

ТЕМА: «Материальный баланс аппарата»

ПЛАН

- Материальный баланс
 - Исходные данные для составления баланса
- Тепловой баланс
 - Исходные данные для составления баланса



Прежде чем приступить к конструированию какого-либо аппарата, необходимо произвести подробный теххимический расчет всего процесса производства или той его части, которая непосредственно связана с конструируемым аппаратом. В основу любого теххимического расчета положены два основных закона:

1) закон сохранения массы вещества

2) закон сохранения энергии

На первом из этих законов базируется всякий материальный расчет

Закон сохранения масс веществ заключается в том, что во всякой замкнутой системе масса вещества остается постоянной, независимо от того, какие изменения претерпевают вещества в этой системе. Применительно к расчету материального баланса какого-либо процесса производства этот закон принимает следующую простую формулировку: **масса исходных продуктов процесса должна быть равна массе его конечных продуктов.** Следовательно, когда производится материальный расчет процесса, необходимо учитывать массу каждого компонента, поступающего в данный аппарат (приход) и массу каждого компонента, уходящего из аппарата (расход). Сумма приходов компонентов должна быть равна сумме расхода, независимо от состава продукта при поступлении и выходе, т.е. независимо от того, каким изменениям они подверглись в данном аппарате.

В промышленной практике довольно часто приходится иметь дело с вычислениями количественных соотношений между компонентами начальных и конечных продуктов производства, в основе которого лежат физические процессы. При этих процессах не образуется новых компонентов, а только происходят изменения состава продуктов, которые подвергаются обработке или хранению при определенных условиях. Поэтому, составляя материальный баланс этих процессов, следует иметь в виду, что в приходной и расходной его частях участвуют одни и те же компоненты, но только в различных количественных соотношениях.

Термодинамический расчёт процессов (масообмена ректификации, абсорбции, десорбции и др.) основан на применении уравнений материального и теплового балансов и равновесии пар-жидкость или жидкость-жидкость.

Конечной целью расчёта любого масообменного аппарата является определение количеств и составов проходящих через него материальных потоков, затрат тепла, а также основных размеров аппарата (диаметра и высоты) и размеров внутренних устройств (тарелок, колпачков и других элементов).

Материальный баланс

Материальный баланс может быть составлен для всего объёма аппарата и для любой его части как по общему количеству потоков, так и по каждому компоненту. Поэтому число независимых уравнений материального баланса равно числу компонентов разделяемой смеси.

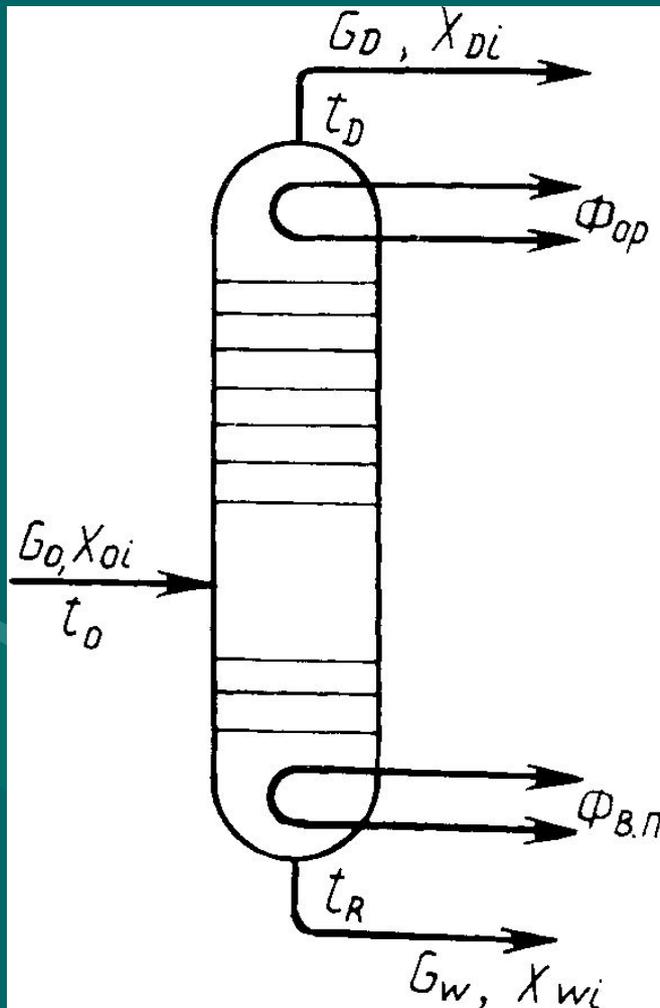
На основе законов сохранения массы составляют материальный баланс

