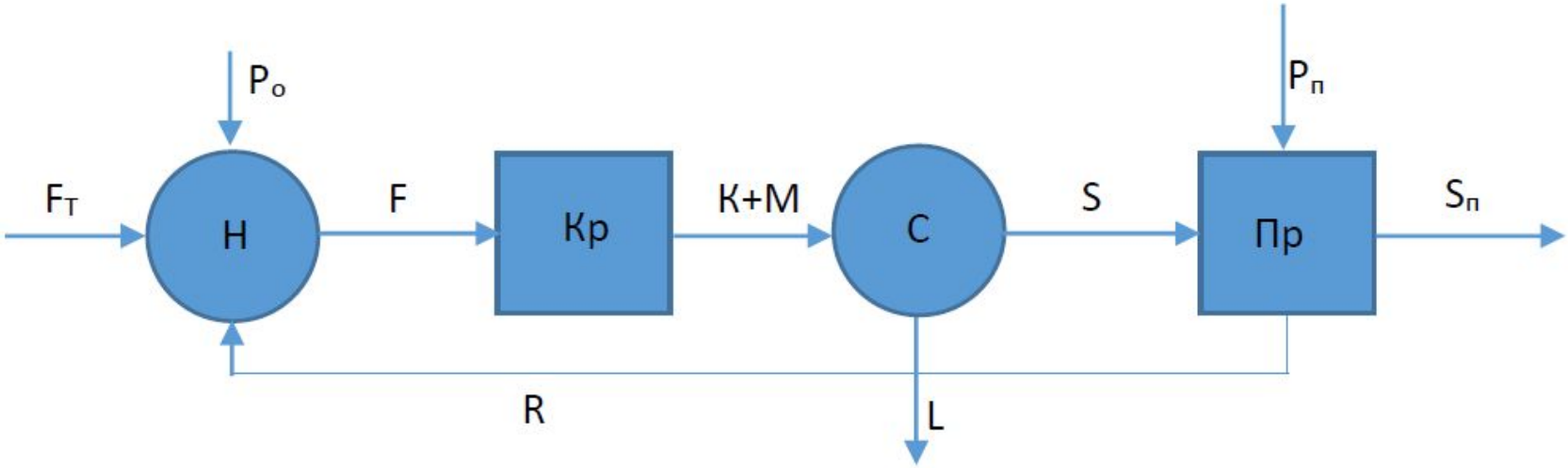
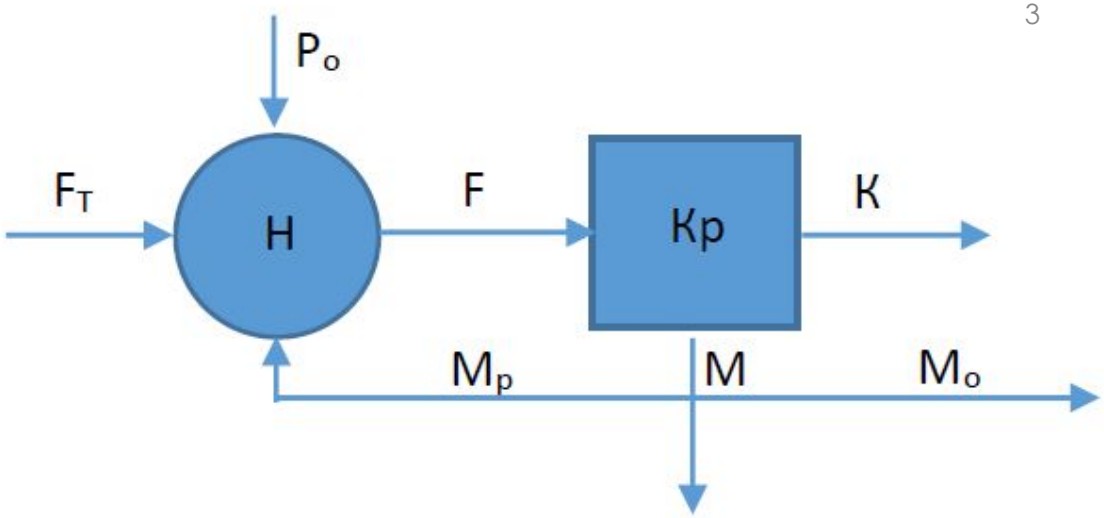
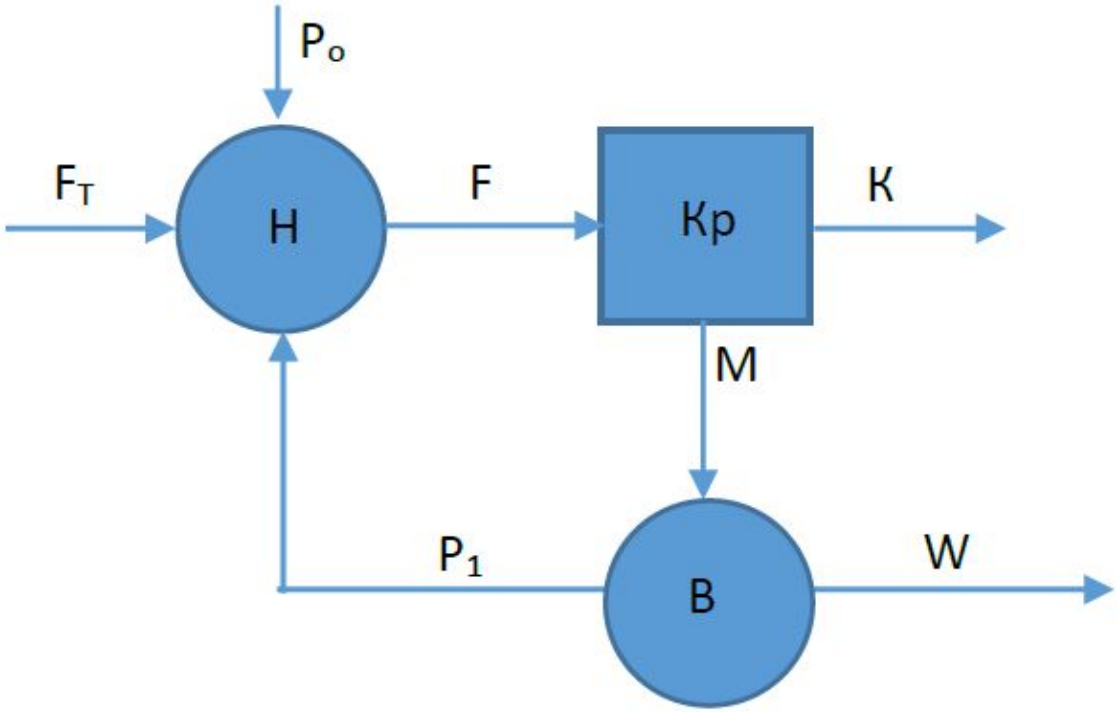
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ДЕСУБЛИМАЦИЯ

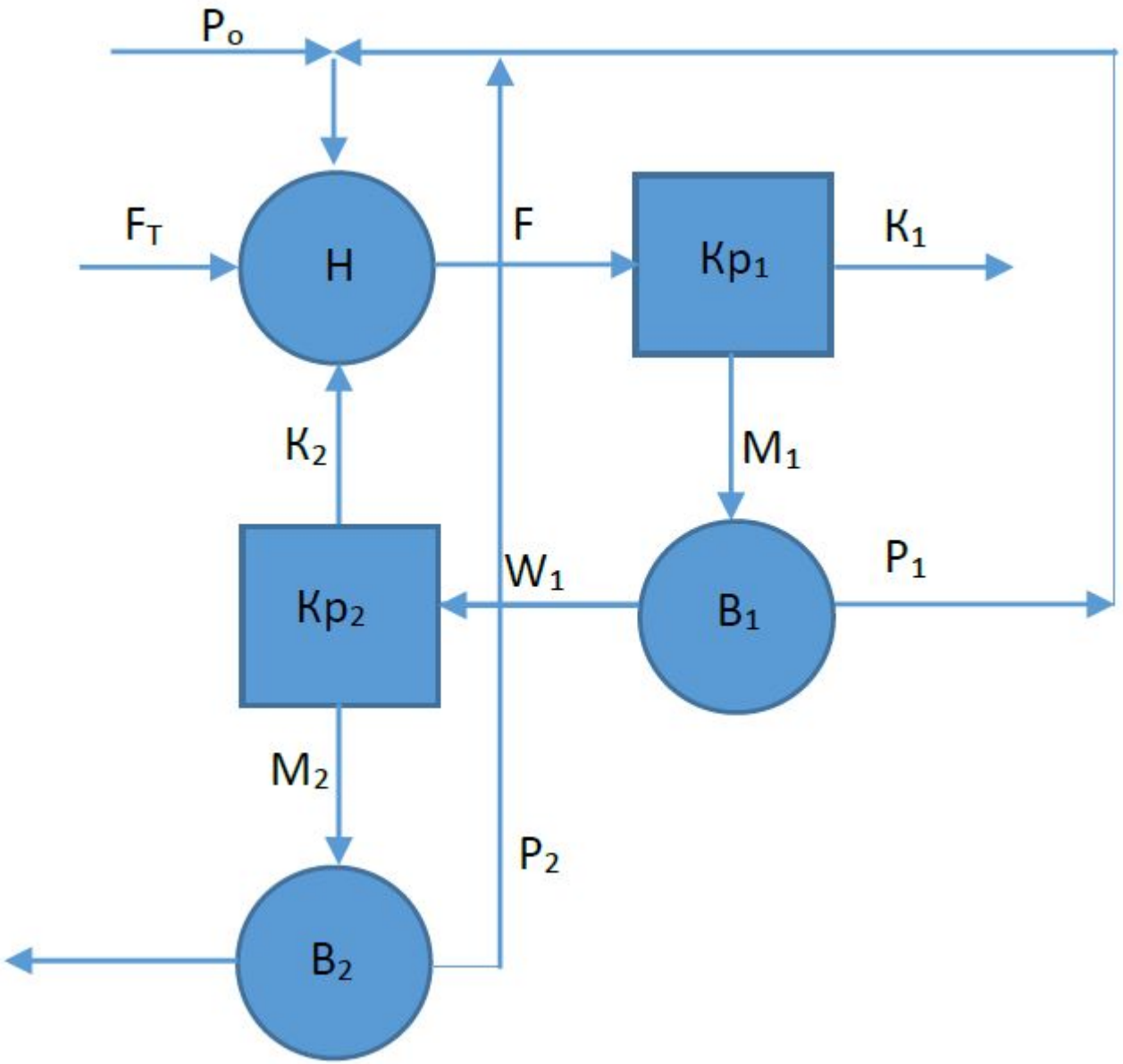
к.т.н., доц. Таран Ю.А.

