

# Управление водным режимом теплогидравлическими методами

# Примеси

- Коррозия и отложения

# Примеси

- Коррозия и отложения
  - Увеличение термического сопротивления

# Примеси

- Коррозия и отложения
  - Увеличение термического сопротивления
  - Утонение стенок поверхностей нагрева

# Примеси

- Коррозия и отложения
  - Увеличение теплового сопротивления
  - Утонение стенок поверхностей нагрева
  - Увеличение гидравлического сопротивления

# Примеси

- Коррозия и отложения
  - Увеличение термического сопротивления
  - Утонение стенок поверхностей нагрева
  - увеличение гидравлического сопротивления
  - Усиление эффекта тепловой и гидравлической разверок

# Примеси

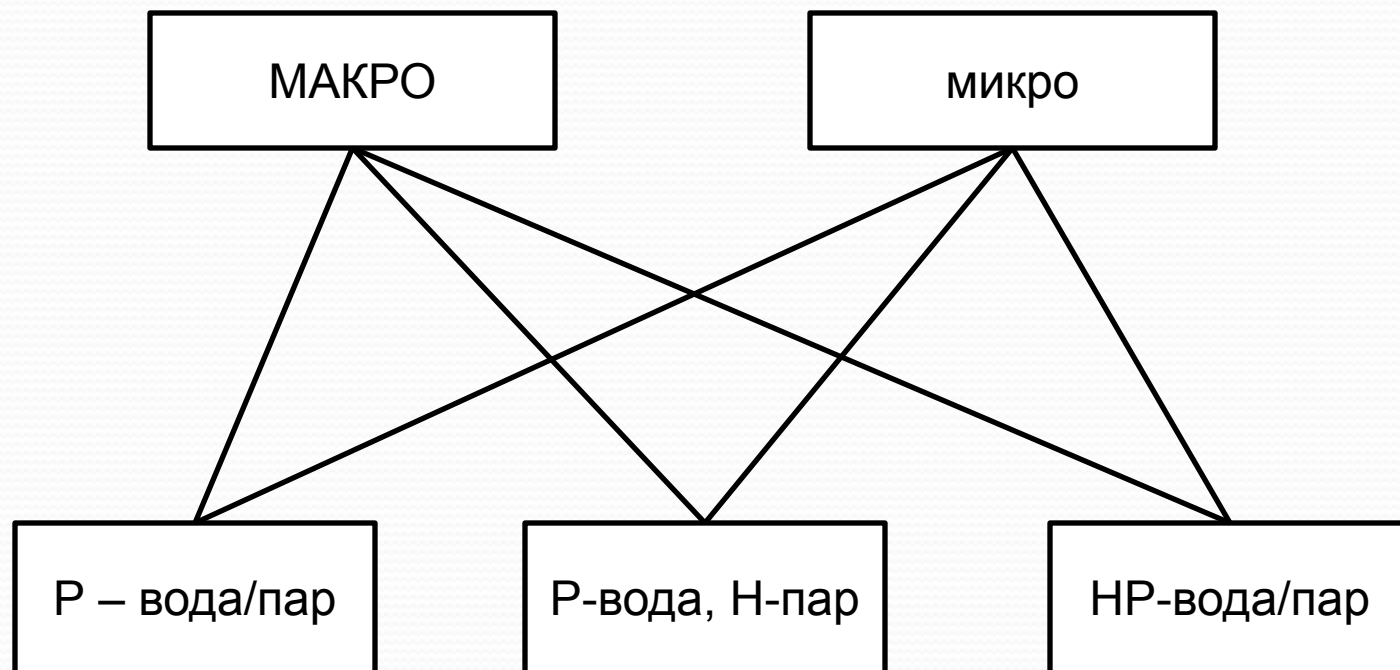
- Коррозия и отложения
  - Увеличение термического сопротивления
  - Утонение стенок поверхностей нагрева
  - Увеличение гидравлического сопротивления
  - Усиление эффекта тепловой и гидравлической разверок
- Скорость коррозии пропорциональна тепловому потоку:
  - $V_k \sim A C_v q^{2-5}$

# Слабые места

- Щели
- Зазоры
- Дистанцирующие решетки
- Повороты, отводы, тройники
- Сварные швы



# Примеси



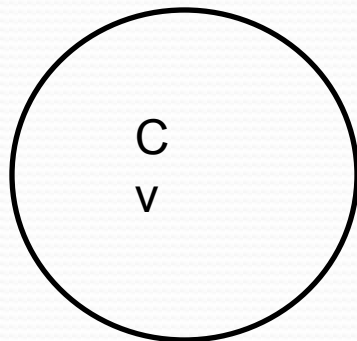
# Теория продумки

- Назначение
- Реализация

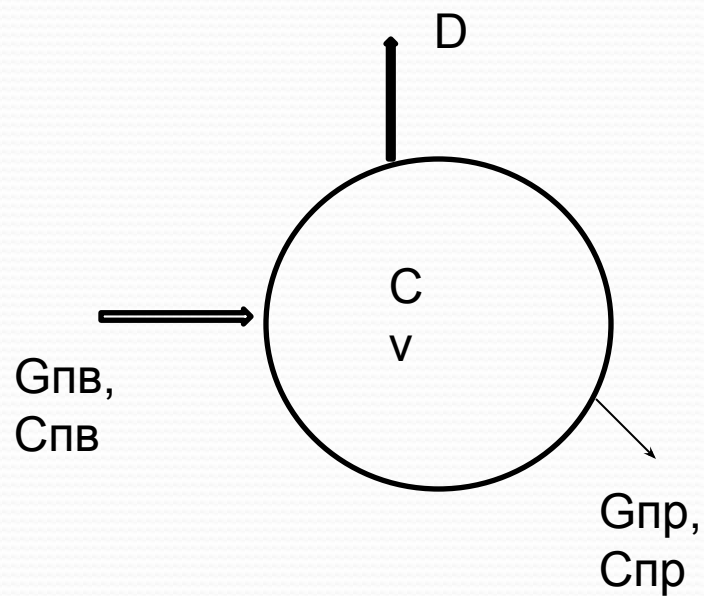
# Теория продувки

- Назначение
  - Основной метод «лечения» от засаливания рабочего объема сепарационного устройства
  - Контроль качества пара и котловой воды
- Реализация
  - Выведение из контура части теплоносителя

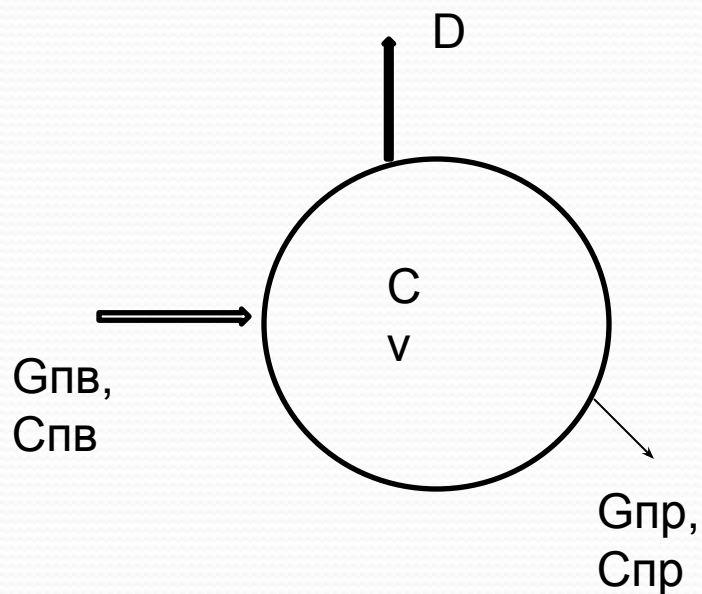
# Простейшая расчетная модель



# Простейшая расчетная модель

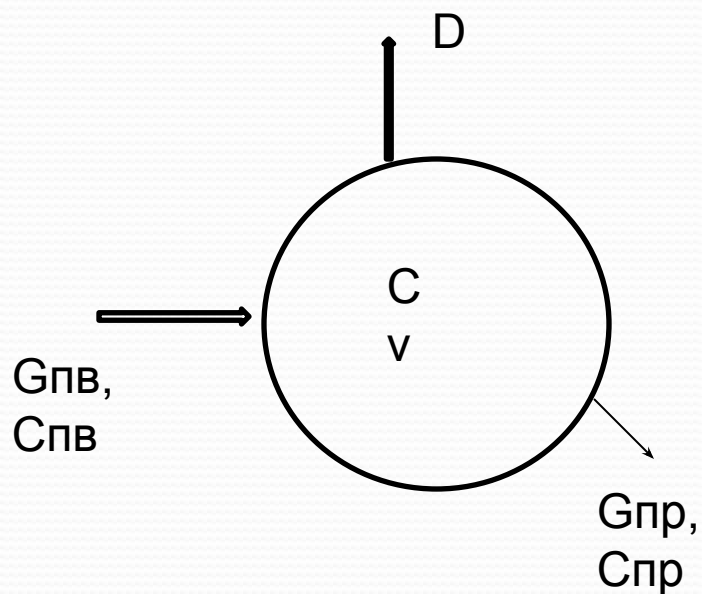


# Простейшая расчетная модель



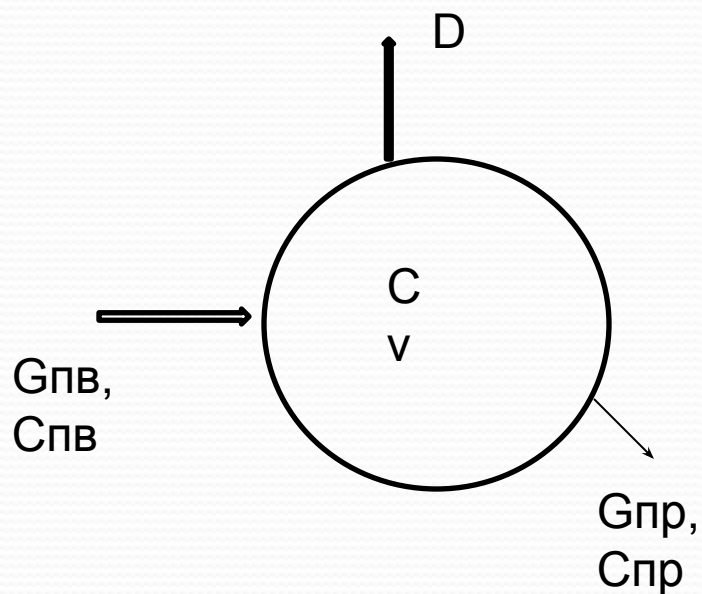
1. Примеси с паром не уносятся

# Простейшая расчетная модель



1. Примеси с паром не уносятся
2. Примеси с влагой не уносятся

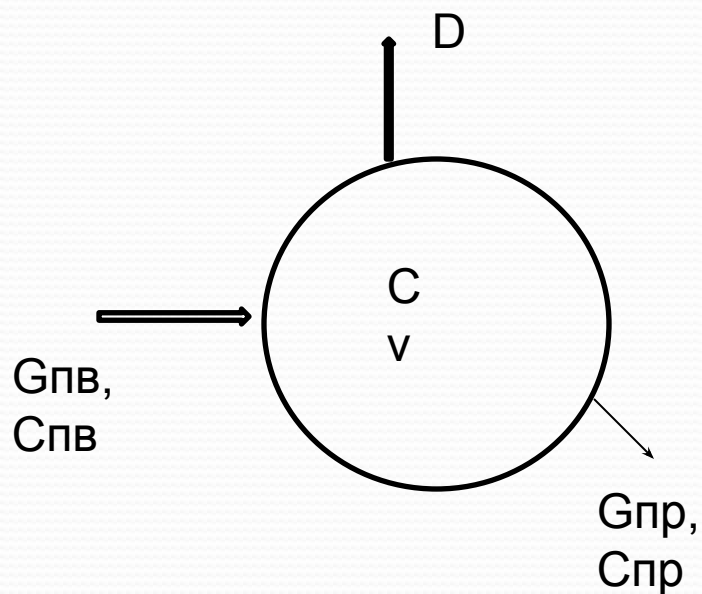
# Простейшая расчетная модель



1. Примеси с паром не уносятся
2. Примеси с влагой не уносятся
3. Примеси не осаждаются на ПН