$$\sum G_H = \sum G_K + \sum G_{H,П}$$

Где G_H — масса исходных (начальных) материалов; G_K — масса целевых (конечных) продуктов; $G_{H,П}$ — масса необратимых потерь вещества;

Материальный баланс для непрерывных процессов составляют на единицу времени, для периодических — на одну операцию.

Исходные данные для составления материального баланса



$$G_0 = G_D + G_W \quad (1.1)$$

G_0 — количество сырья
в кг/ч;

G_D — количество
ректификата, отводимого
с верха;

G_W — количество остатка,
отводимого с низа колон
ны в кг/ч.

Учитывая массовые доли компонента в сырье, дистилляте и остатке,
получим

$$G_O X_{O_i} = G_D X_{D_i} + G_W X_{W_i} \quad (1.2)$$

$x_{O_i}, x_{D_i}, x_{W_i}$ массовые доли компонента в сырье, дистилляте и остатке

Из (1.1) и (1.2) получаем

$$\frac{G_O}{X_{D_i} - X_{W_i}} = \frac{G_W}{X_{D_i} - X_{O_i}} = \frac{G_D}{X_{O_i} - X_{W_i}} \quad (1.3)$$

Пример

На установке четкой ректификации из смеси ксилолов выделяется этилбензол. Расход сырья – 0,61 кг\с. Массовая доля этилбензола в сырье равна 0,15, в дистилляте – 0,998, в остатке – 0,04. Определить количество получаемого дистиллята.

Решение

Запишем уравнение (1.3) в виде

$$\frac{G_O}{X_{D_i} - X_{W_i}} = \frac{G_D}{X_{O_i} - X_{W_i}}$$
$$G_D = \frac{X_{O_i} - X_{W_i}}{X_{D_i} - X_{W_i}} = 0,61 \frac{0,15 - 0,04}{0,998 - 0,04} = 0,07 \text{ кг / с}$$

Тепловой баланс

Тепловой баланс может быть составлен как для всего объёма аппарата, так и для любой его части по общему количеству потоков, поэтому уравнение теплового баланса может быть только одно.