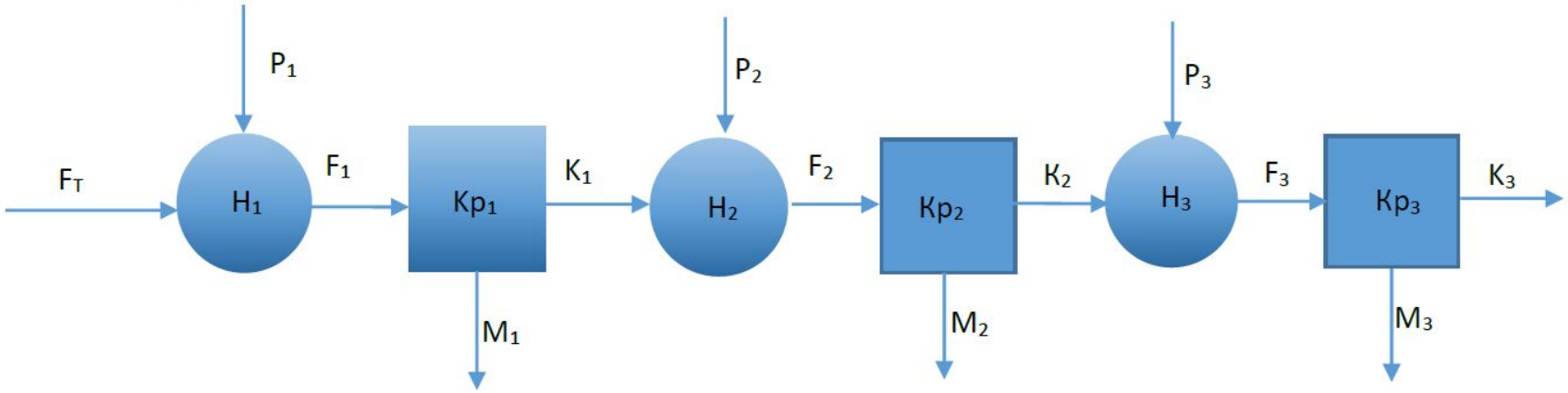
СХЕМЫ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

