл.}} = 2,9 \cdot 1,675 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

18. Определим массовый расход поглощенного азота 12 %-ым раствором гидроксида калия $G_{\text{N}_2 \text{ погл.}}$ (кг/ч):

$$G_{N_2\text{погл.}} = \rho_{N_2} \cdot V_{N_2\text{погл.}} \quad (17)$$

$$G_{N_2\text{погл.}} = 1,2505 \cdot 0,01 = 0,01 \text{ кг/ч.}$$

19. Определим объемный расход непоглощенного азота 12 %-ым раствором гидроксида калия $V_{N_2\text{непогл.}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{N_2\text{непогл.}} = V_{N_2} - V_{N_2\text{погл.}}, \quad (18)$$

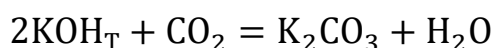
$$V_{N_2\text{непогл.}} = 1000,28 - 0,01 = 1000,27 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

20. Определим массовый расход непоглощенного азота 12 %-ым раствором гидроксида калия $G_{N_2\text{непогл.}}$ (кг/ч):

$$G_{N_2\text{непогл.}} = G_{N_2} - G_{N_2\text{погл.}} \quad (19)$$

$$G_{N_2\text{непогл.}} = 1250,85 - 0,01 = 1250,84 \text{ кг/ч.}$$

21. Определяем массовый расход карбоната калия $G_{K_2CO_3}$ (кг/ч) по уравнению химической реакции:



$$G_{K_2CO_3} = \frac{M_{K_2CO_3} \cdot G_{KOH_T}}{2 \cdot M_{KOH}}, \quad (20)$$

где $M_{K_2CO_3}$ – молекулярная масса карбоната калия, г/моль;

M_{KOH} – молекулярная масса гидроксида калия, г/моль.

$$G_{K_2CO_3} = \frac{138 \cdot 386,28}{2 \cdot 56} = 475,95 \text{ кг/ч.}$$

22. Определим объемный расход карбоната калия $V_{K_2CO_3}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$V_{\text{K}_2\text{CO}_3} = \frac{G_{\text{K}_2\text{CO}_3}}{\rho_{\text{K}_2\text{CO}_3}}, \quad (21)$$

где $\rho_{\text{K}_2\text{CO}_3}$ – плотность карбоната калия, кг/м³.

$$V_{\text{K}_2\text{CO}_3} = \frac{475,95}{2430} = 0,20 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

23. Определим массовый расход реакционной воды $G_{\text{H}_2\text{Ореакц.}}$ (кг/ч):

$$G_{\text{H}_2\text{Ореакц.}} = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot G_{\text{КОНТ}}}{2 \cdot M_{\text{КОНТ}}}, \quad (22)$$

$$G_{\text{H}_2\text{Ореакц.}} = \frac{18 \cdot 386,28}{2 \cdot 56} = 62,08 \text{ кг/ч}.$$

24. Определим объемный расход реакционной воды $V_{\text{H}_2\text{Ореакц.}}$ (м³/ч):

$$V_{\text{H}_2\text{Ореакц.}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{Ореакц.}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (23)$$

$$V_{\text{H}_2\text{Ореакц.}} = \frac{62,08}{997} = 0,06 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

25. Определим массовый расход углекислого газа, участвующий в химической абсорбции $G_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}}$ (кг/ч):

$$G_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}} = \frac{M_{\text{CO}_2} \cdot G_{\text{K}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{K}_2\text{CO}_3}}, \quad (24)$$

$$G_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}} = \frac{44 \cdot 475,95}{138} = 151,75 \text{ кг/ч}.$$

26. Определим объемный расход углекислого газа, участвующий в химической абсорбции $V_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}}$ (м³/ч):

$$V_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}} = \frac{G_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}}}{\rho_{\text{CO}_2}}, \quad (25)$$

$$V_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}} = \frac{151,75}{1,9768} = 76,77 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

27. Определим массовый расход углекислого газа, участвующий при физической абсорбции $G_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}}$ (кг/ч):

$$G_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}} = G_{\text{CO}_2} - G_{\text{CO}_2\text{хим.абс.}} - G_{\text{CO}_2\text{непогл.}} \quad (26)$$

$$G_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}} = 197,12 - 151,75 - 2,17 = 43,20 \text{ кг/ч.}$$

28. Определяем объемный расход углекислого газа, участвующий при физической абсорбции $V_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}}$ (м³/ч):

$$V_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}} = \frac{G_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}}}{\rho_{\text{CO}_2}}, \quad (27)$$

$$V_{\text{CO}_2\text{физ.абс.}} = \frac{43,2}{1,9768} = 21,85 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Результаты расчетов материального баланса узла абсорбции представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Сводная таблица материального баланса узла абсорбции