На основе законов сохранения энергии составляют тепловой баланс

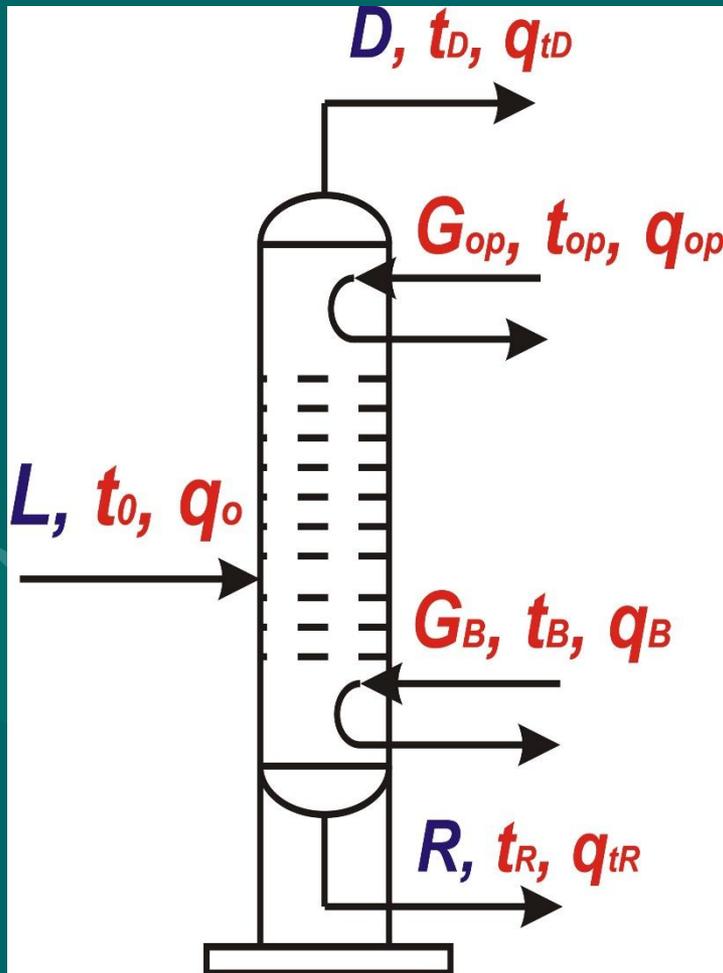
$$\sum Q_H = \sum Q_K + \sum Q_{\Pi}$$

Где Q_H — вводимое (начальное) тепло; Q_K — тепло, уходящее из аппарата с продуктами (конечное); Q_{Π} — потери тепла в окружающую среду.

Вводимое тепло включает тепло, вносимое с исходными веществами, тепло, подводимое извне, и тепловой эффект физических или химических превращений. Тепловой эффект является **положительной** величиной, если процесс сопровождается выделением тепла, и **отрицательной** — если в ходе процесса тепло поглощается.

Исходные данные для составления теплового баланса

(кДж/ч)



$$Q_L + Q_B = Q_D + Q_d + Q_R$$

Q_L - тепло, вносимое сырьём;

Q_B - тепло, подводимое в низ
колонны;

Q_D - тепло, отводимое из колонны
парами ректификата;

Q_d - тепло, уносимое орошением;

Q_R - тепло, отводимое жидким
остатком.

$$\begin{aligned} Leq_{t_0}^{\Pi} + L(1-e)q_{t_0}^{\mathcal{K}} + G_B(q_{B_1} - q_{B_2}) &= \\ = D_B q_{t_D}^{\Pi} + Rq_{t_R}^{\mathcal{K}} + G_{OP}(q_{t_D}^{\Pi} - q_d^{\mathcal{K}}) \end{aligned}$$

L — количество сырья в $кг/ч$;

e — весовая доля отгона;

q_{t0}^{Π} — теплосодержание паров сырья при входе в колонну в $ккал/кг$;

$q_{t0}^{\text{Ж}}$ — теплосодержание неиспарившегося (жидкого) сырья при входе в колонну в $ккал/кг$;

G_R — количество циркулирующего теплоносителя или перегретого водяного пара, подаваемого в низ колонны в $кг/ч$;

q_{B1} и q_{B2} — теплосодержание циркулирующего теплоносителя соответственно на входе и выходе из колонны или перегретого водяного пара в $ккал/кг$;

D — количество паров ректификата, уходящих из колонны

q_{tD}^{Π} — теплосодержание паров ректификата в $ккал/кг$;

R — количество остатка, отходящего с низа колонны в $кг/ч$;

$q_{tR}^{\text{Ж}}$ — теплосодержание остатка в $ккал/кг$;

G — количество орошения, подаваемого на верх колонны;