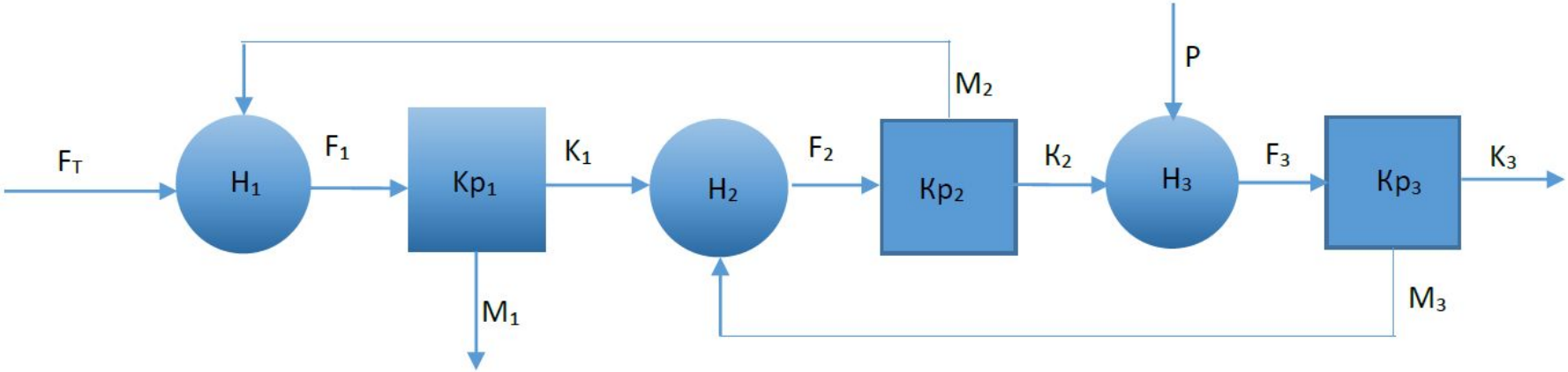



Po
FT
H
F
Кр
К
Mp
M
Mo

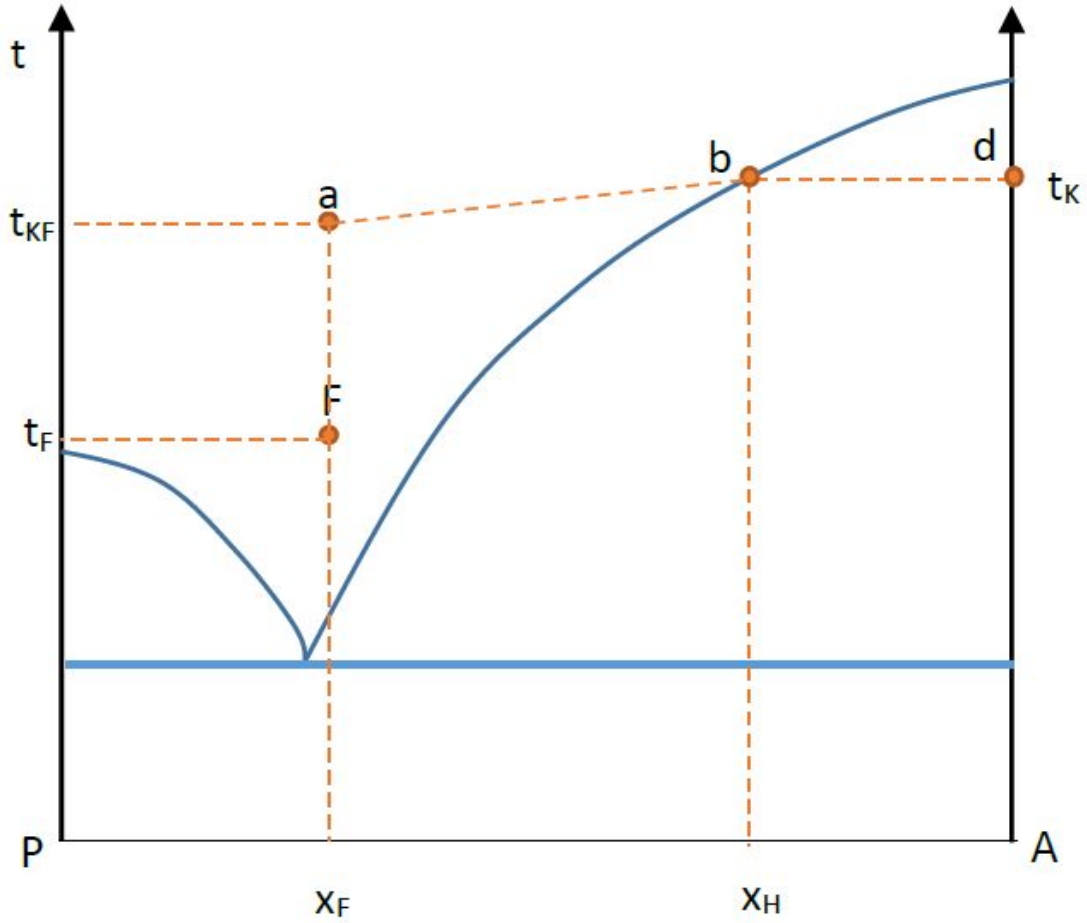

Po
FT
H
F
Кр
К
M
P1
B
W

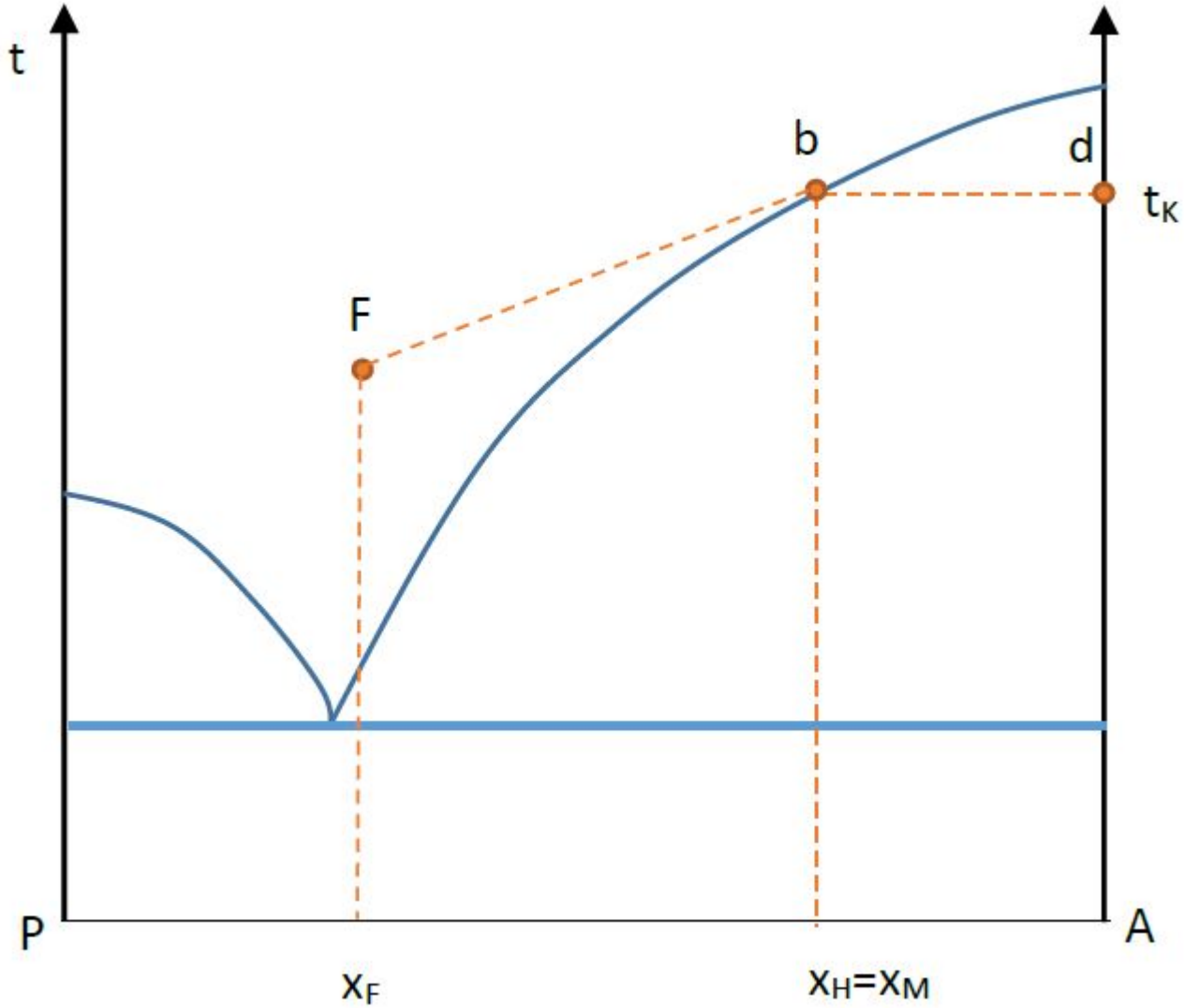

Po
FT
H
F
Kp1
K1
K2
M1
Kp2
W1
B1
P1
M2
P2
B2


P1
P2
P3
FT
H1
F1
Кр1
K1
H2
F2
Кр2
K2
H3
F3
Кр3
K3
M1
M2
M3


P
M2
FT
H1
F1
Кр1
K1
H2
F2
Кр2
K2
H3
F3
Кр3
K3
M1
M3

ВЫПАРНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ.




t
b
d
t_K
F
P
A
x_F
$x_H=x_M$

Материальный баланс.

$F=К+М+П$ (1)

$Fx_F=Кx_К+Мx_М+Пx_П$ (2)

Если принять $x_П=0$, то

$Fx_F=Кx_К+Мx_М$ (3)

При совместном решении 1 и 2 получим:

$$К = F\frac{(x_F-x_М)+Пx_M}{x_K-x_М} \quad (4)$$

Если не происходит образование кристаллогидратов, то можно принять $x_K = 1, x_М = x_Н$.

Тепловой расчет.

$$Fc_Ft_H + Kr_{KP} + Q_H = Kc_Kt_K + Mc_Mt_K + Пi_П \quad (5)$$

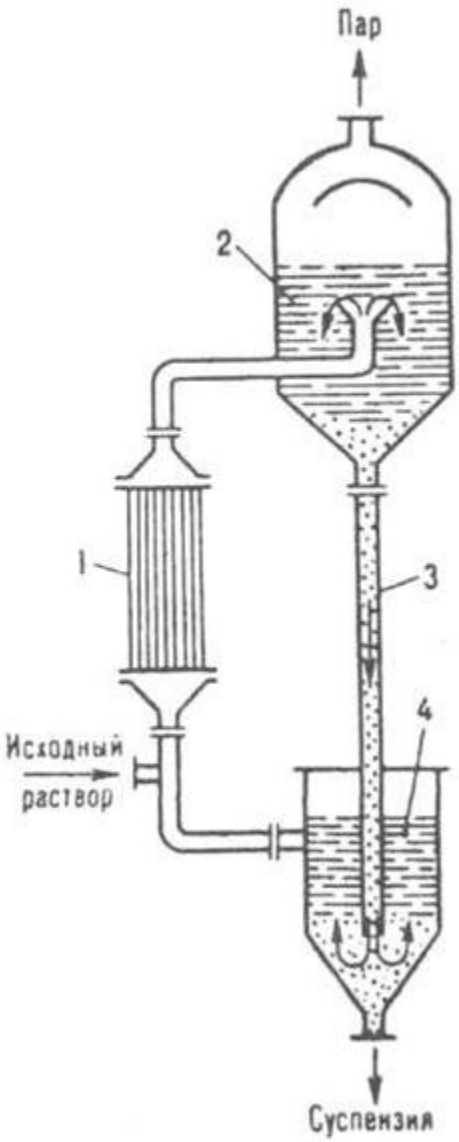
$$Q_H = Пi_П - K(r_{KP} - c_Kt_K) - Fc_Ft_H + Mc_Mt_K \quad (6)$$

Расход греющего пара.

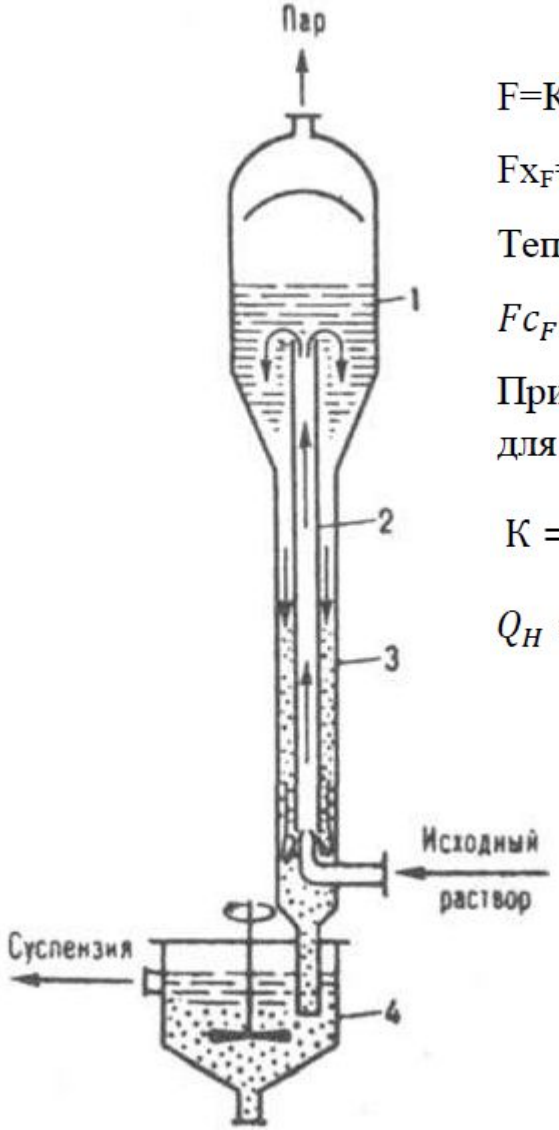
$$D_П = \frac{Q_H}{r_П}$$

Площадь теплопередачи кристаллизатора.

$$f_K = \frac{Q_H}{k\Delta t}, \Delta t = t_П - t_K$$



ВАКУУМ-ВЫПАРНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ.



$F = К + М + П$ (1)

$Fx_F = Кx_К + Мx_М + Пx_П$ (2)

Тепловой баланс кристаллизатора.

$$Fc_F t_H + Kr_{KP} = Kc_K t_K + Mc_M t_K + Пi_П \quad (3)$$

При совместном решение уравнений 1-3 получаем следующую зависимость для расчета выхода кристаллической фазы.

$$К = \frac{П(i - c_M t_K) - F(c_F t_H - Mc_M t_K)}{r_{KP} - (c_K - c_M) t_K} \quad (4)$$

$$Q_H = Fc_F(t_H - t_F) \quad (5)$$

ЗАДАЧА 7.