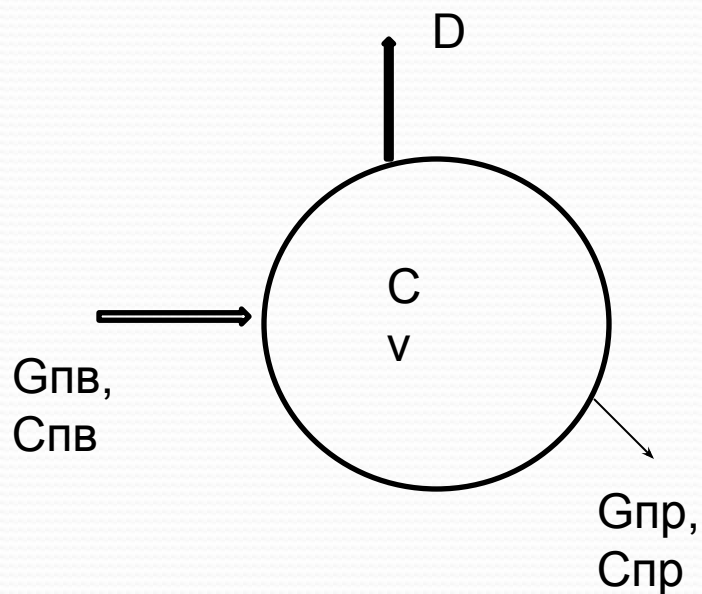
# Простейшая расчетная модель



1. Материальный баланс

$$G_{пв} = D + G_{пр}$$

# Простейшая расчетная модель



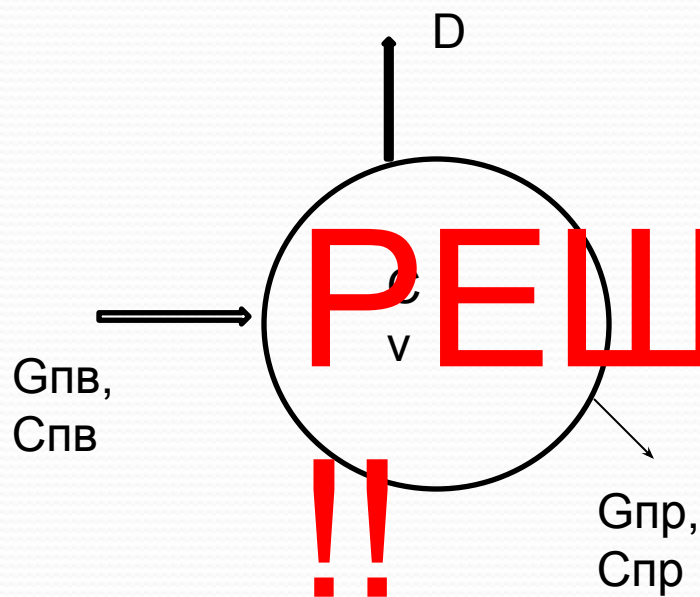
1. Материальный баланс

$$G_{пв} = D + G_{пр}$$

2. Солевой баланс

$$G_{пв} C_{пв} = G_{пр} C_{пр}$$

# Простейшая расчетная модель



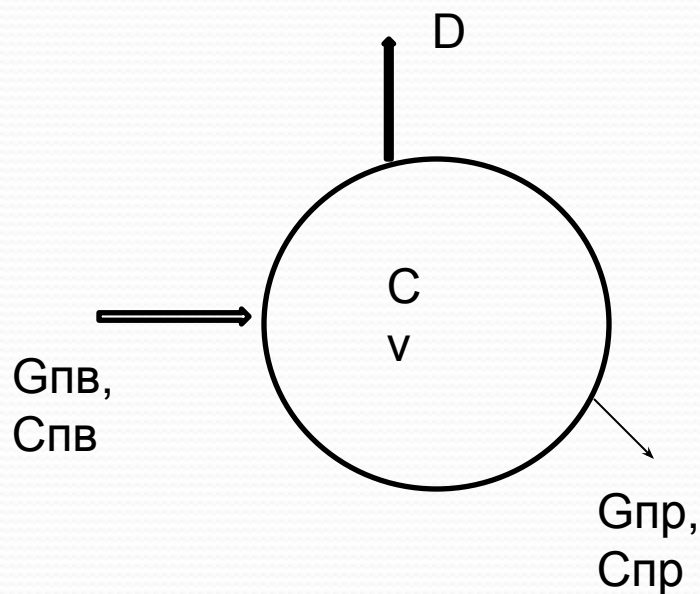
1. Материальный баланс

$$C_{пв} = D + C_{пр}$$

2. Солевой баланс

$$G_{пв} C_{пв} = G_{пр} C_{пр}$$

# Простейшая расчетная модель



$$(G_{пр} + D)C_{пв} = G_{пр}C_{пр}$$

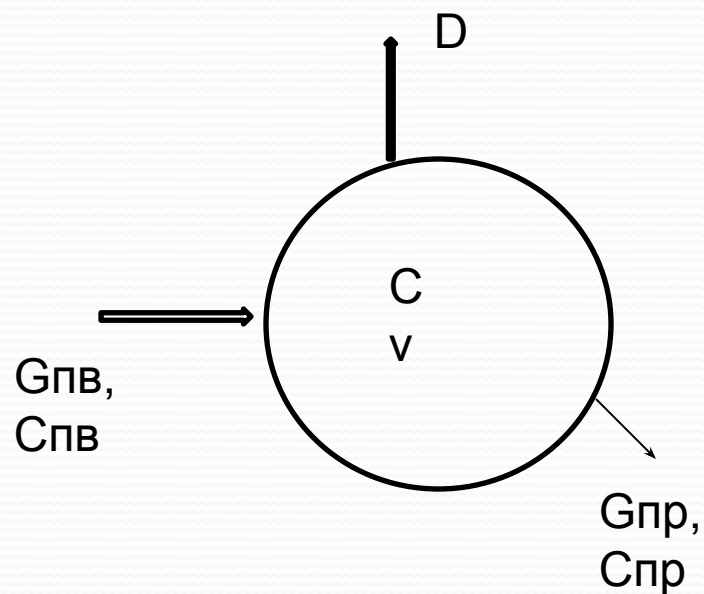
Делим на  $D$

$$(G_{пр}/D + 1)C_{пв} = G_{пр}C_{пр}/D$$

или

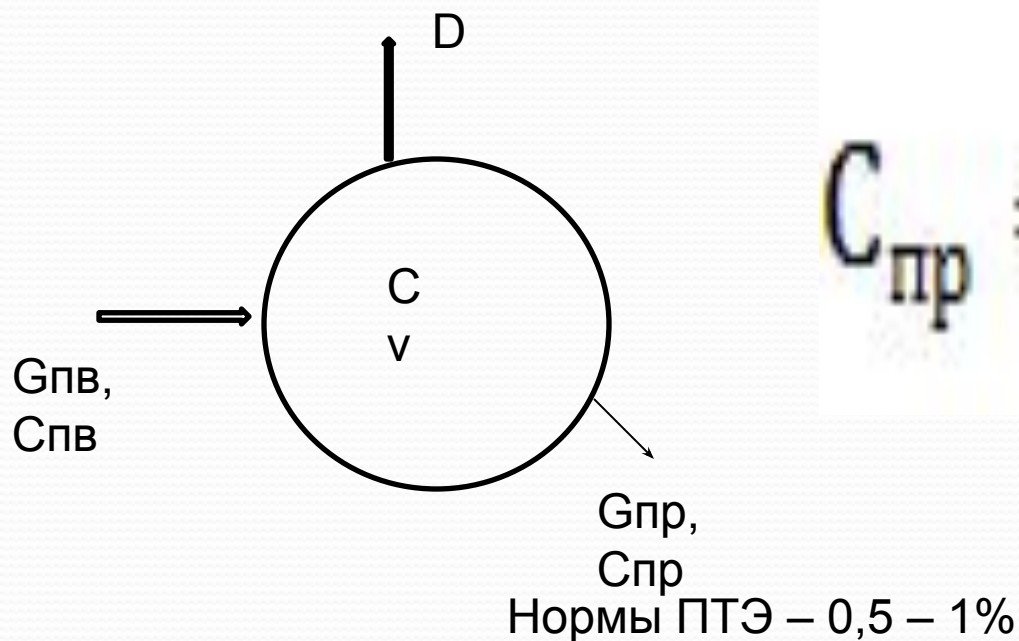
$$C_{пв}(1 + P) = C_{пр} P$$

# Простейшая расчетная модель



$$C_{\text{пр}} = C_{\text{пв}} \frac{1 + P}{P}$$

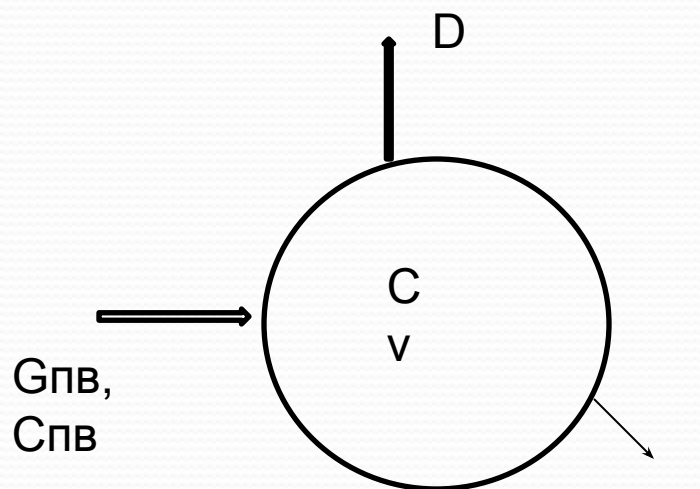
# Простейшая расчетная модель



$$C_{\text{пр}} = C_{\text{пв}} \frac{1 + P}{P}$$

Если  $C_{\text{пв}}=1$ ,  $p=0,01$ , то  
 $C_{\text{пр}}=101$

# Простейшая расчетная модель



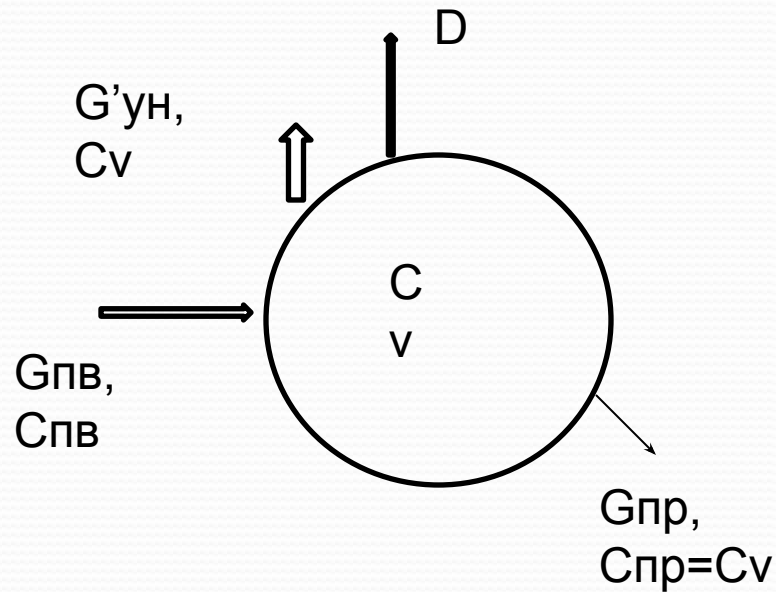
Гпр,  
Спр  
Нормы ПТЭ – 0,5 – 1%

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{пв}} \frac{1 + P}{P}$$

Если  $C_{\text{пв}}=1$ ,  $p=0,01$ , то  $C_{\text{пр}}=101$

**Важная ремарка:  $C_{\text{пр}} = C_{\text{в}}$**

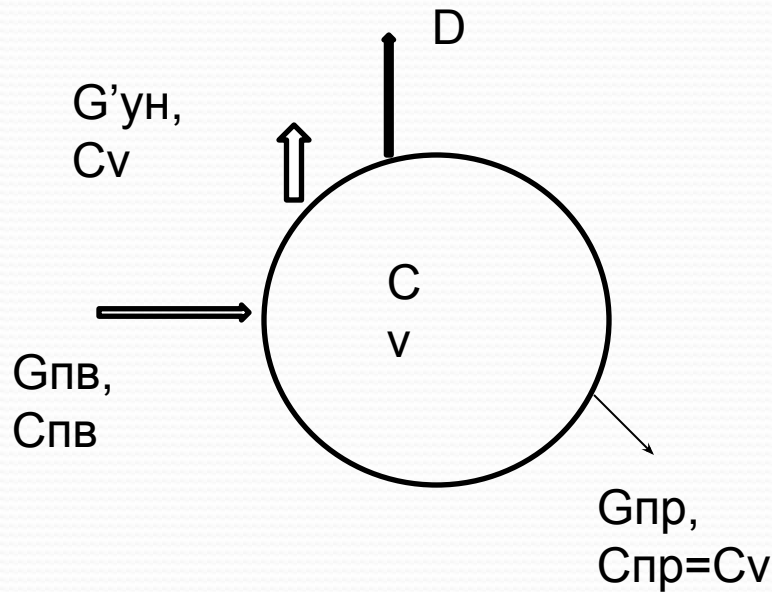
# Вынос примесей с влагой



1. Примеси не уносятся с паром
2. Примеси не осаждаются на ПН