Приход				Расход			
Компонент	G, кг/ч	V, м ³ /ч	%	Компонент	G, кг/ч	V, м ³ /ч	%
CO ₂	197,12	99,72	4,22	CO ₂ непогл.	2,17	1,10	0,05
N ₂	1250,85	1000,28	26,80	CO ₂ физ.абс.	43,20	21,85	0,92
				N ₂ непогл.	1250,84	1000,27	26,80
				N ₂ погл.	0,01	0,01	0,00
<i>Всего газообразных веществ</i>	<i>1447,97</i>	<i>1100</i>	<i>32,02</i>		<i>1296,22</i>	<i>1023,23</i>	<i>27,77</i>
KOH _T	386,28	0,18	8,28	H ₂ O _{раств.}	2832,72	2,84	60,70
H ₂ O	2832,72	2,84	60,70	H ₂ O _{реакц.}	62,08	0,06	1,33
				K ₂ CO ₃	475,95	0,20	10,20
<i>Всего жидких и твердых веществ</i>	<i>3219,00</i>	<i>3,02</i>	<i>68,98</i>		<i>3370,75</i>	<i>3,1</i>	<i>72,23</i>

Итого	4666,97	1103,02	100,00	Итого	4666,97	1026,33	100,00
--------------	----------------	---------	---------------	--------------	----------------	---------	---------------

Материальный баланс

В основе материального расчета лежит закон сохранения массы и вытекающие из него стехиометрические законы.

$$\sum m_{исх} = \sum m_{кон} ,$$

где $m_{исх}$ – сумма масс исходных веществ;

$m_{кон}$ – сумма масс конечных продуктов.

Материальный баланс позволяет контролировать правильность учета материалов, анализов и измерений. Если между величинами введенных и полученных веществ есть разница (так называемое сальдо), то это указывает на ошибки в учете сырья и продукции (не учтены некоторые свойства веществ, неверны данные химического анализа) или ошибки в вычислениях.

Материальный баланс сводят, пользуясь уравнениями основной и побочных реакций. Когда учитывают не все происходящие побочные реакции и полученные побочные продукты, а лишь наиболее важные из них, материальный баланс имеет приблизительный характер. Существуют три основные формы составления материального баланса: в виде системы уравнений, таблицы и поточной диаграммы.

В практике технологических расчетов составляется несколько материальных балансов: по участвующим в процессе веществам и степени надежности используемых для расчета баланса данных.

Виды материального баланса:

1. Теоретический материальный баланс – по уравнению реакции, исходя из стехиометрии процесса.
2. Фактический материальный баланс – состав сырья и размер производственных потерь.
3. Общий материальный баланс – по всем компонентам сырьевого и продуктового потоков.
4. Частный материальный баланс – по одному из компонентов сырья.

5. Элементный материальный баланс – например, по углеводу, азоту и т.п.

6. Материальный баланс стадии – для определения расхода сырья и оборудования стадии.

7. Материальный баланс производства – для определения экономических показателей.

Теоретический баланс рассчитывают исходя из стехиометрии реакции и известных молекулярных масс реагентов и продуктов. Этот вид баланса составляют при проектировании производства нового продукта в условиях неполной информации о процессе.

Фактический материальный баланс составляют на основе анализа работы лабораторных, полупромышленных и промышленных установок. При изменении масштаба производства степень надежности данных возрастает. В этих балансах учитываются состав сырья и размер производственных потерь, которых нельзя избежать при массовых производствах продуктов. Производственные потери представляют собой расход сырья, материалов и готового продукта на разлив, утечку через неплотности аппаратов, емкостей и аппаратуры, потери при сливе и перекачках, унос из реакторов отходящими газами, потери через вентиляционные линии.

Общий баланс составляют по всем компонентам сырьевого и продуктового потоков, а частный баланс – по одному из компонентов сырья. Эти виды баланса являются одними из этапов расчета общего баланса.

К составлению элементного баланса прибегают в том случае, когда нельзя или сложно разделить покомпонентно сырьевые и продуктовые потоки. При этом выбирают тот элемент молекулы полезного компонента сырья, который в процессе химического превращения образует желаемую функциональную группу в молекуле продукта. Для составления элементного баланса достаточно определить содержание балансируемого элемента в известных массах сырьевой и продуктовой смесей.

Указанные балансы могут быть составлены на основе теории (теоретический баланс) и производственной практики (фактический баланс). Более надежно для проектирования является фактический материальный баланс.