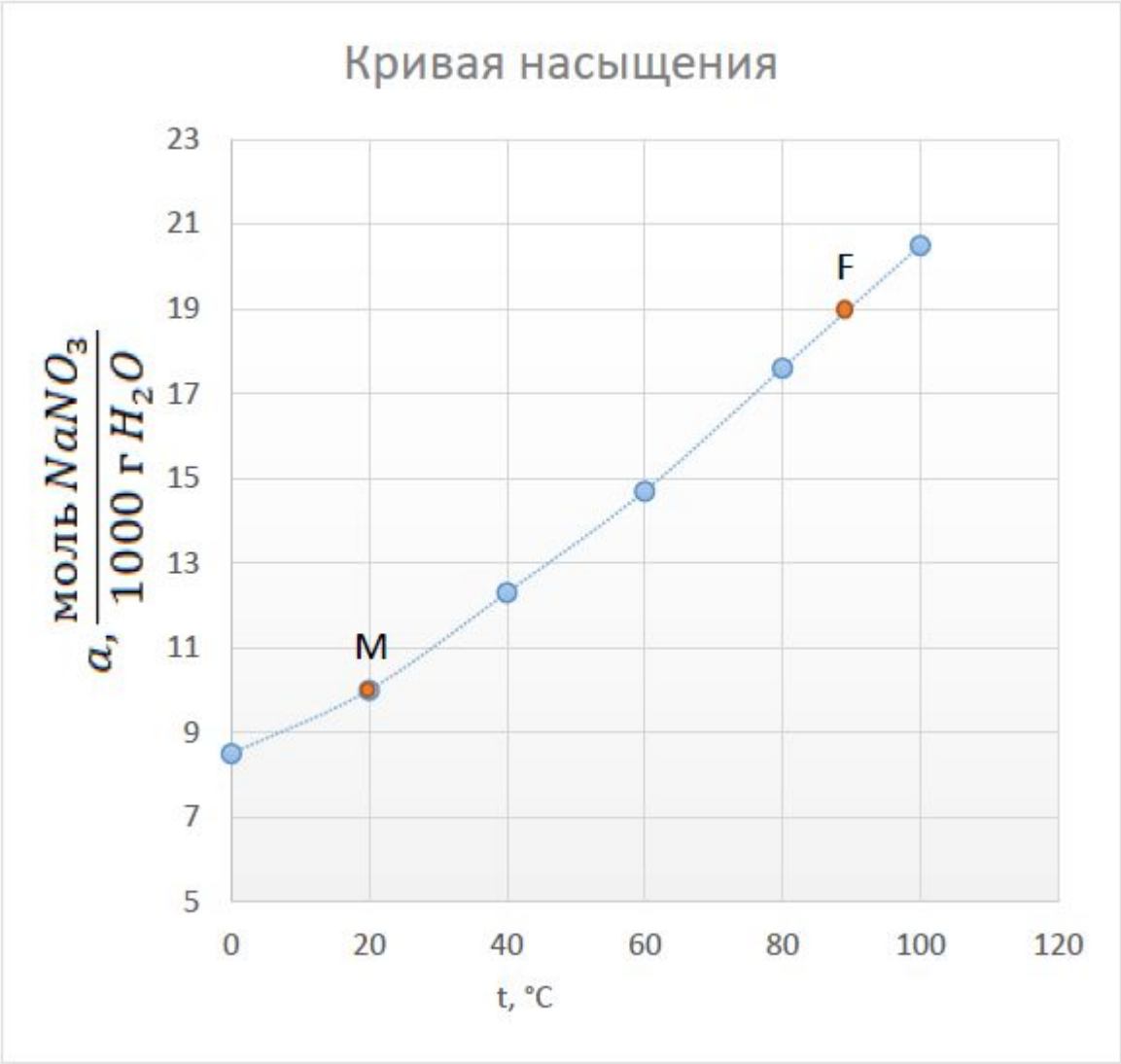
Находим данные по растворимости нитрата натрия в воде.

t, °C	0	20	40	60	80	100
$a, \frac{\text{моль } NaNO_3}{1000 \text{ г } H_2O}$	8,5	10,0	12,3	14,7	17,6	20,5

Используем кривые растворимости и определяем состав насыщенных растворов.

при t_F=90°C, a_F=19 $\frac{\text{моль } NaNO_3}{1000 \text{ г } H_2O}$,

при $t_ф$=20°C, $a_м$=10 $\frac{\text{моль } NaNO_3}{1000 \text{ г } H_2O}$


Кривая насыщения
$a, \frac{моль\ NaNO_3}{1000\ г\ H_2O}$
23
21
19
17
15
13
11
9
7
5
0
20
40
60
80
100
120
t, °C
M
F

Произведем пересчет концентрации на массовые доли.

$$x = \frac{aM}{1000 + aM}, M = 85\frac{\text{г}}{\text{моль}} \text{ для } NaNO_3$$

$$x_F = \frac{19 \cdot 85}{1000 + 19 \cdot 85} = 0{,}618$$

$$x_M = \frac{10 \cdot 85}{1000 + 10 \cdot 85} = 0{,}459$$

Выход кристаллической фазы равен.

$$\text{К} = F\frac{x_F - x_\text{М}}{x_K - x_\text{М}}$$

При расчете принимаем $x_K = 1$, так как $NaNO_3$ не образует кристаллогидратов.

$$\text{К} = 1000\frac{0{,}618 - 0{,}459}{1 - 0{,}459} = 294 \text{ кг/ч}$$

M=F-K=1000-294=706 кг/ч.

ЗАДАЧА 8.

$$F = \frac{4000}{3600} = 1{,}111\,\frac{\text{кг}}{\text{с}};\ \Pi = \frac{1500}{3600} = 0{,}417\,\frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

$$x_F = \frac{aM}{1000 + aM} = \frac{19 \cdot 85}{1000 + 19 \cdot 85} = 0{,}618$$

Растворимость нитрата натрия при температуре 60°С равна.

$a_м = 14{,}7\ \frac{\text{моль } NaNO_3}{1000 \text{ г } H_2O}$

$$x_M = \frac{aM}{1000 + aM} = \frac{14{,}7 \cdot 85}{1000 + 14{,}7 \cdot 85} = 0{,}555$$

Определим выход кристаллической фазы.

$$\text{К} = \frac{F(x_F - x_\text{М}) + \Pi x_M}{x_K - x_\text{М}} = \frac{1{,}111(0{,}495 - 0{,}555) + 0{,}417 \cdot 0{,}555}{1 - 0{,}555} = 0{,}284 \text{ кг/с}$$

Выход маточника.

М=F-К-П=1,111-0,284-0,417=0,41кг/с.

Расход тепла на процесс выпарной кристаллизации.

$$Q_H = \Pi i_\Pi - K(r_{KP} - c_K t_K) - F c_F t_H + M c_M t_K$$

И справочников находим.

$t_К$=60°C, $i_п$=2608$\frac{кДж}{кг \cdot гр}$, $c_К = 1{,}2\frac{кДж}{кг \cdot гр}$, $c_в = 4{,}19\frac{кДж}{кг \cdot гр}$, $r_{KP} = 247\frac{кДж}{кг}$.

$$c_F = c_к x_F + c_в(1 - x_F) = 1{,}2 \cdot 0{,}459 + 4{,}19(1 - 0{,}459) = 2{,}85\frac{кДж}{кг \cdot гр}$$

$$c_М = c_к x_М + c_в(1 - x_М) = 1{,}2 \cdot 0{,}555 + 4{,}19 \cdot (1 - 0{,}555) = 2{,}534\frac{кДж}{кг \cdot гр}$$

$$Q_H = 0{,}417 \cdot 2608 - 0{,}284(247 - 1{,}2 \cdot 60) - 1{,}111 \cdot 2{,}85 \cdot 407 + 0{,}41 \cdot 2{,}534 \cdot 60 = 973\ кВт$$

Расход греющего пара (данные при $P_п$=2 ат (120°C).