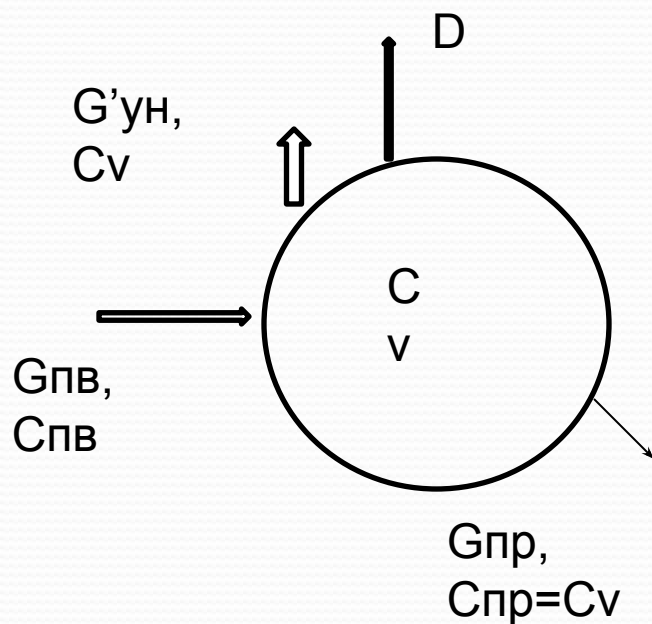
# Вынос примесей с влагой



1. Материальный баланс

$$G_{пв} = G'_{ун} + D + G_{пр}$$

# Вынос примесей с влагой



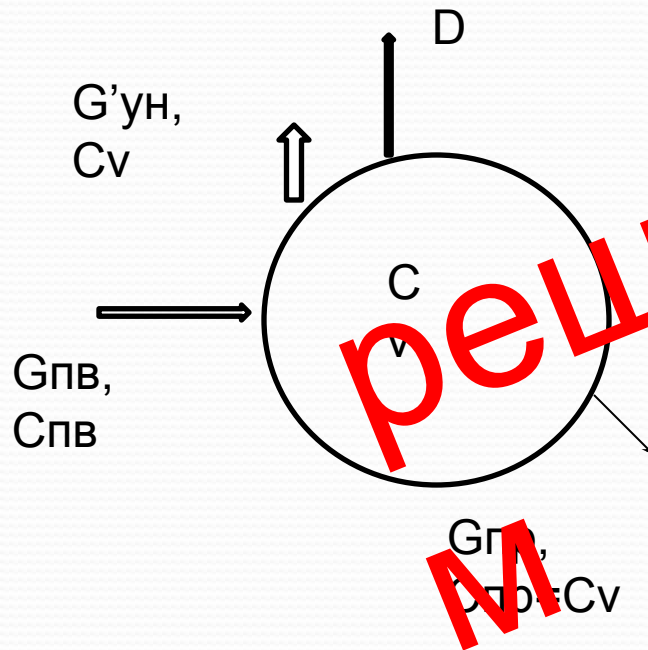
1. Материальный баланс

$$G_{пв} = G'_{ун} + D + G_{пр}$$

2. Солевой баланс

$$G_{пв} C_{пв} = G'_{ун} C_v + G_{пр} C_v$$

# Вынос примесей с влагой



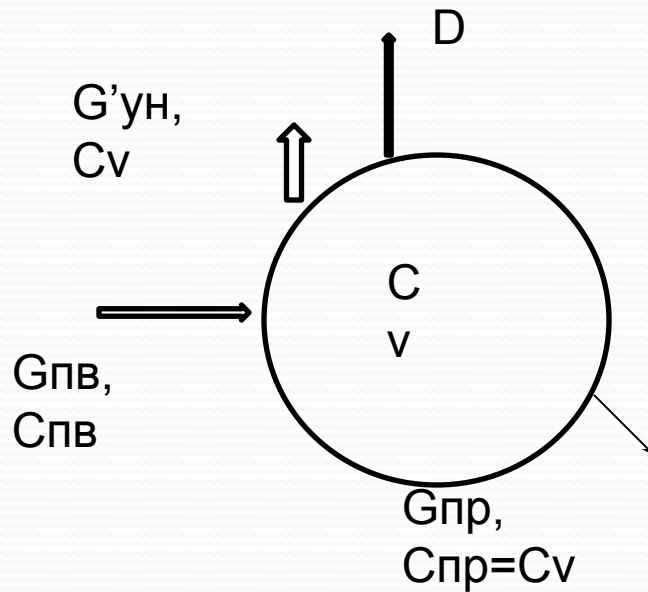
1. Материальный баланс

$$G_{пв} = G'_{ун} + D + G_{пр}$$

2. Солевой баланс

$$G_{пв} C_{пв} = G'_{ун} C_v + G_{пр} C_v$$

# Вынос примесей с влагой



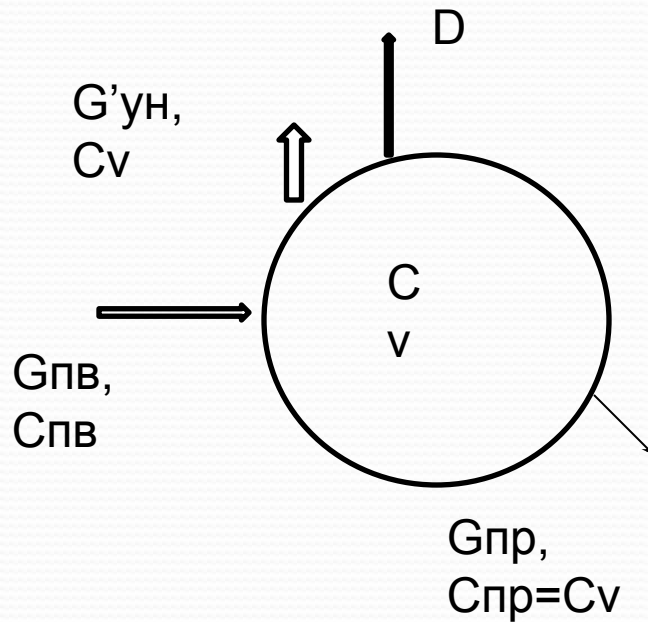
$$(G'_{ун} + D + G_{пр})C_{пв} = C_v(G'_{ун} + G_{пр})$$

Делим на  $D$  и  
Обозначаем:

$P$  – относительная продуквка

$\omega$  - влажность

# Вынос примесей с влагой



$$(\omega + 1 + P)C_{пв} = (\omega + P)C_v$$

ИЛИ

$$C_v = C_{пр} = C_{пв} \frac{1 + P + \omega}{P + \omega}$$

# Растворение примесей в паре

- Определяется коэффициентом распределения

# Растворение примесей в паре

- Определяется коэффициентом распределения
- Физический смысл  $K_p$  – сколько максимально возможно перевести того или иного вида примеси из жидкости в пар

# Растворение примесей в паре

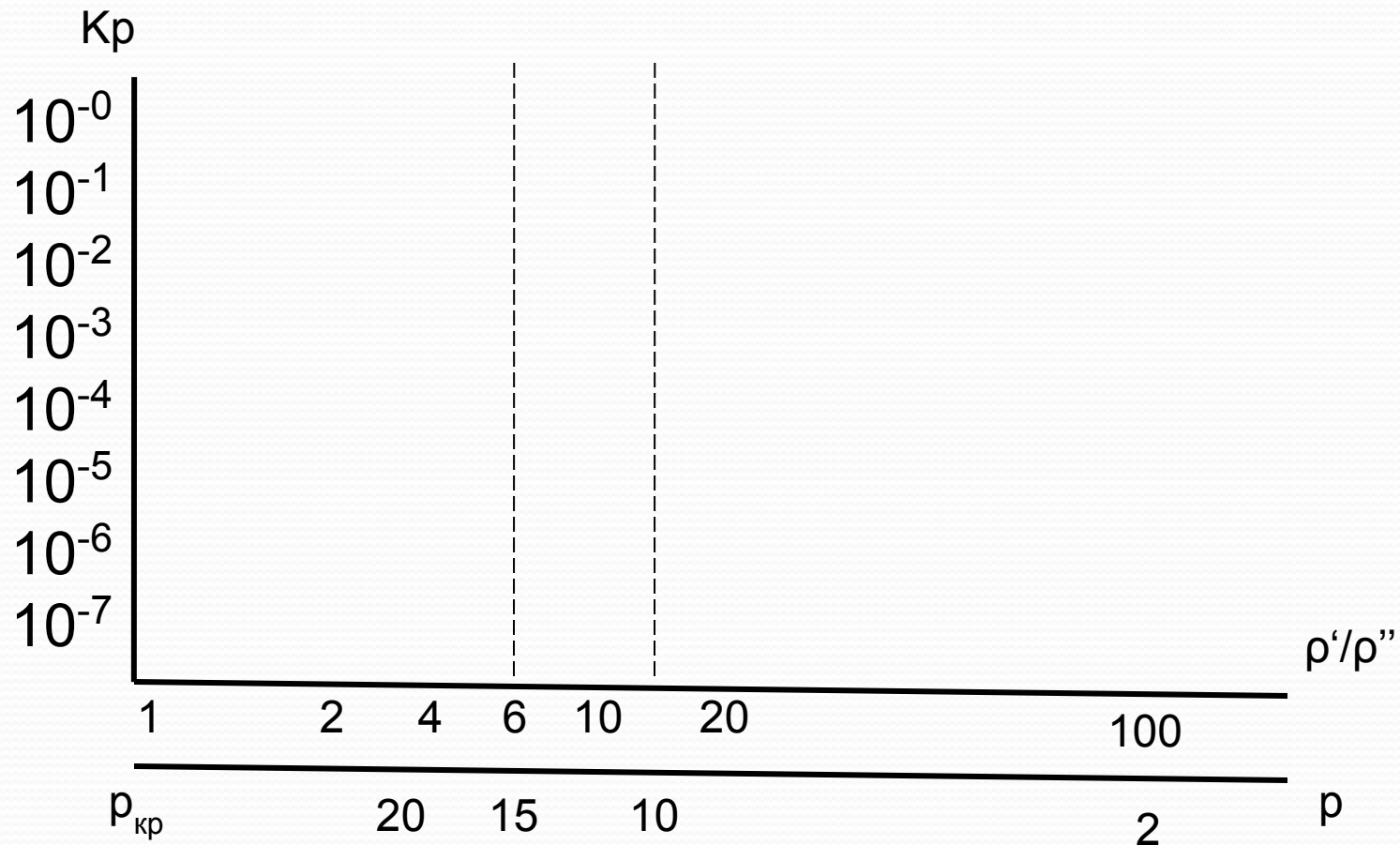
- Определяется коэффициентом распределения
- Физический смысл  $K_p$  – сколько максимально возможно перевести того или иного вида примеси из жидкости в пар
- $K_p = f(T, p, pH, \text{состава раствора, свойств примесей})$ .