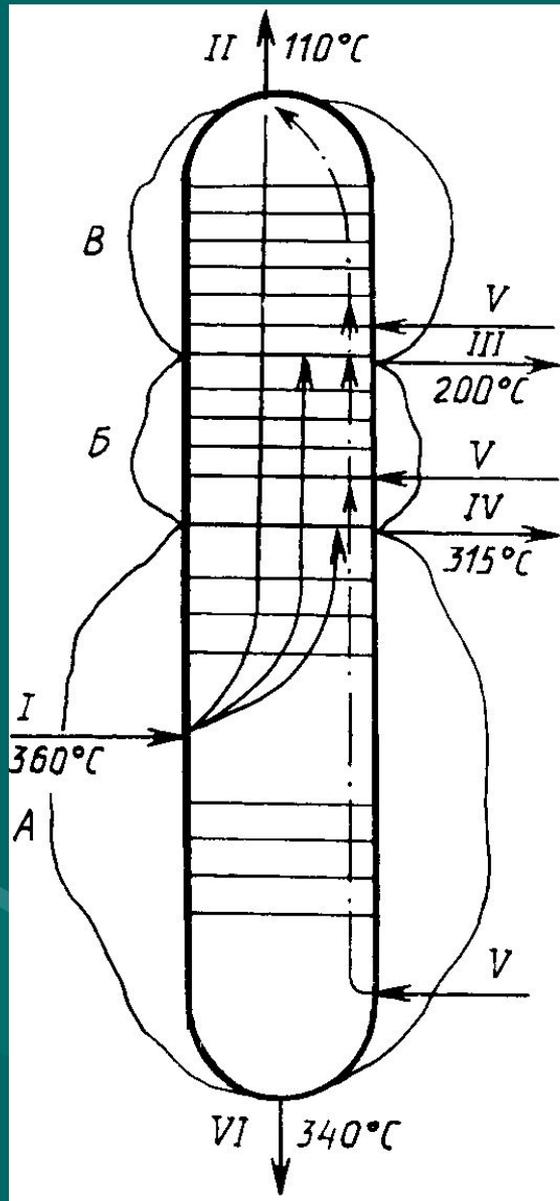
$q_{D}^{\text{Ж}}$ — теплосодержание орошения в $ккал/кг$.

Пример

В ректификационную колонну, работающую под давлением 0,7 МПа, входит 35,07 кг/с нефти ($\rho_4^{20} = 0,868$), нагретой до 350°C и 0,95 кг/с водяного пара ($q=0,4$ МПа, $t=400^\circ\text{C}$). Продуктами являются бензиновая фракция ($\rho_4^{20} = 0,781$) – 2,85 кг/с, керосиновая фракция ($\rho_4^{20} = 0,765$) – 5,97 кг/с, дизельная фракция ($\rho_4^{20} = 0,846$) – 6,31 кг/с и мазут ($\rho_4^{20} = 0,951$) – 19,94 кг/с. Температурный режим колонны приведен на рис.3.5. Для отпарки боковых продуктов в отпарные колонны: керосиновую – 0,12 кг/с, дизельную – 0,13 кг/с подается водяной пар, имеющий те же параметры. Из отпарных колонн водяной пар возвращается вместе с парами фракций в основную колонну.

Составьте тепловой баланс колонны и определить необходимый расход острого и циркуляционного орошений. Количеством отпарных фракций можно пренебречь.

Решение



Тепловой баланс составим по дизельной, керосиновой и бензиновой секциям (контуры А, Б и В на рис). Энтальпию жидких и парообразных нефтепродуктов рассчитает по формулам (1.16) и (1.17) (Хорошко). Энтальпию перегретого водяного пара возьмем по прил.20 (Хорошко) с учетом его парциального давления. Все результаты расчетов внесем в таблицы. Превышение приходной части теплового баланса по бензиновой секции составляет

$$\Delta\Phi_{\text{б}} = 9\,990\,930 - 7\,558\,860 = 2\,432\,070 \text{ Вт.}$$

Избыток необходимо снять орошением. Обычно наверху колонны организуют острое орошение. Принимая температуру орошения равной 40°C ($\rho_{ж}=80$ кДж/кг), рассчитаем его расход:

$$G_{ор} = \frac{\Delta\Phi_6}{i^п - i^ж} = \frac{2432070}{(556 - 80)10^3} = 5,1 \text{ кг / с}$$