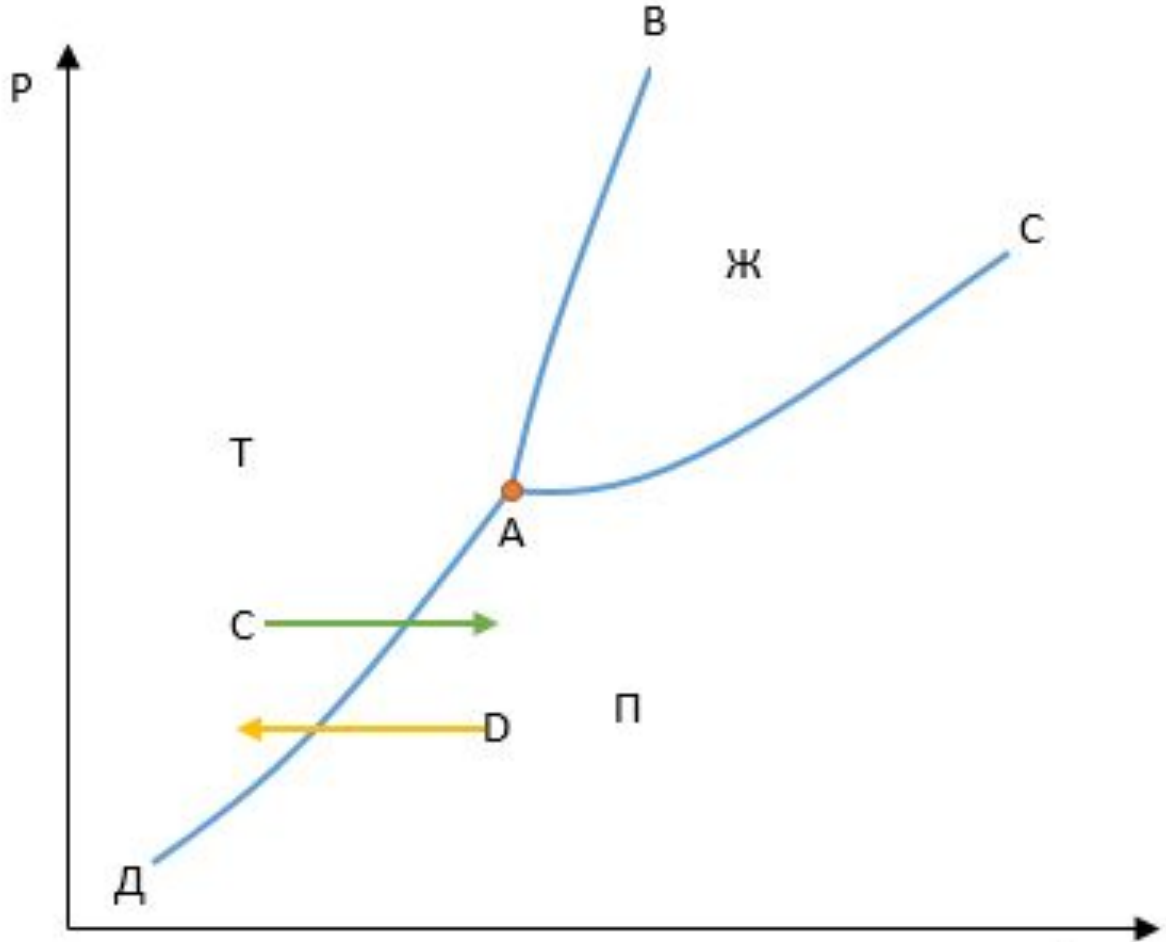
$$D_п = \frac{Q_Н}{r_П} = \frac{973}{2210} = 0{,}44\frac{кг}{с}.$$

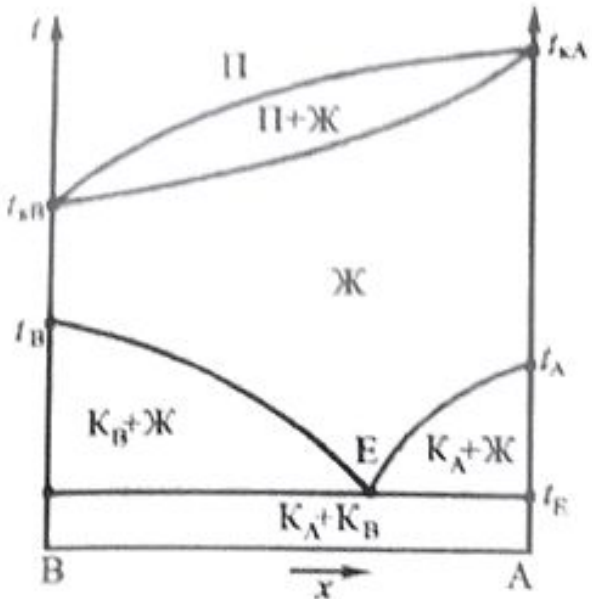
Поверхность теплопередачи кристаллизатора.

$$f_K = \frac{Q_н}{k\Delta t}, \qquad \Delta t = t_п - t_к = 120 - 60 = 60°C$$

$$f_K = \frac{973 \cdot 10^3}{400 \cdot 60} = 40{,}5\ м^2$$

ПРОЦЕССЫ СУБЛИМАЦИИ И ДЕСУБЛИМАЦИИ.





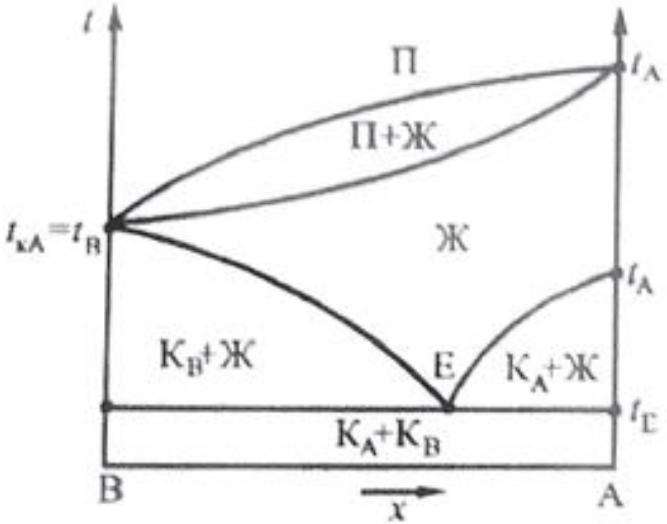
Состояние 1.

Давление в системе выше давления тройных точек компонентов А и В.

$$P > P_{тА}, P > P_{тВ}, t_{кА} > t_А, t_{кВ} > t_В.$$

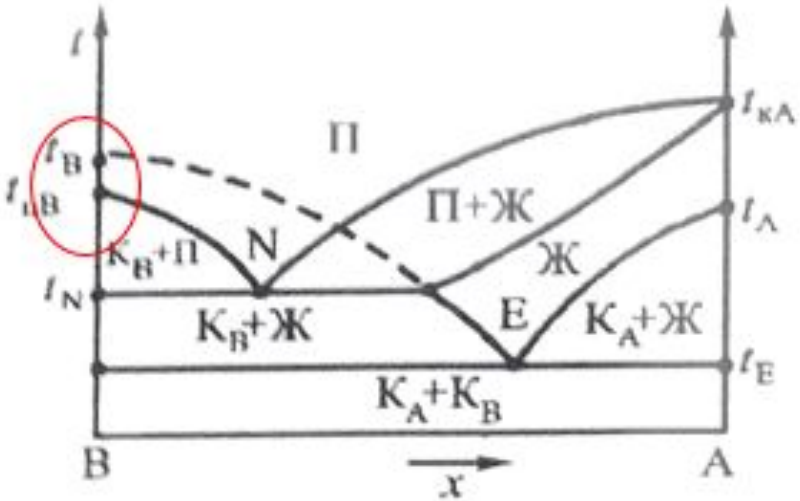
$$P_{тА} < P_{тВ}$$

Давление как известно сильно отражается на равновесие пар-жидкость, но слабо влияет на равновесие твердая фаза - жидкость.



Состояние 2.

$$P = P_{тВ}, P > P_{тА}, t_{кВ} = t_В, t_{кА} > t_В$$



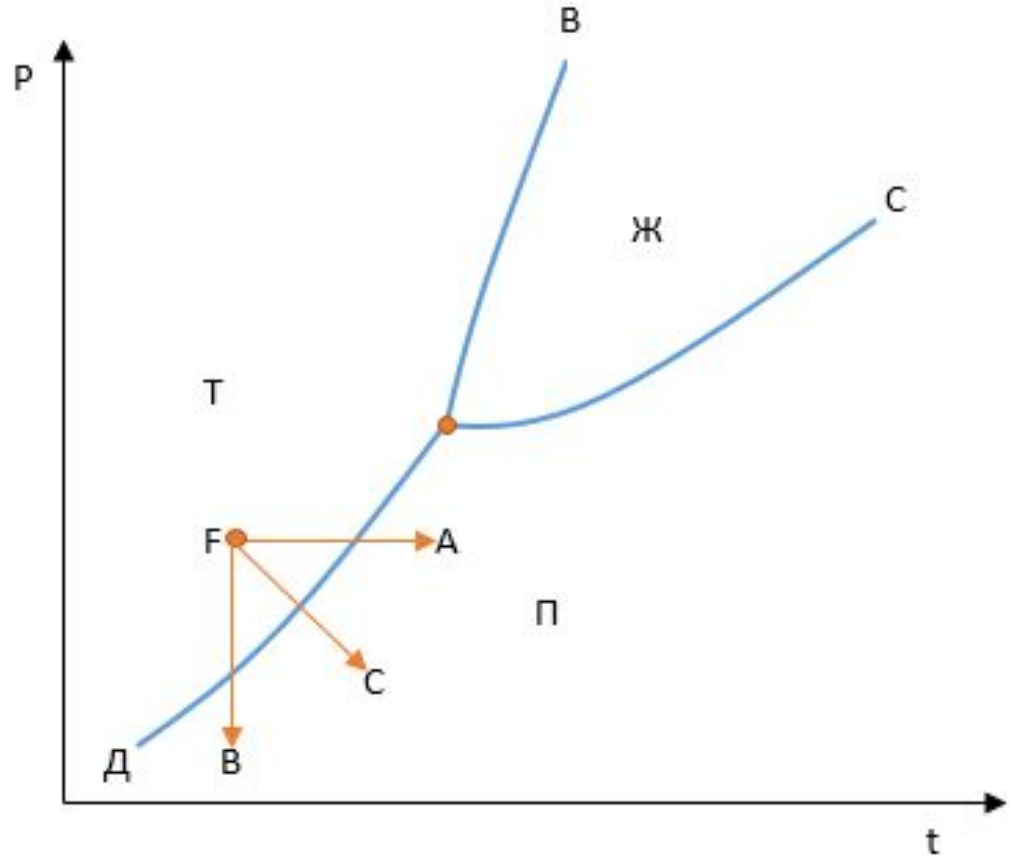
Состояние 3.