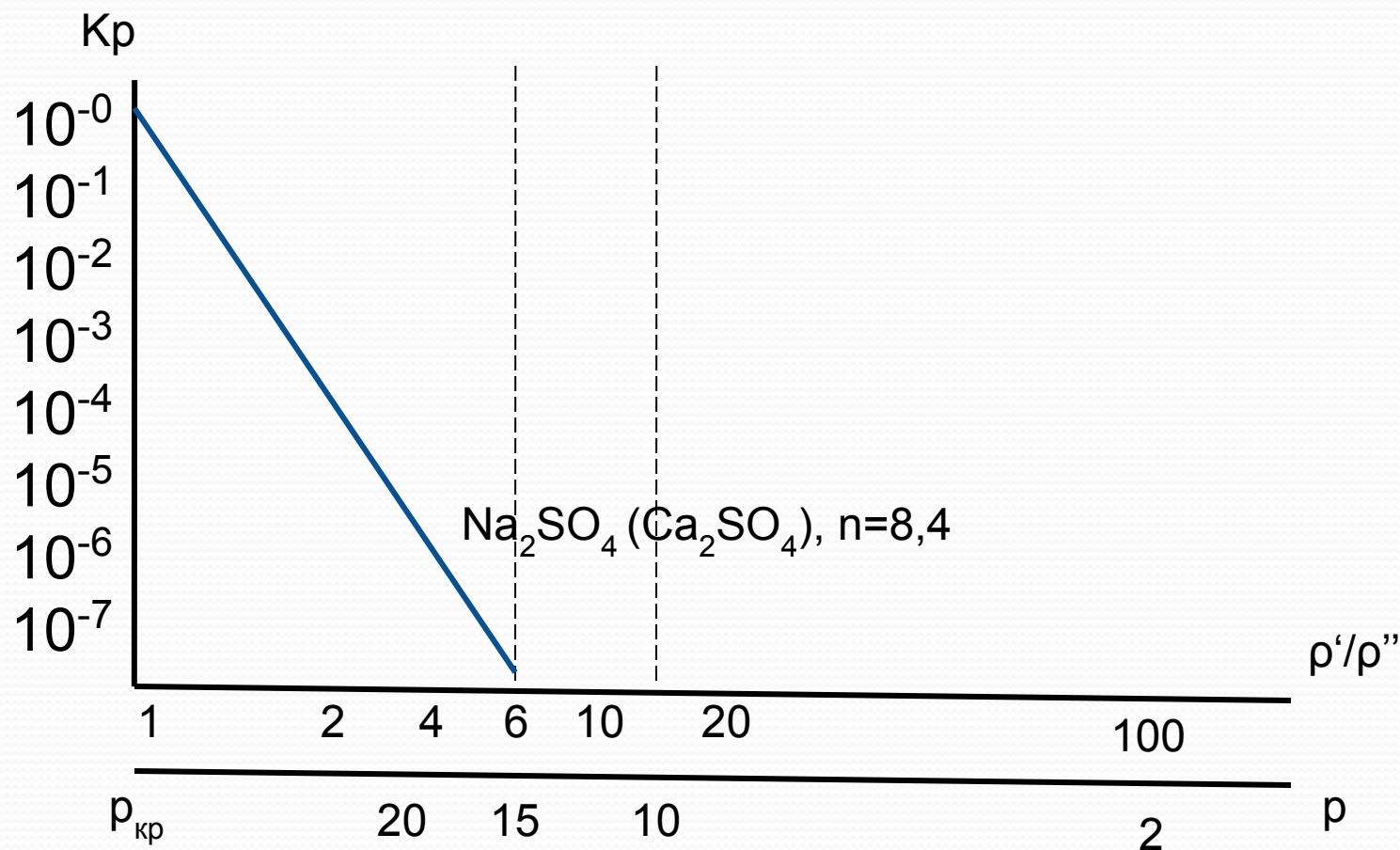
# Растворение примесей в паре

- Определяется коэффициентом распределения
- Физический смысл  $K_r$  – сколько максимально возможно перевести того или иного вида примеси из жидкости в пар
- $K_r = f(T, p, p_H, \text{состава раствора, свойств примесей})$ .
- $K_r = (\rho' / \rho'')^n$  Формула Стирковича