Разность между приходящими и уходящими тепловыми потоками в двух нижних секциях составляет 6 390 760 Вт. Этот избыток снимают одним или несколькими циркуляционными орошениями. Примем одно циркуляционное орошение ($\rho_4^{20} = 0,817$) с температурой вывода 250°C и возврата 90°C. Энтальпии жидкого орошения при этих температурах будут соответственно равны 583 кДж/кг и 183 кДж/кг. Расход циркуляционного орошения составит

$$G_{ц.ор} = \frac{6390760}{(583 - 183)10^3} = 15,98 \text{ кг / с}$$

Тепловой баланс дизельной фракции – контур А

Продукт	$t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$10^3, \text{Дж/кг}$	$\Phi, \text{Вт}$
<i>Приход</i>				
Паровая фаза, фракции:	350			
бензиновая		2,85	1119	3 189 150
керосиновая		5,97	1112	6 638 640
дизельная		6,31	1084	6 840 040
Жидкая фаза:	350			
мазут		19,94	818	16 310 920
Водяной пар	400	0,95	3276	3 112 200
Итого				36 090 950
<i>Расход</i>				
Жидкая фаза:	340			
мазут		19,94	789	15 732 660
Паровая фаза, фракции:	315			
бензиновая		2,85	1023	2 915 550
керосиновая		5,97	1017	6 071 490
дизельная		6,31	990	6 246 900
Водяной пар	315	0,95	3100	2 945 000
Итого				33 911 600

Тепловой баланс секции керосиновой фракции – контур Б

Продукт	$t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$I \cdot 10^3, \text{Дж/кг}$	$\Phi, \text{Вт}$
<i>Приход</i>				
Фракция в парях:	315			
бензиновая		2,85	1023	2 915 550
керосиновая		5,97	1017	6 071 490
дизельная		6,31	990	6 246 900
Водяной пар				
снизу колонны	315	0,95	3100	2 945 000
из <u>отпарной</u> секции		0,13	3276	425 880
Итого				18 604 820
<i>Расход</i>				
Фракция в парях:	200			
бензиновая		2,85	741	2 111 850
керосиновая		5,97	736	4 393 920
Жидкая дизельная фракция	315	6,31	760	4 795 600
Водяной пар	200	1,08	2863	3 092 040
Итого				14 393 410

Тепловой баланс секции бензиновой фракции – контур В

Продукт	$t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$10^{-3}, \text{Дж/кг}$	$\Phi, \text{Вт}$
<i>Приход</i>				
Фракция в парах:	200			
бензиновая		2,85	741	2 111 850
керосиновая		5,97	736	4 393 920
Водяной пар				
снизу колонны	200	1,08	2863	3 092 040
из <u>отпарной</u> секции	400	0,12	3276	393 120
Итого				9 990 930
<i>Расход</i>				
Бензиновая фракция в парах	110	2,85	556	1 584 600
Жидкая керосиновая фракция	200	5,97	458	2 734 260
Водяной пар	110	1,20	2700	3 240 000
Итого				7 558 860

Известно, что всякий процесс протекает до тех пор, пока система не придет в состояние равновесия. Например, при контакте двух тел, имеющих разные температуры, процесс завершится тогда, когда температура обоих тел станет одинаковой; т. е. наступит состояние равновесия. Разность температур теплообменивающихся тел является движущей силой процесса теплообмена. Чем больше эта разность, т. е. чем больше отличается состояние системы от условий, соответствующих равновесным, тем интенсивнее протекает процесс. Таким образом, степень отличия системы от равновесной представляет собой движущую силу процесса. При расчете каждого аппарата необходимо определить движущую силу процесса, исходя из величин, характеризующих рабочие и равновесные параметры.