$$P < P_{тB}, P > P_{тA}, t_{cB} < t_B$$

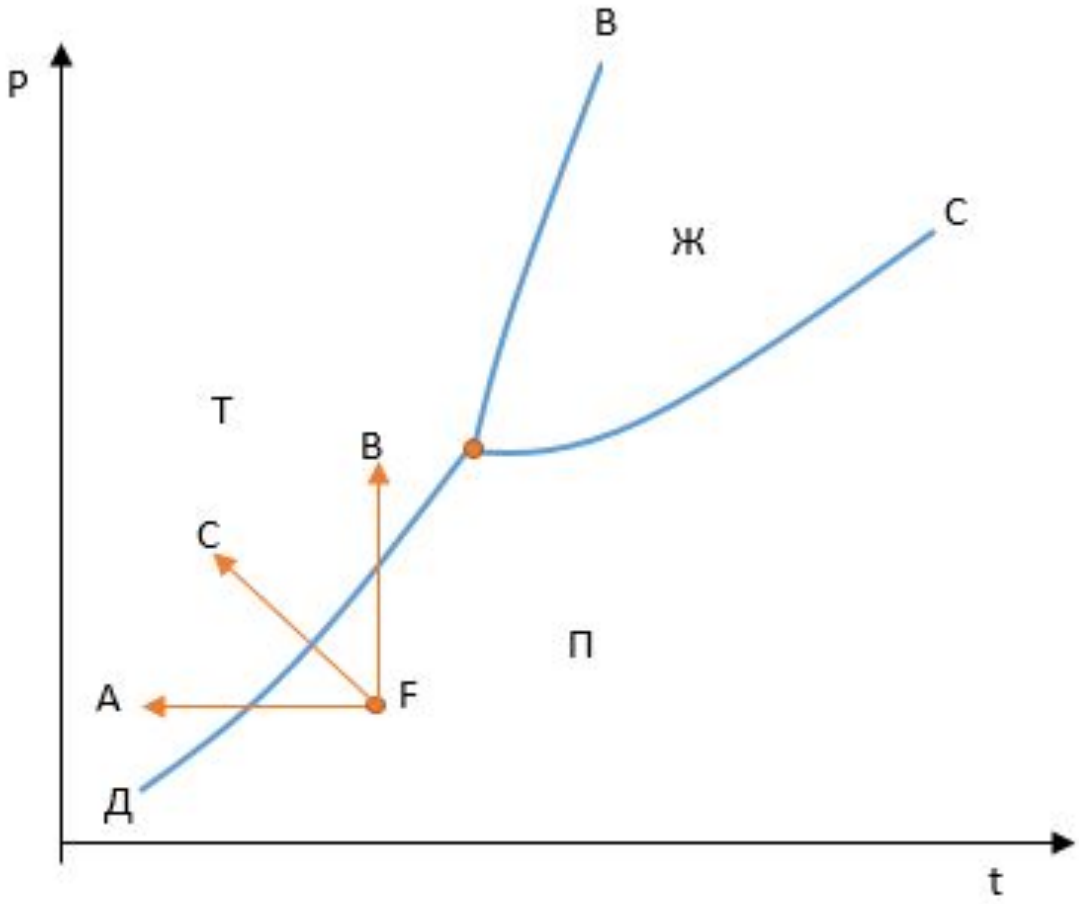
t_{cB}-температура сублимации В. При дальнейшем понижении давления область равновесия П-Т (П+K_B) расширяется. В области равновесия П+K_B можно проводить эффективную очистку компонента В. Примеси компонента А будут оставаться в паровой фазе.

СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ ПЕРЕСЫЩЕНИЯ ДЛЯ ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ ВЕЩЕСТВ.

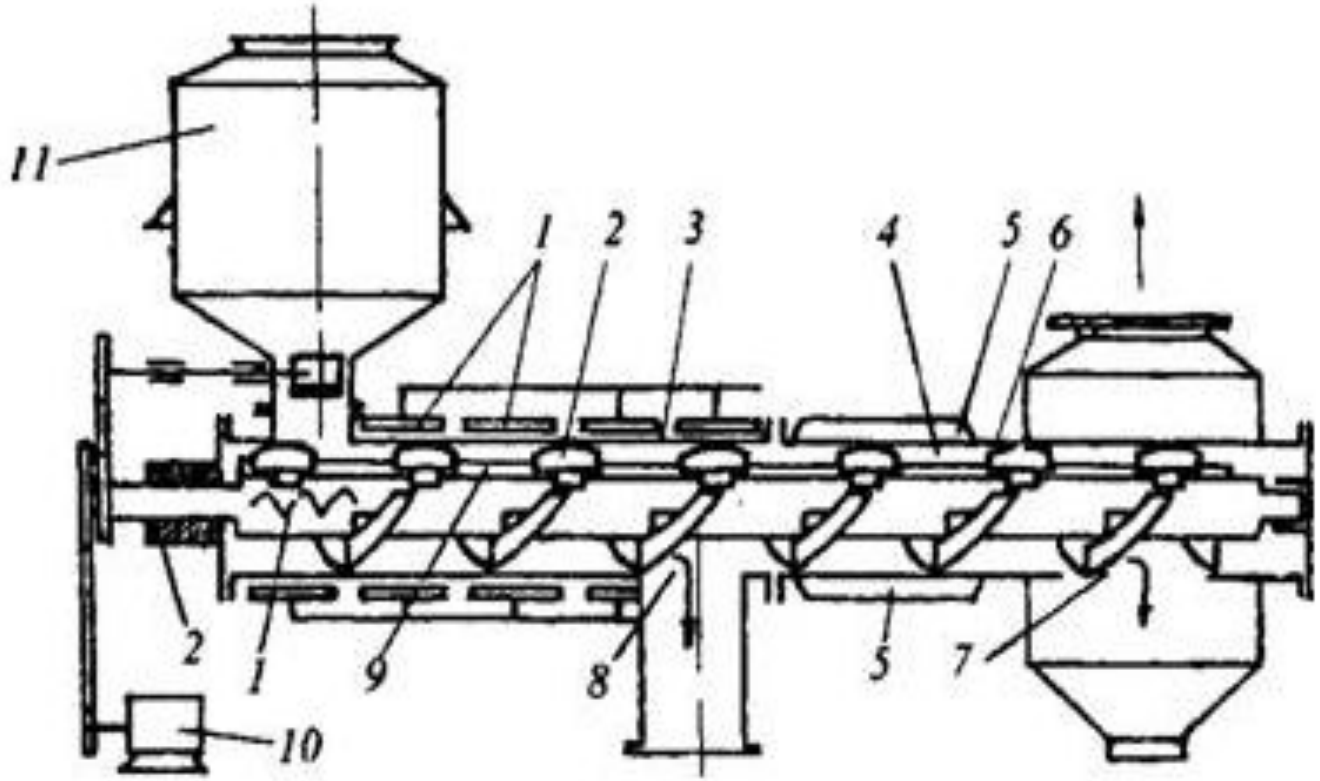
Сублимация.