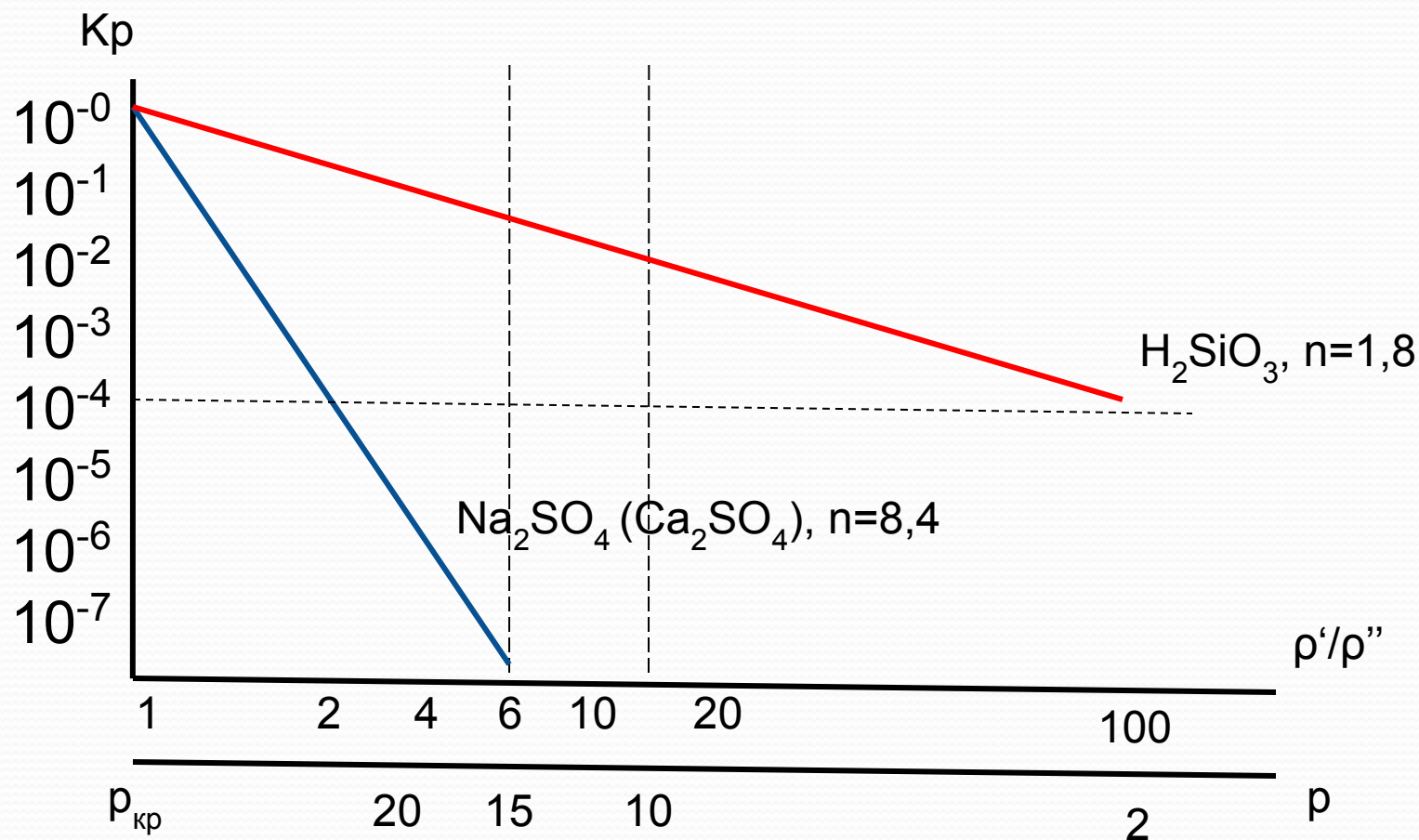
# Лучевая диаграмма



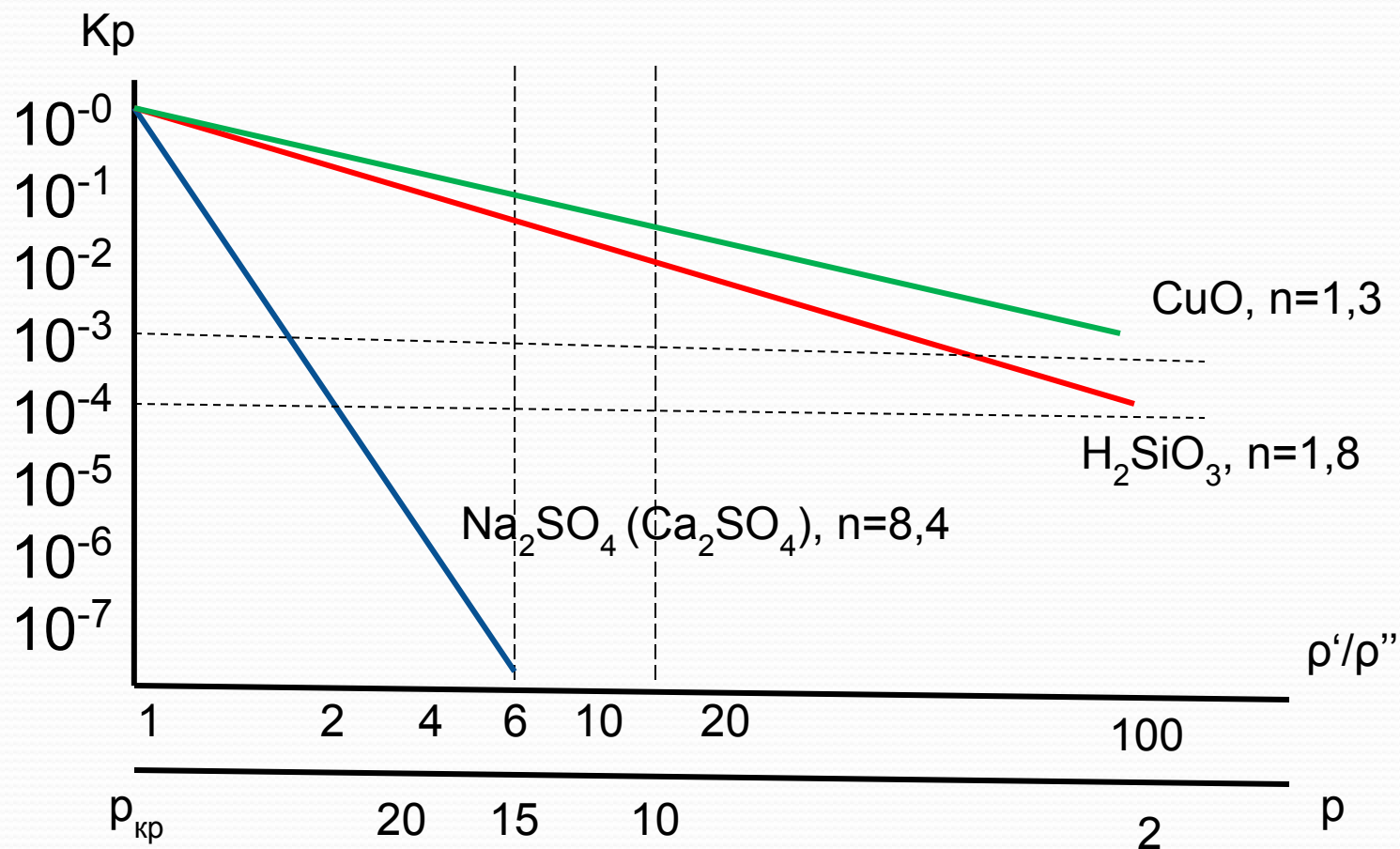
# Лучевая диаграмма



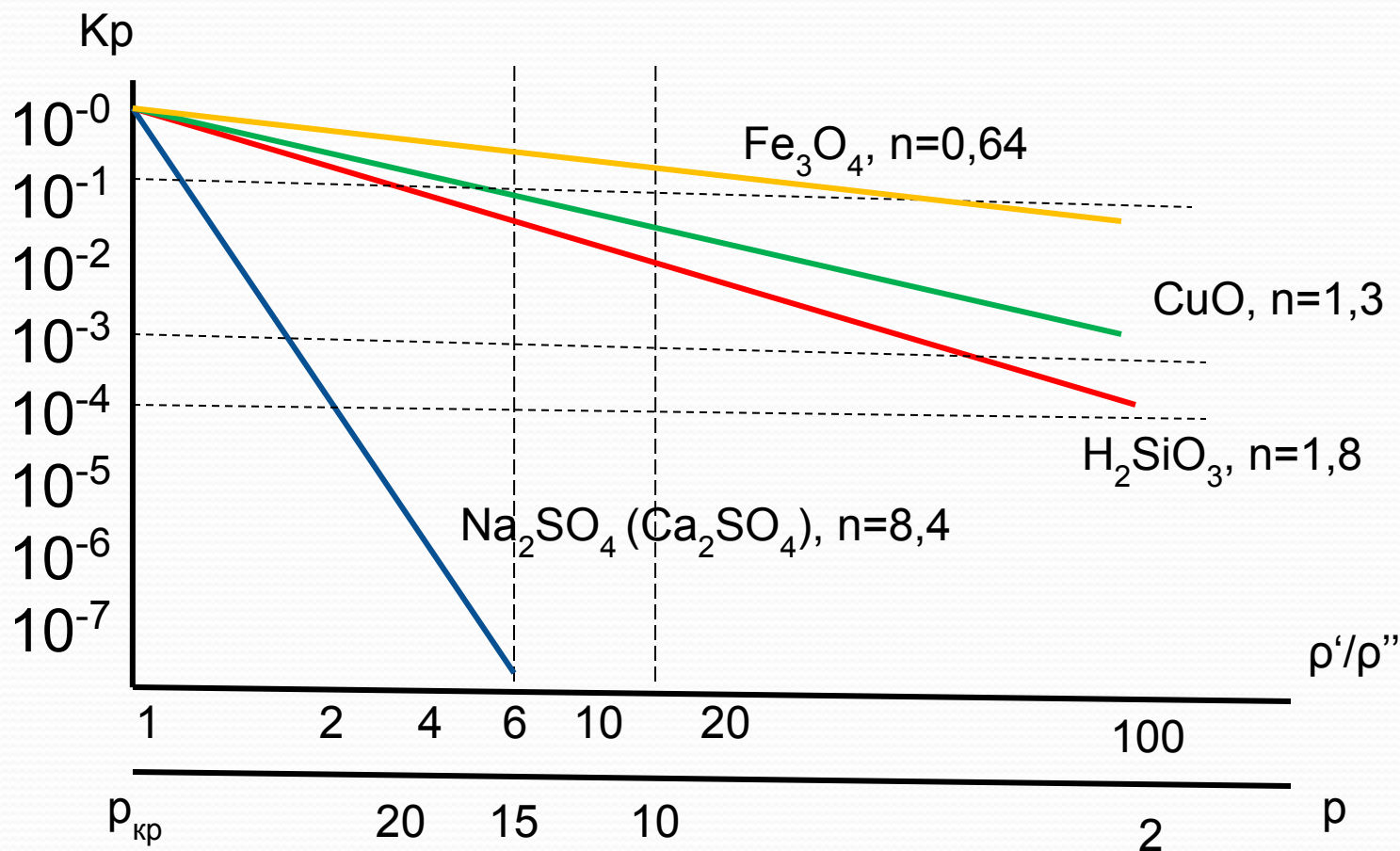
# Лучевая диаграмма



# Лучевая диаграмма

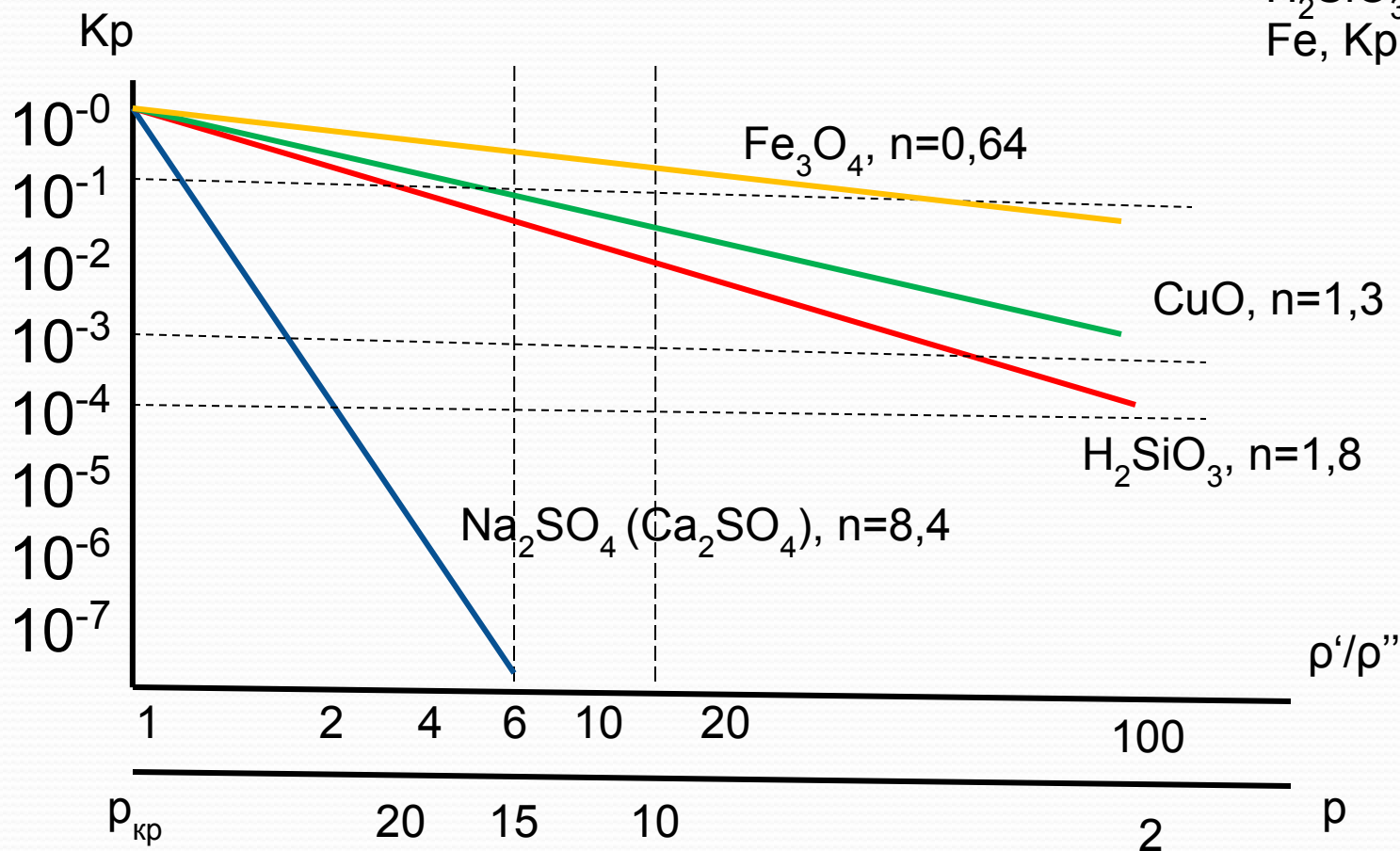


# Лучевая диаграмма

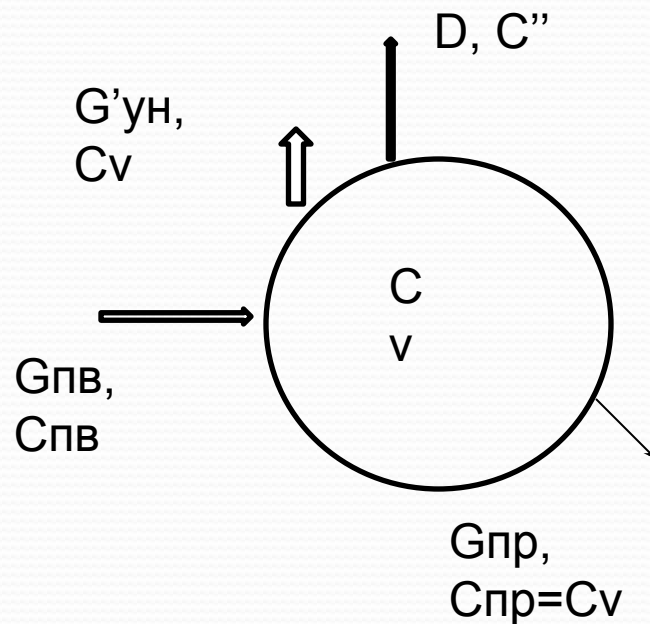


# Лучевая диаграмма

Na,  $K_p=0$   
 $H_2SiO_3$ ,  $K_p=0,035$   
Fe,  $K_p=0,15$



# Растворение примесей в паре

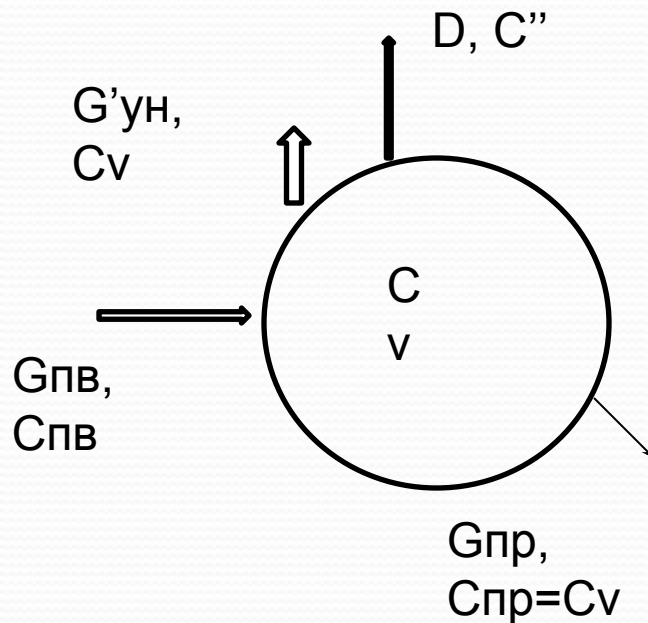


$$C_v = C_{пр} \frac{1 + P + \omega}{P + \omega + K_p}$$

Основные цифры:  
Fe,  $p=140$  ата,  $\omega=0,002$ ,  $K_p=0,15$



# Растворение примесей в паре



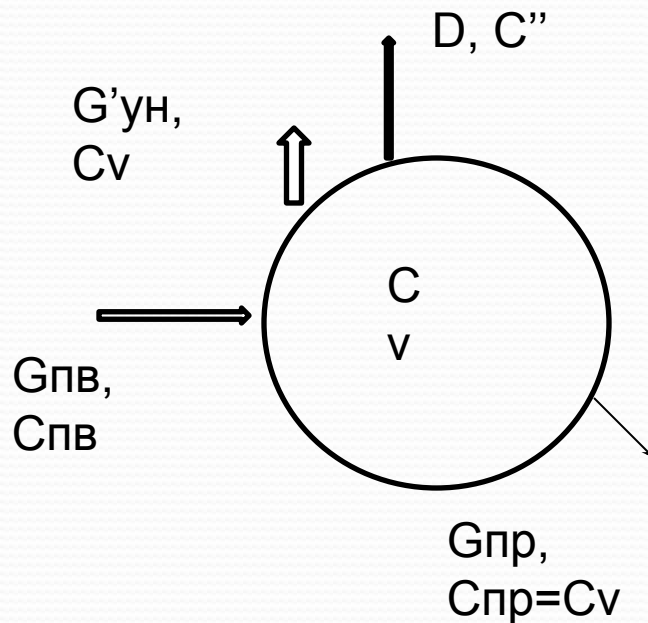
$$C_v = C_{пв} \frac{1 + P + \omega}{P + \omega + K_p}$$

Основные цифры:

Fe,  $p=140$  ата,  $\omega=0,002$ ,  $K_p=0,15$

Без уноса в влагой:  $C_v=101$

# Растворение примесей в паре



$$C_v = C_{пв} \frac{1 + P + \omega}{P + \omega + K_p}$$

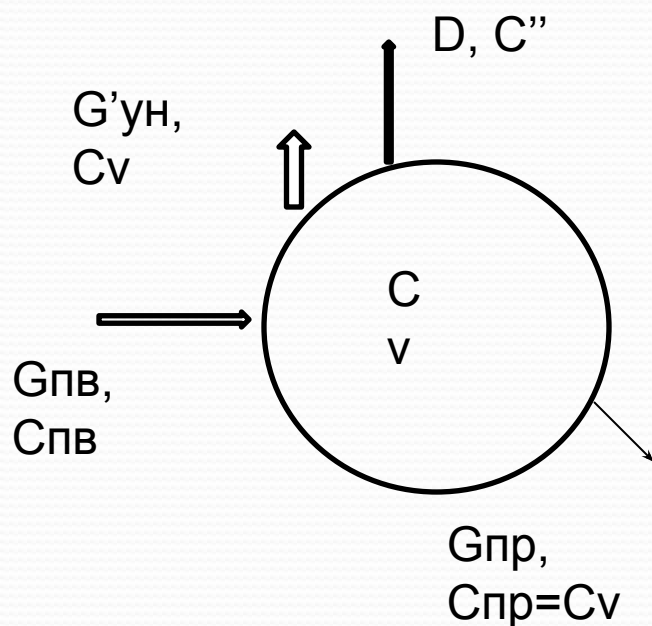
Основные цифры:

Fe,  $r=140$  ата,  $\omega=0,002$ ,  $K_p=0,15$

Без уноса в влагой:  $C_v=101$

С уносом с влагой:  $C_v=84$

# Растворение примесей в паре



$$C_v = C_{пв} \frac{1 + P + \omega}{P + \omega + K_p}$$

Основные цифры:

Fe,  $p=140$  ата,  $\omega=0,002$ ,  $K_p=0,15$

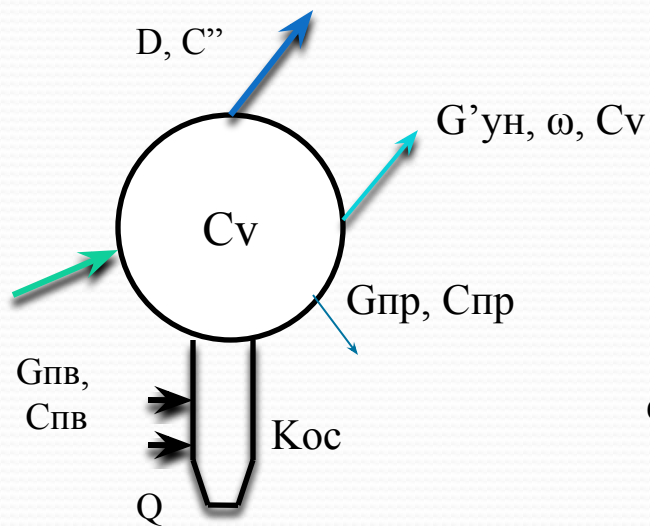
Без уноса в влагой:  $C_v=101$

С уносом с влагой:  $C_v=84$

С раств. в паре:  $C_v=6,25$

**ВАЖНО!!!**  $K_p$  – только в знаменателе,  
Т.к. нет выноса массы!!!

# ОДНОМЕРНАЯ РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ



Одноступенчатое испарение

$$S_v = S_{np} = S_{nb} \frac{1 + P + \omega}{P + \omega + K_p + K_{oc}}$$

$$\omega \gg P, K_p = 0, K_{oc} = 0$$

$$S_v = S_{ne} \frac{1 + \omega}{\omega}$$

$$K_p \gg P, K_p \gg \omega$$

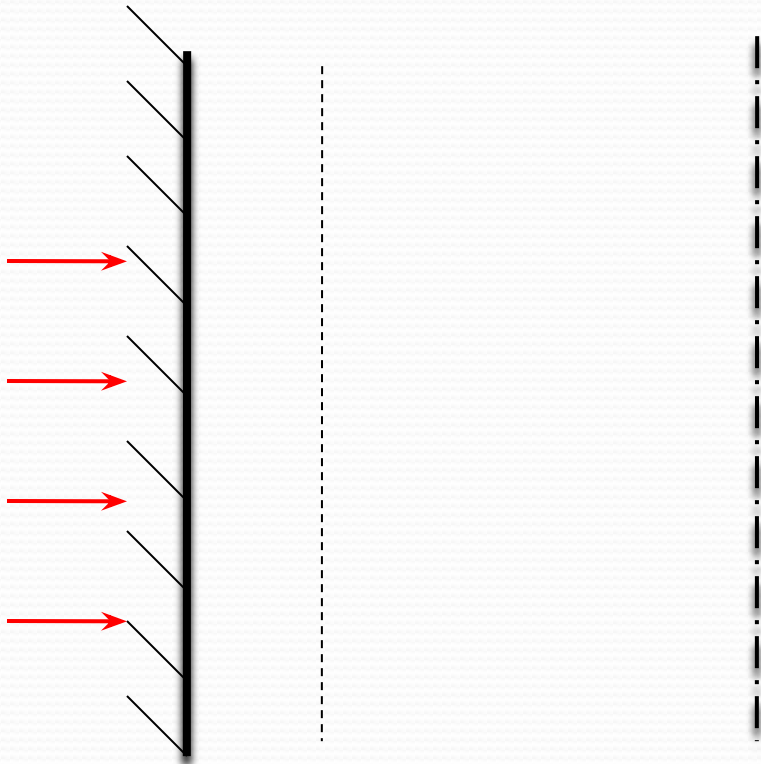
$$S_v = S_{ne} \frac{1}{K_p}$$

$$K_{oc} \gg P, K_{oc} \gg \omega$$

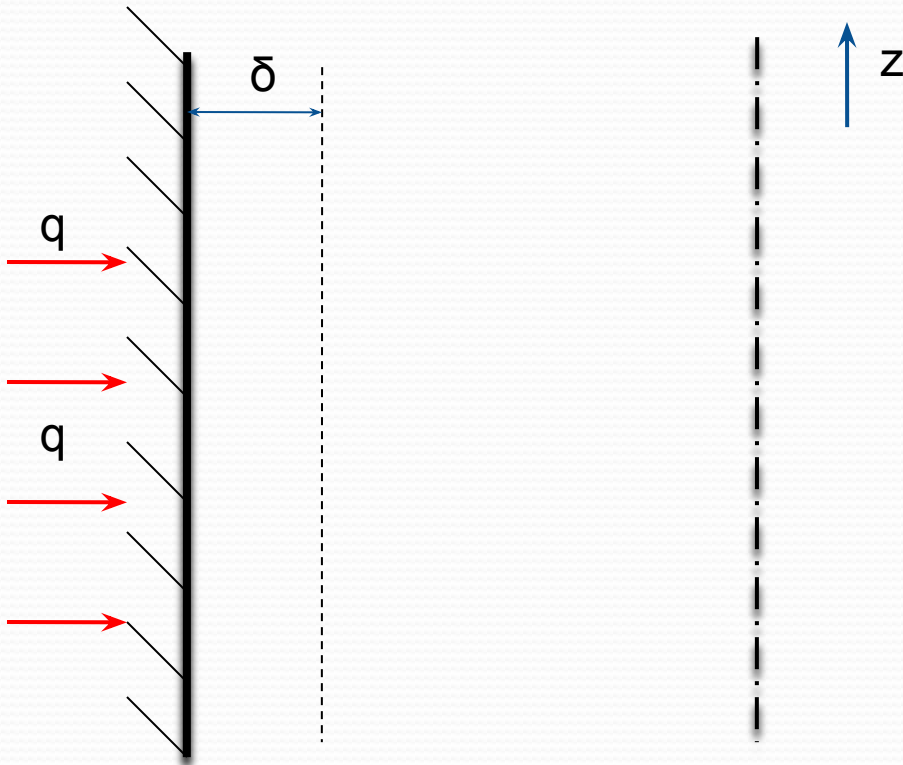
$$S_v = S_{ne} \frac{1}{K_{oc}}$$

# Микрораспределение примесей

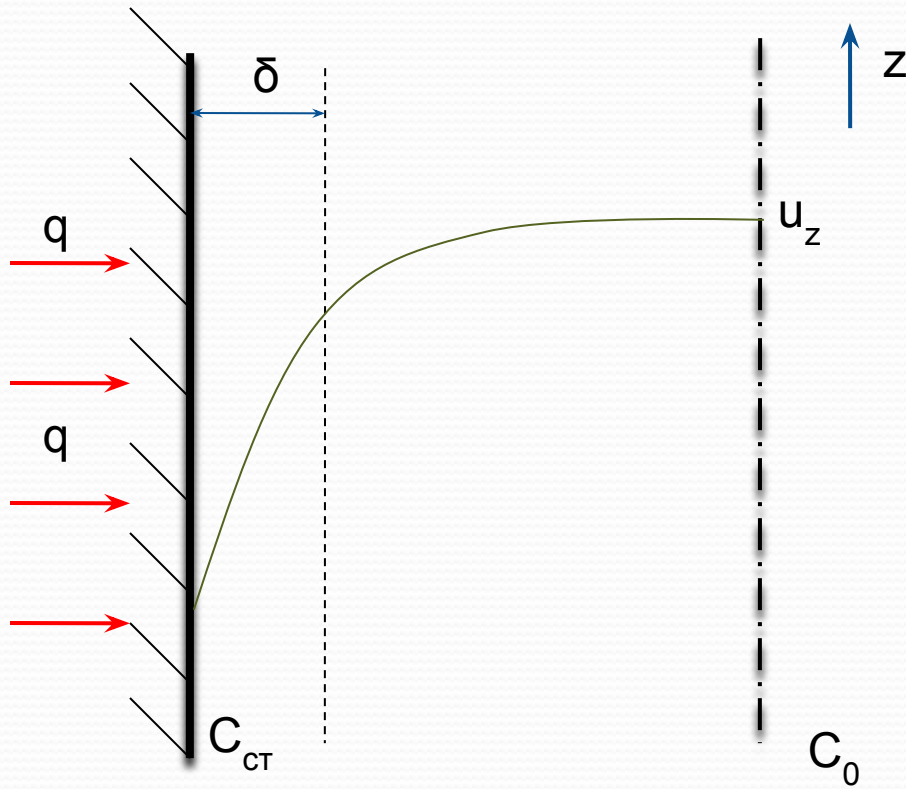
# Микрораспределение примесей



# Микрораспределение примесей

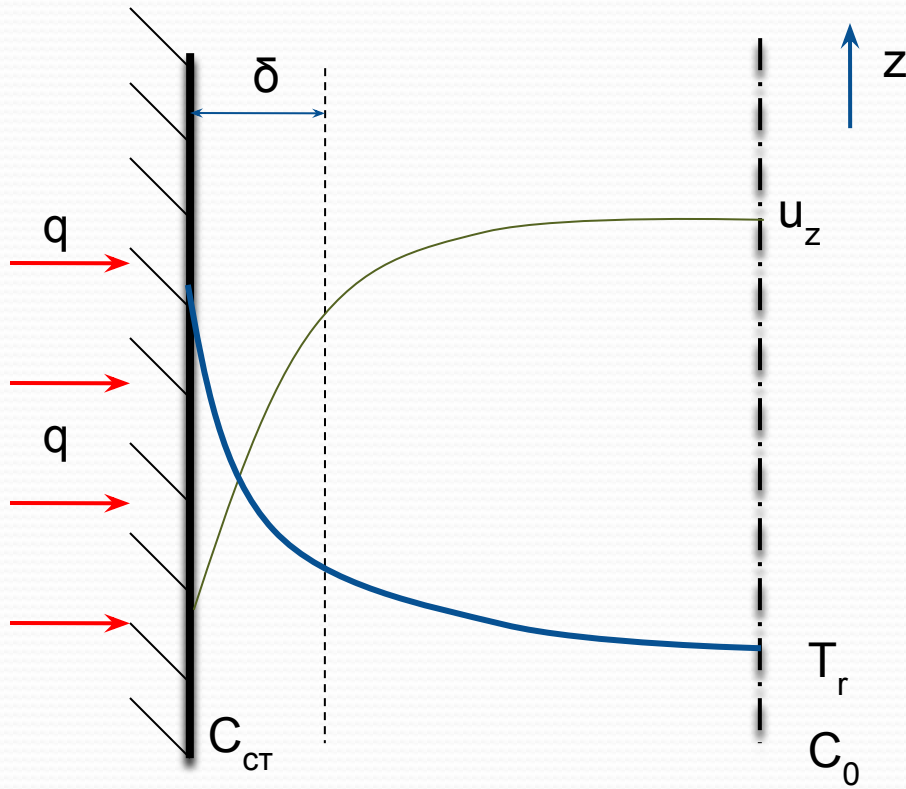


# Микрораспределение примесей

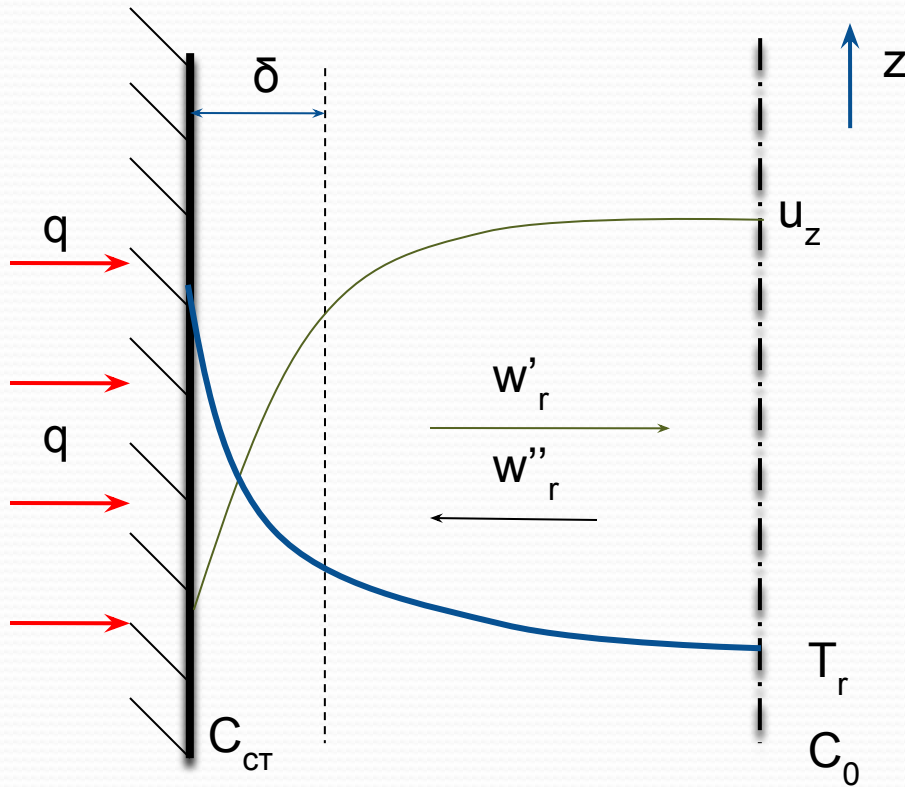




# Микрораспределение примесей



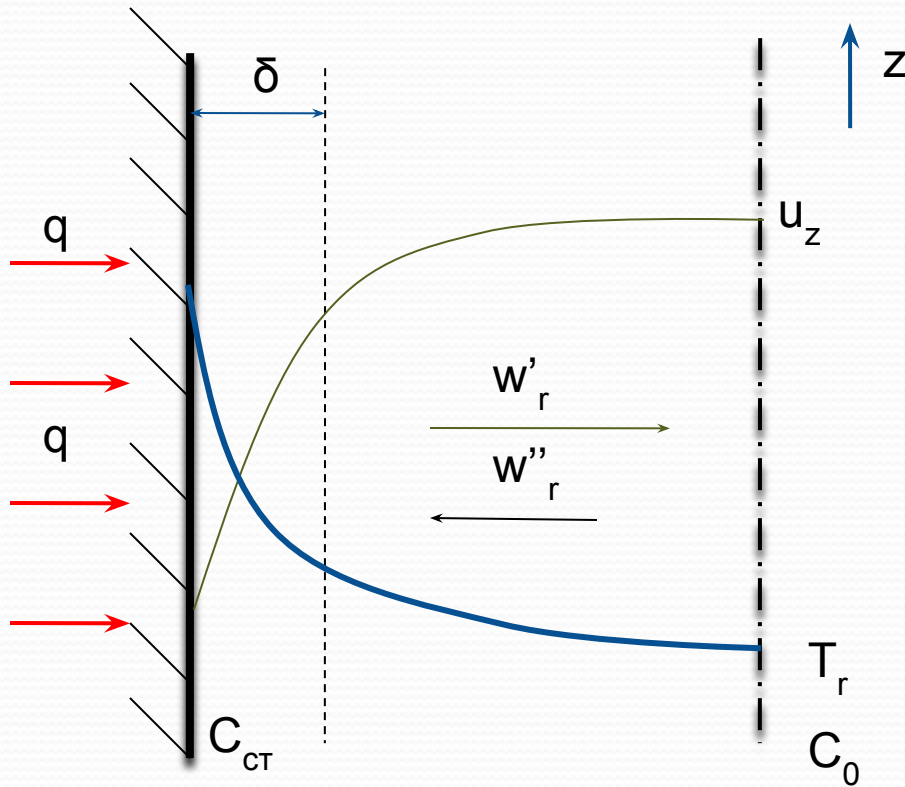