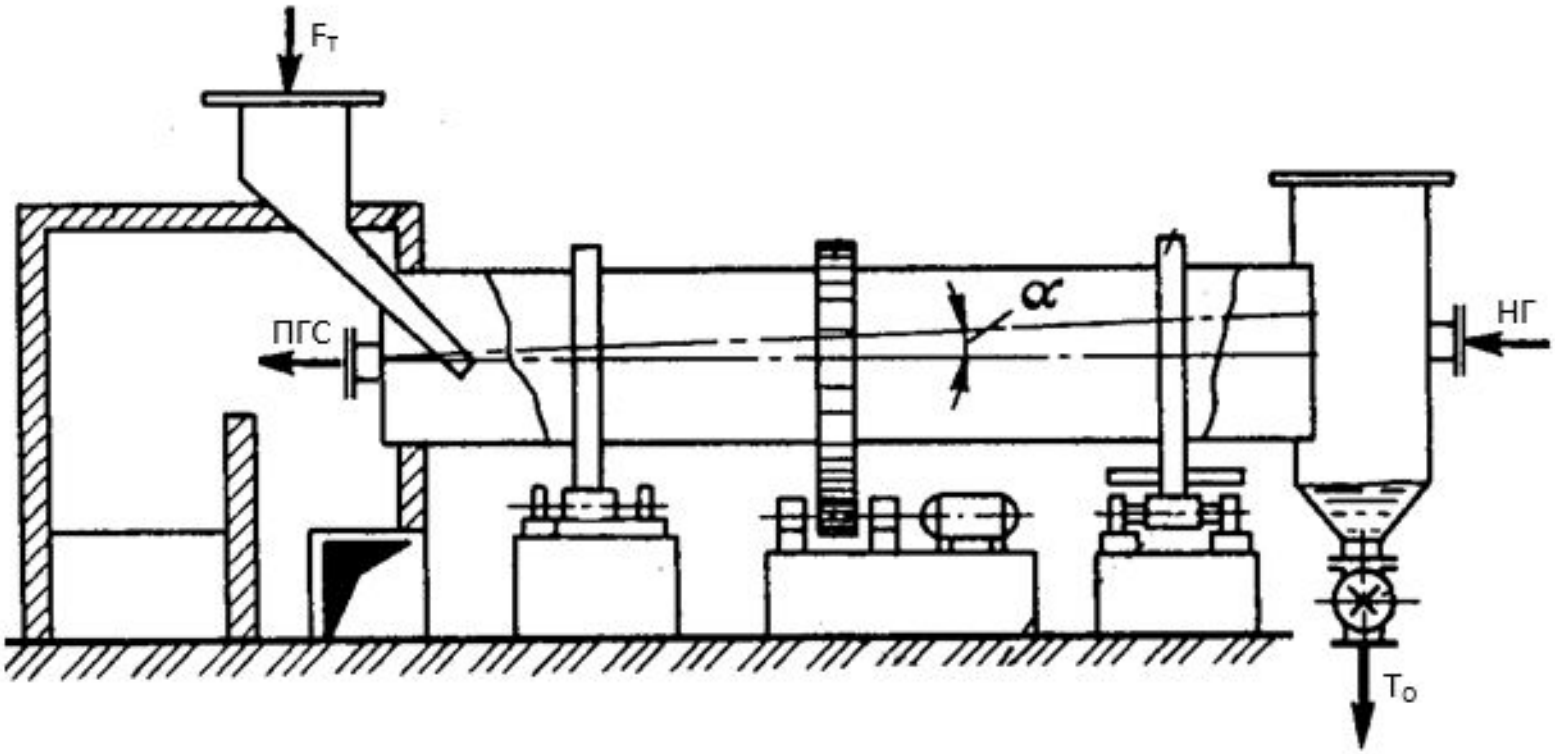
Десублимация.



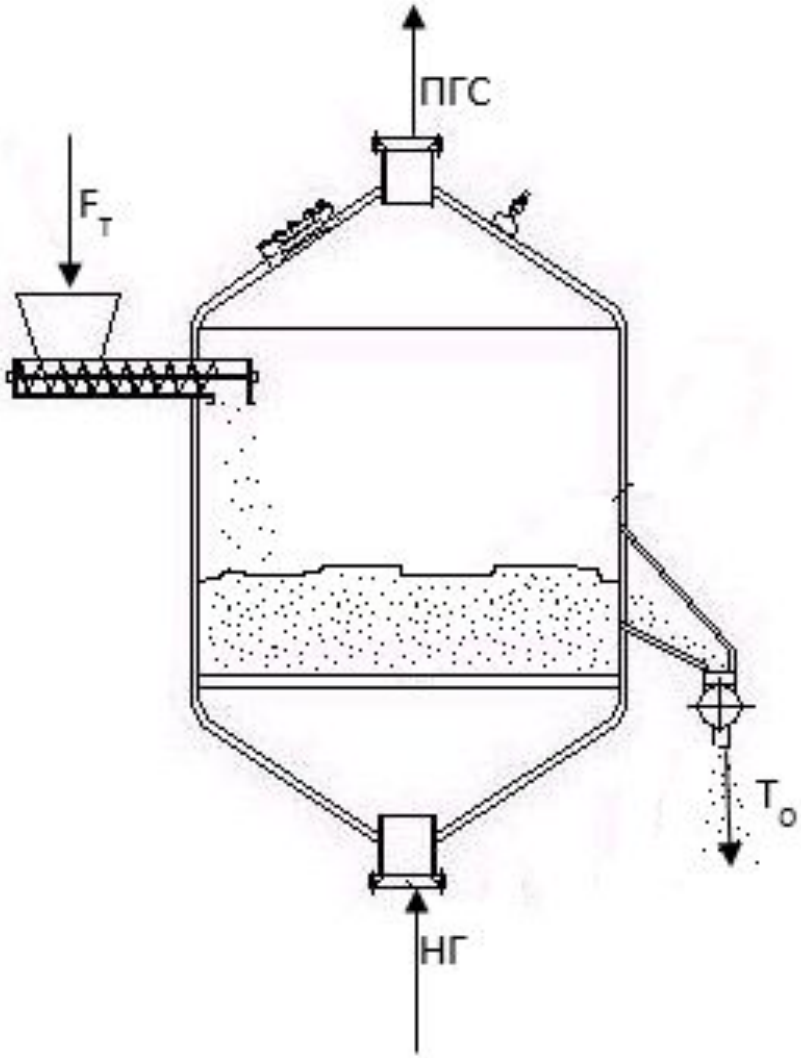
ШНЕКОВЫЙ СУБЛИМАТОР.



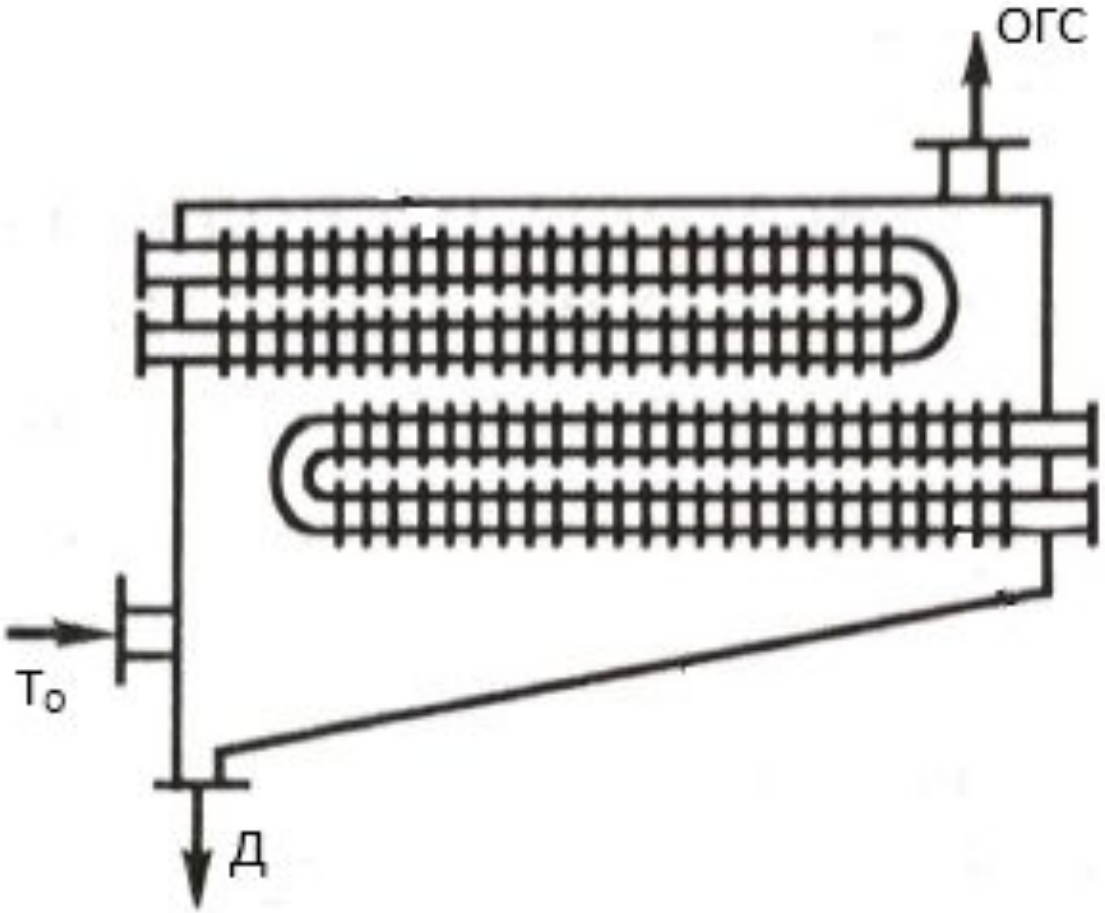
БАРАБАННЫЙ СУБЛИМАТОР.



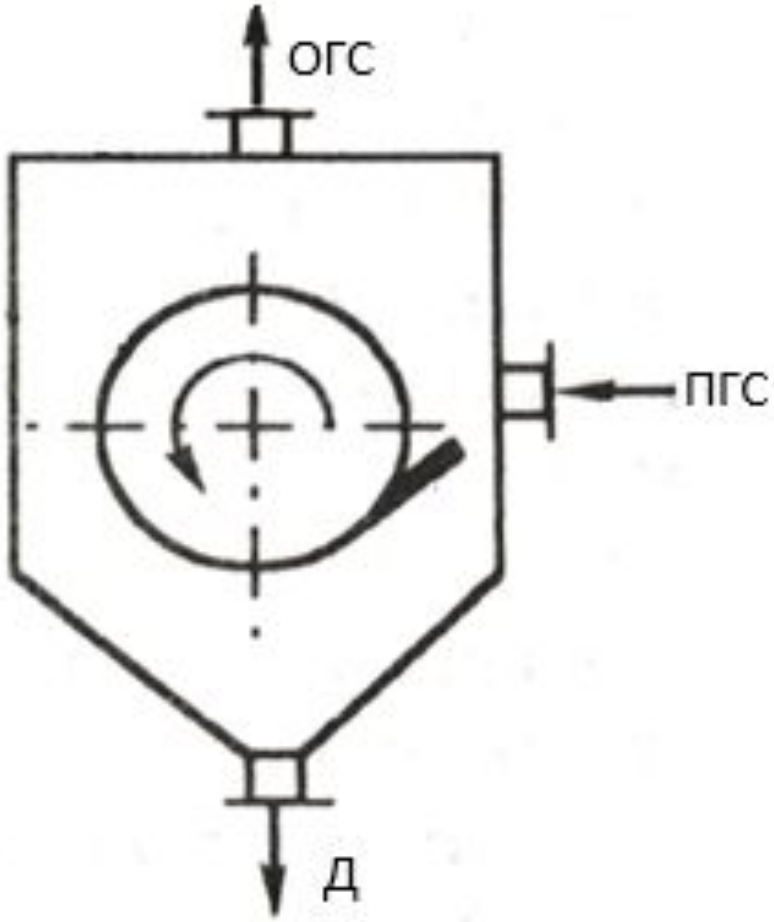
СУБЛИМАТОР С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ.



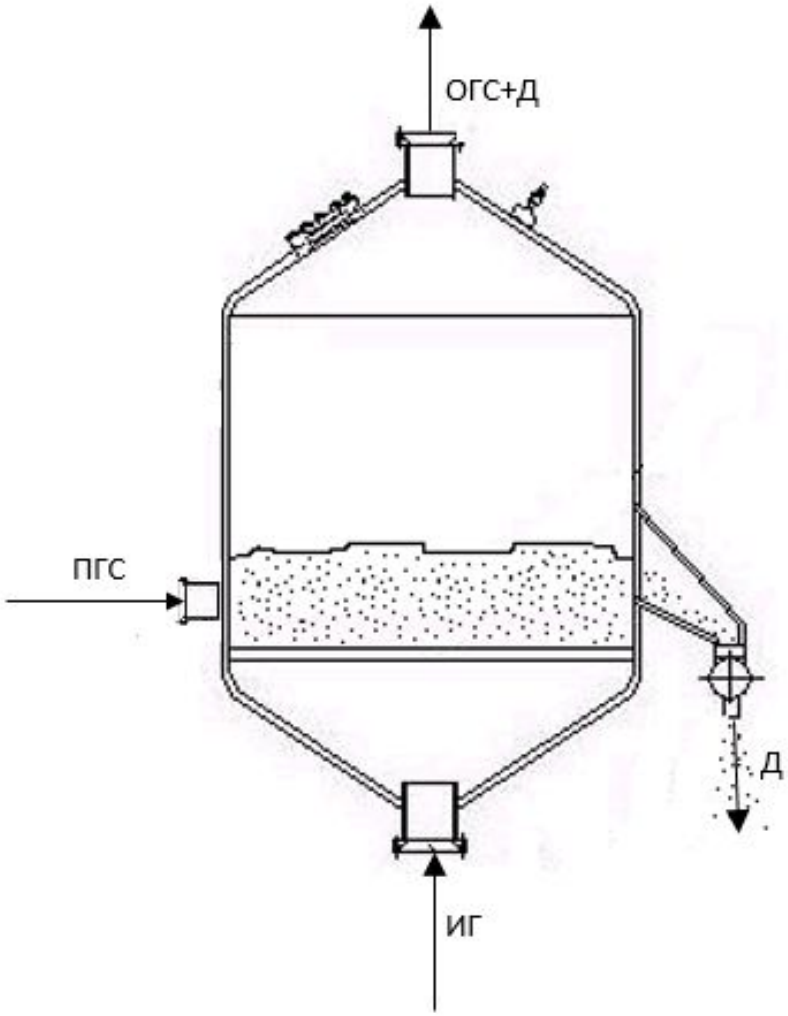
ДЕСУБЛИМАТОР КАМЕРНОГО ТИПА.



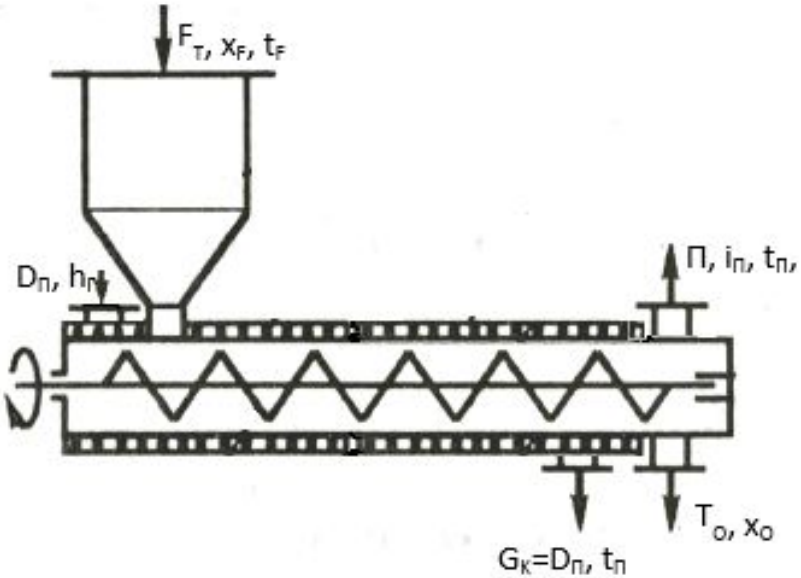
БАРАБАННЫЙ ДЕСУБЛИМАТОР.



ДЕСУБЛИМАТОР С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ.



РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СУБЛИМАЦИИ.



Полная сублимация.

$$F_T = \Pi, \mathrm{T_O} = 0.$$

Тепловой баланс процесса.

$$F_T c_F t_F + Q_H = \Pi i_\Pi$$

$$Q_H = F_T(i_\Pi - c_F t_F);\ i_\Pi = r_{суб} - c_\Pi t_O, r_{суб}$$ –теплота сублимации.

Частичная сублимация.

$$F_T = \Pi + \mathrm{T_O}$$

$$F_T x_F = \Pi x_\Pi + \mathrm{T_O} x_O$$

$$\mathrm{T_O} = F_T - \Pi$$

$\Pi = F_T \frac{x_F - x_\mathrm{O}}{x_\Pi - x_\mathrm{O}}$ - выход паровой фазы. x_F- содержание сублимированного компонента в исходном веществе. x_O – содержание сублимируемого компонента в твердом остатке.

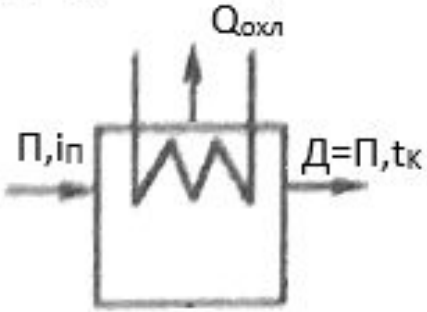
Тепловой баланс процесса.

$F_T c_F t_F + Q_H = \Pi i_\Pi + \mathrm{T_O} c_\mathrm{O} t_\mathrm{c}$

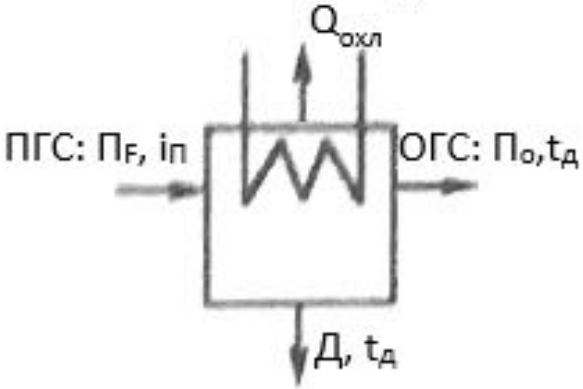
$$Q_H = \Pi i_\Pi + \mathrm{T_O} c_\mathrm{O} t_\mathrm{c} - F_T c_F t_F$$

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ДЕСУБЛИМАЦИИ.

Десублимация чистых паров. $Q_{охл} = П(i_П + c_Т t_К)$



Частичная десублимация.



$П_F$ исходная парогазовая смесь, $П_о$ оставшиеся паровая смесь.

$$П_F = Д + П_0$$

$$П_F x_F = Д x_Д + П_0 x_O$$

$$Д = П_F \frac{x_F - x_0}{x_Д - x_0}$$

x_F – содержание кристаллов целевого компонентов в исходной смеси. $x_Д$ и x_0 – содержание целевого компонента в десублимате и твёрдом остатке.

Тепловой баланс процесса.

$$П_F i_П = П_0 c_0 t_0 + Д c_Д t_Д + Q_{охл}$$

$$Q_{охл} = П_F i_П - t_0 (П_0 c_0 - Д c_Д)$$