# Микрораспределение примесей



Уравнение диффузии

$$j = -D \frac{d\rho}{dr} = -\frac{D}{\delta} (C_{ст} - C_0)$$

# Микрораспределение примесей



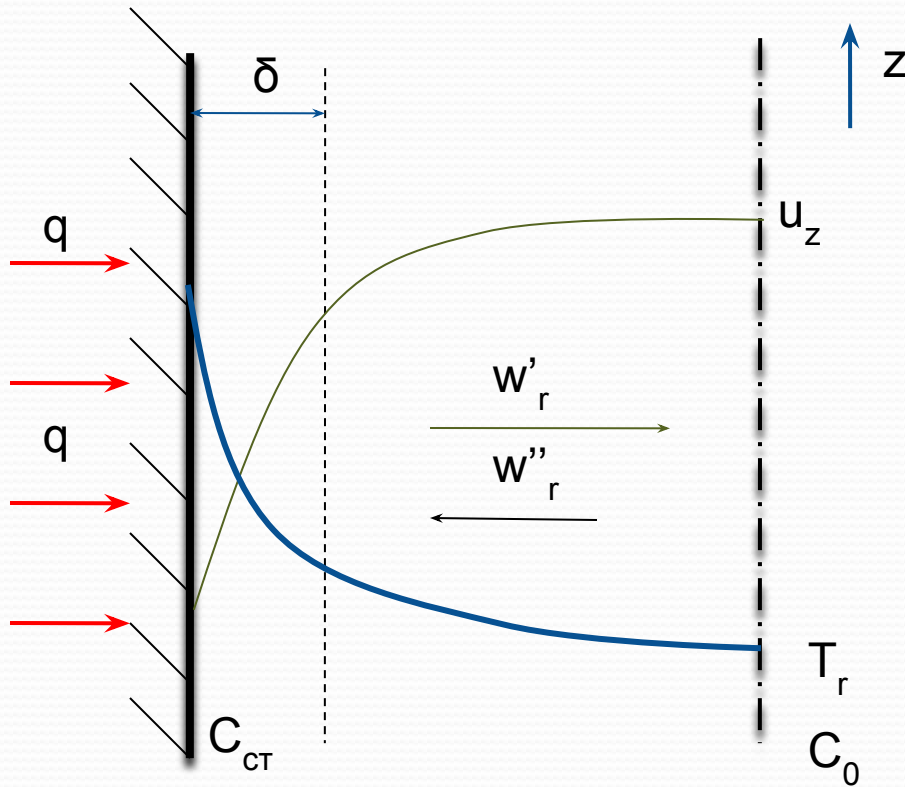
Уравнение диффузии

$$j = -D \frac{d\rho}{dr} = -\frac{D}{\delta} (C_{ст} - C_0)$$

Уравнение массопереноса

$$w'_r = \frac{q}{r\rho'} \quad w''_r = \frac{q}{r\rho''}$$

# Микрораспределение примесей



Уравнение диффузии

$$j = -D \frac{d\rho}{dr} = -\frac{D}{\delta} (C_{ст} - C_0)$$

Уравнение массопереноса

$$w'_r = \frac{q}{r\rho'} \quad w''_r = \frac{q}{r\rho''}$$

Солевой баланс

$$\rho' w'_r C_0 = \frac{D}{\delta} (C_{ст} - C_0) + \rho' w''_r C_{ст} K_p$$

# Коэффициент концентрирования

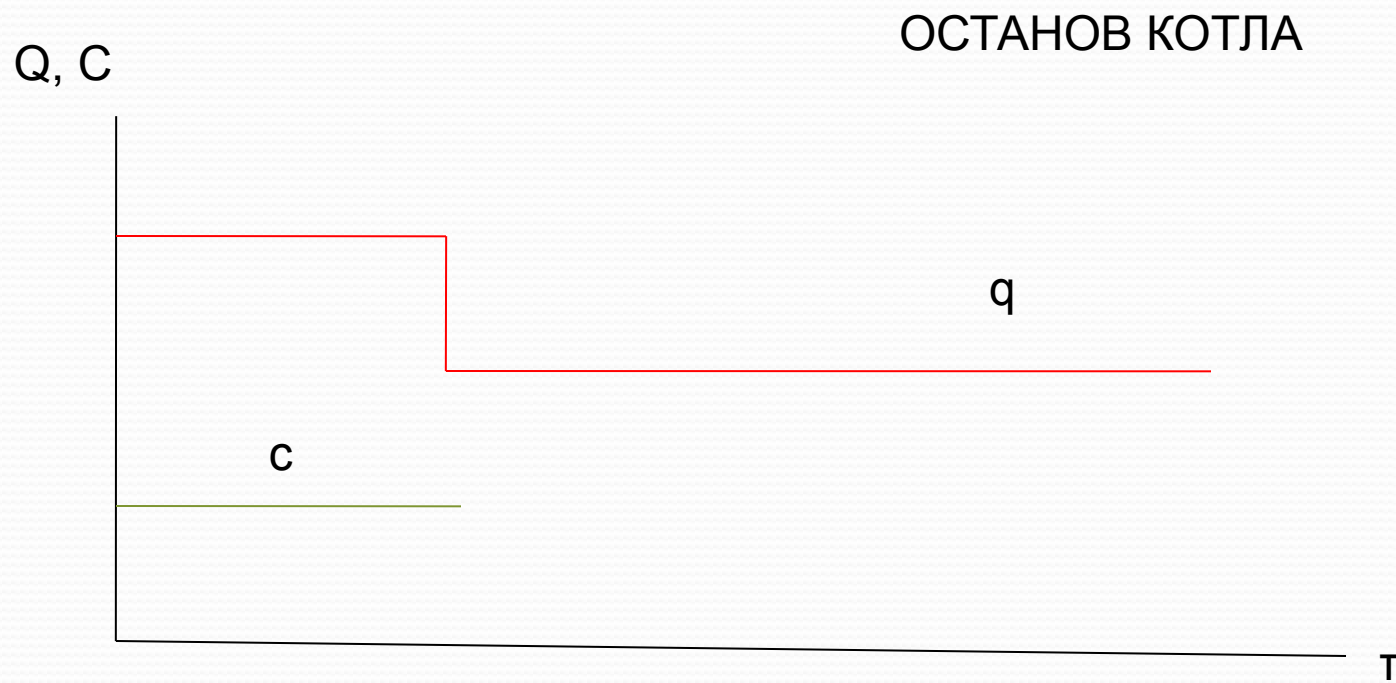
Физический смысл:

Отношение концентрации примесей у стенки  
(в вязком подслое) к концентрации на оси потока.

Решение трех уравнений (диффузии, количества движения  
и солевого баланса) дают окончательное соотношение:

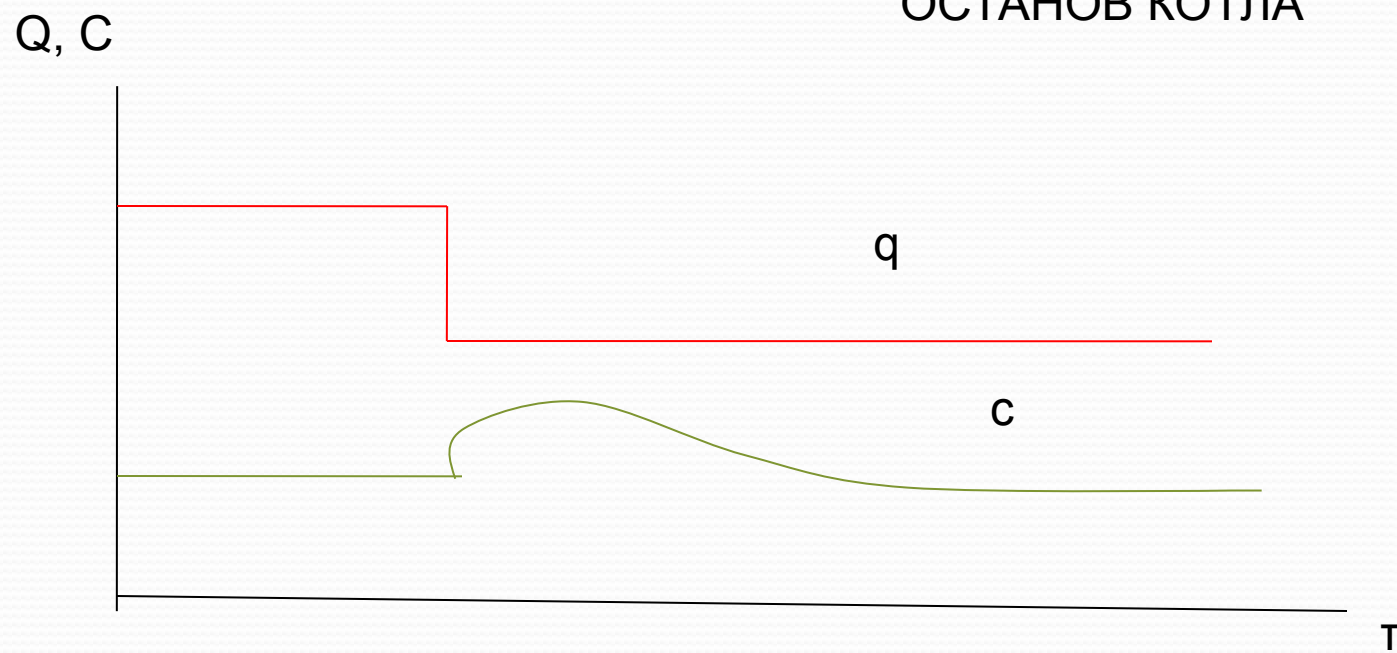
$$K_k = \frac{C_{ст}}{C_0} = \frac{1 + \frac{q\delta}{r\rho'D}}{1 + \frac{q\delta K_p}{r\rho''D}}$$

# HIDE OUT

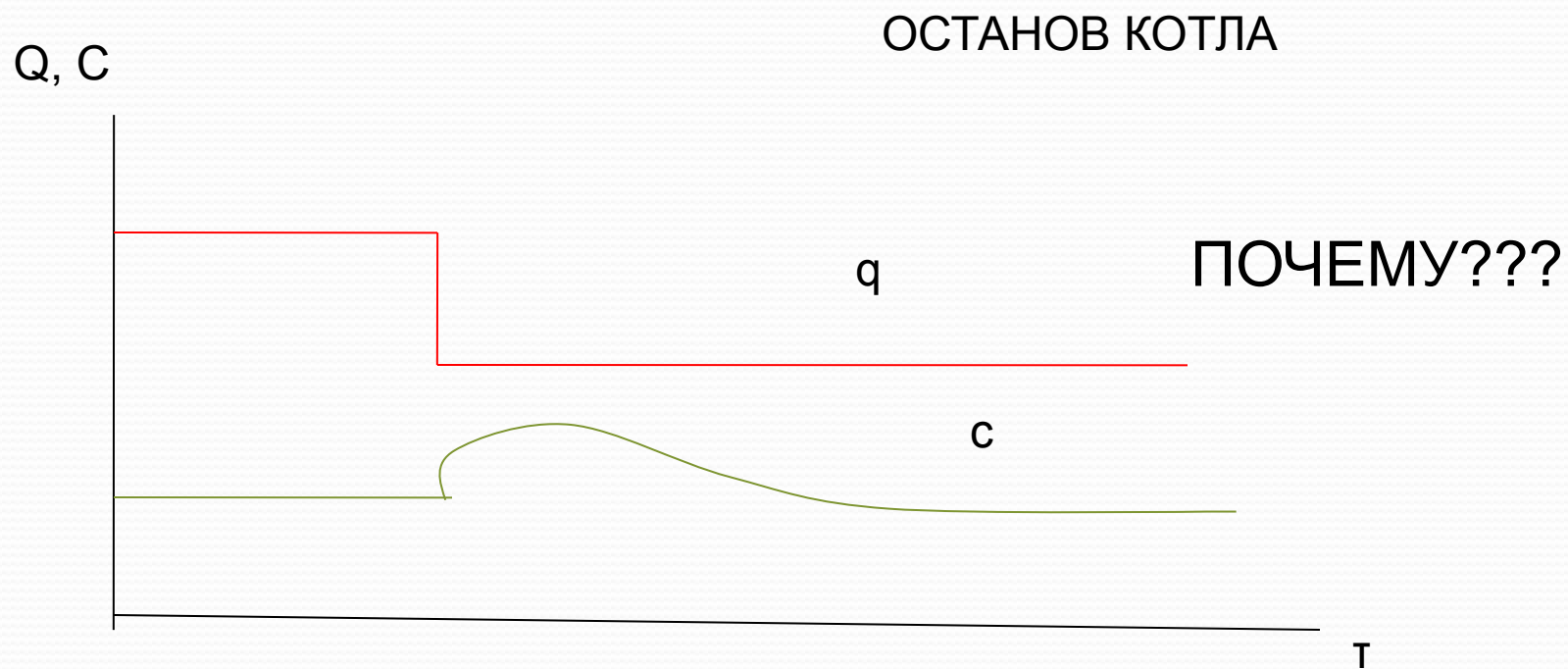


# HIDE OUT

ОСТАНОВ КОТЛА

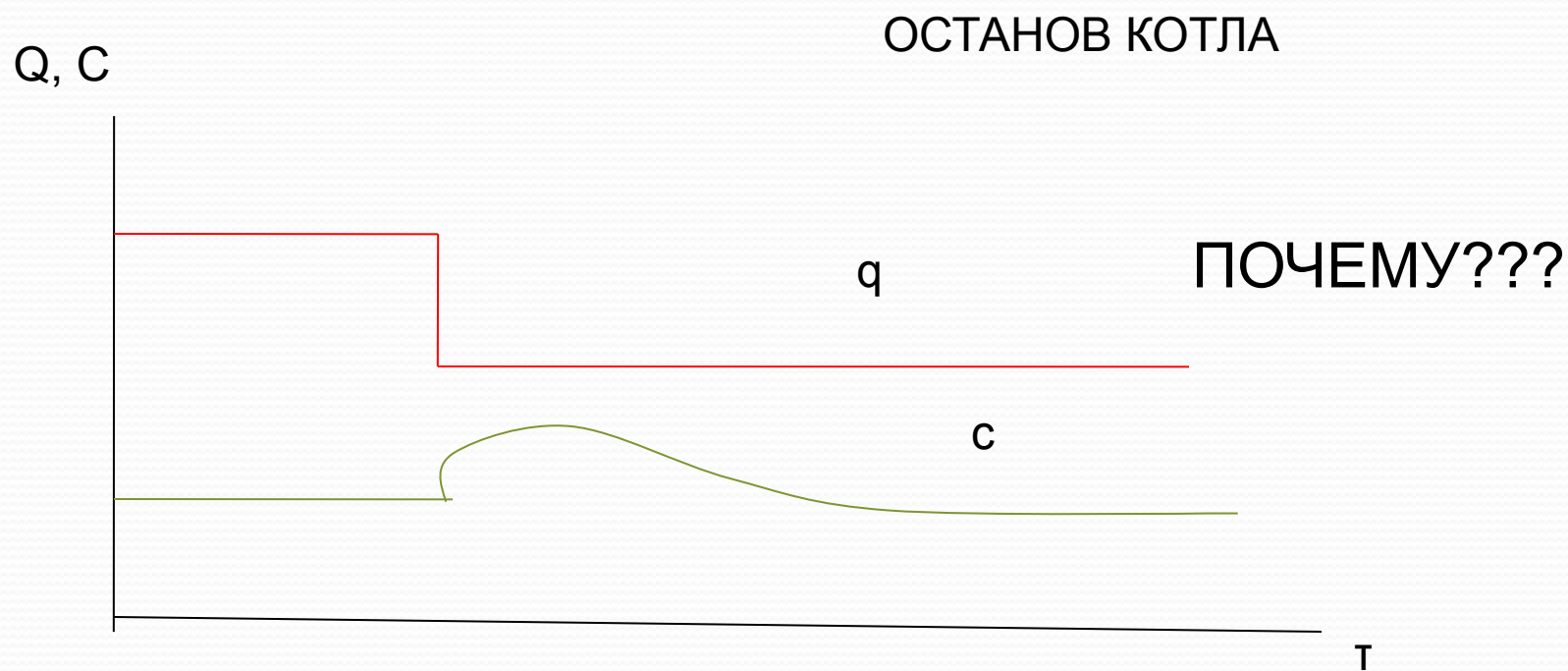


# HIDE OUT



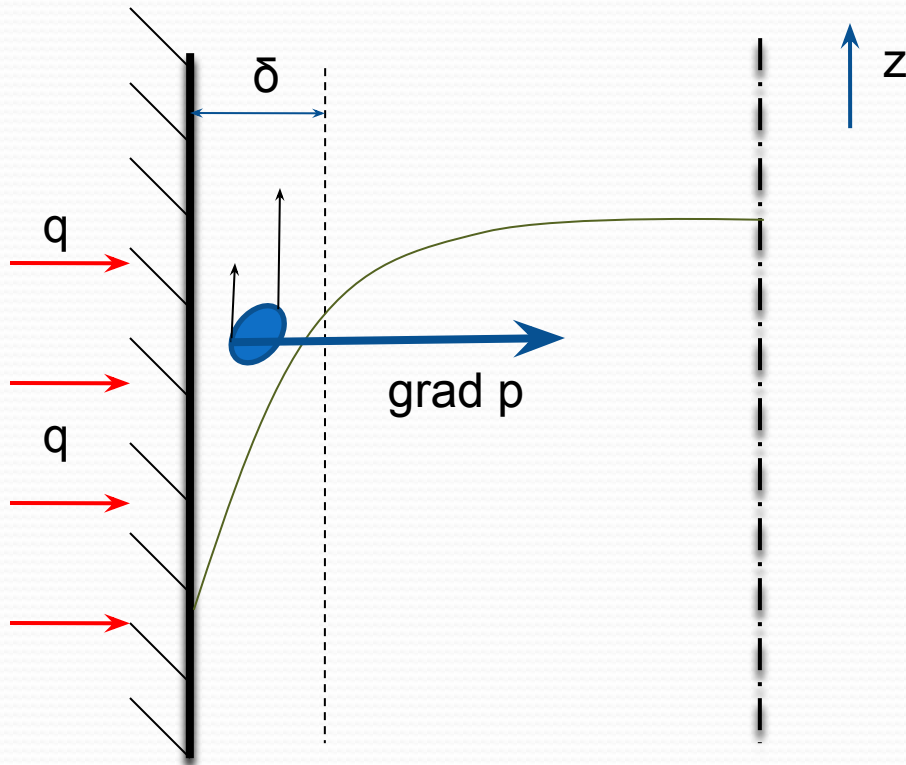


# HIDE OUT

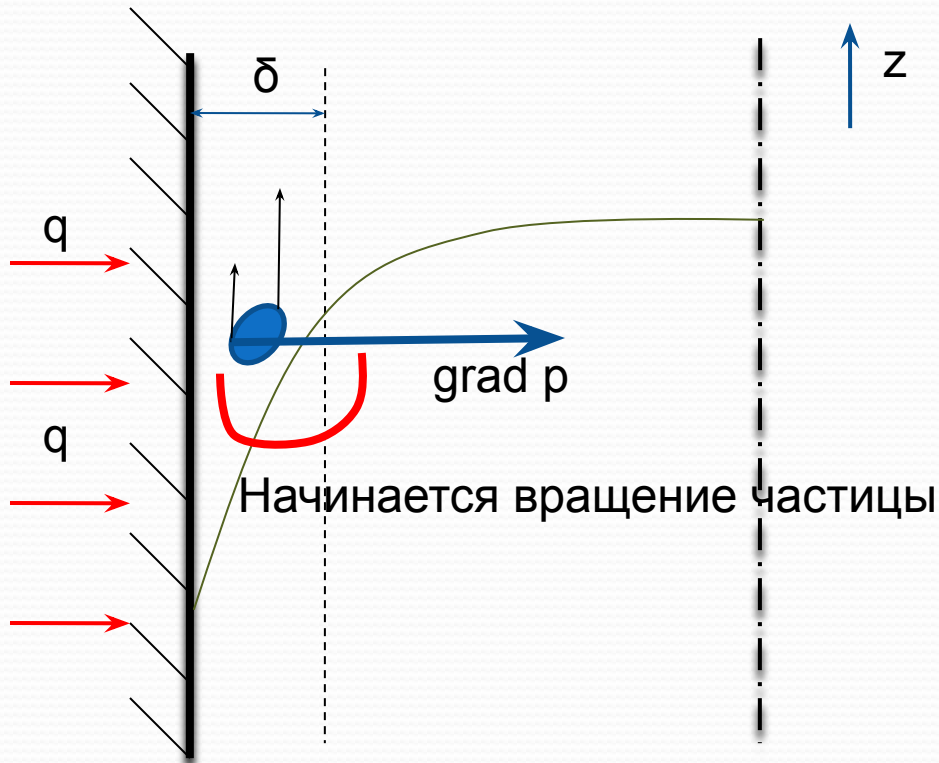


$w'_r$  несет не только растворенные примеси, но твердые частички

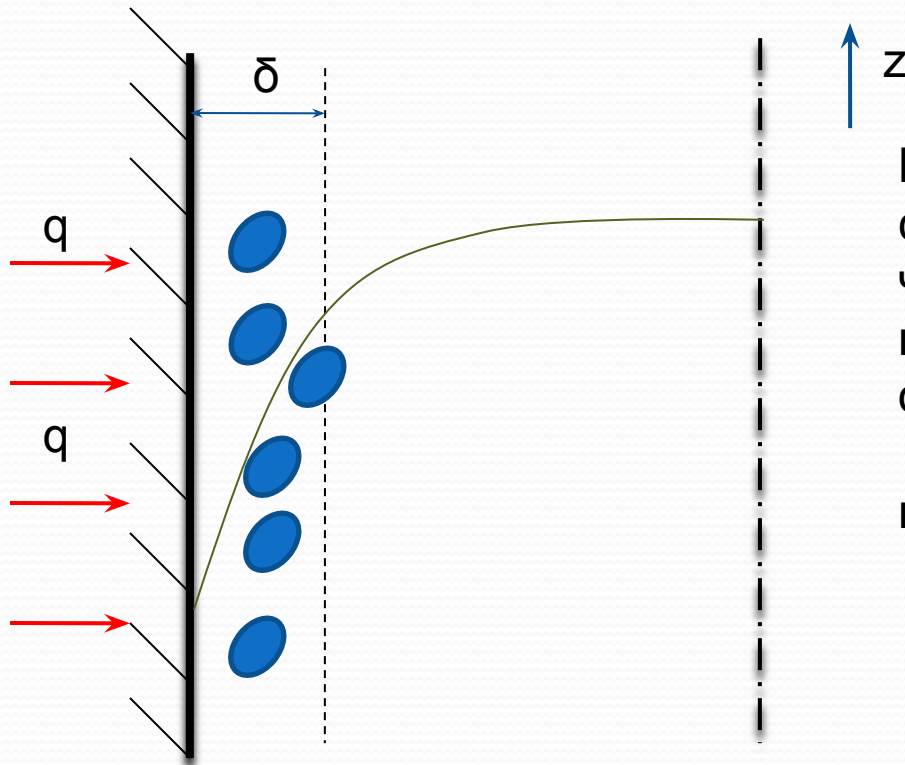
# Микрораспределение примесей



# Микрораспределение примесей



# Микрораспределение примесей



В вязком подслое наблюдается синхронное вращение частиц. При изменении нагрузки изменяется величина градиента осевого давления, что влечет за собой либо резкое выпадение примесей на стенку, либо вынос на ось потока с дальнейшим осаждением в барабане в виде шлама

Спасибо за внимание

