

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

---

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики  
КАФЕДРА КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК  
И ЭКОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИКИ

**ТИПОВОЙ РАСЧЕТ №3**

по курсу

«Воднохимические режимы энергоблоков»

«Расчёт балансов примеси рабочей среды барабанных паровых котлов»

Котлоагрегат: Е – 420 – 13,8 – 545 КТ

Студент:

Группа:

Преподаватель: к.т.н., доц. Самойлов Ю.Ф.

**Исходные данные:**

Концентрация примеси в насыщенном паре (табл.1.2):  $C_{пн} = 15 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$

Концентрация примеси в питательной воде:  $C_{пв} = 120 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$

Из типового расчёта №2:

Давление в барабане:  $P_б = 15.9 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Плотность сред в барабане:  $\rho^* = 106.3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$\rho' = 586.9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Влажность пара:  $\omega = 0.00378 \text{ \%}$

**1. Определение величины продувки котла с одноступенчатой схемой испарения для заданного количества питательной воды и нормируемого качества насыщенного пара.**

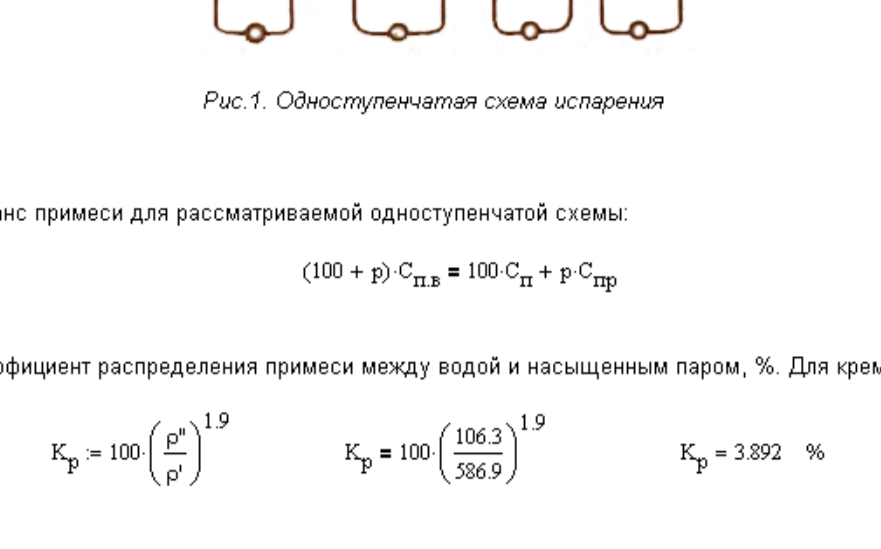


Рис.1. Одноступенчатая схема испарения

Баланс примеси для рассматриваемой одноступенчатой схемы:

$$(100 + p) \cdot C_{пв} = 100 \cdot C_{пн} + p \cdot C_{пр}$$

Коэффициент распределения примеси между водой и насыщенным паром, %. Для кремниевой кислоты:

$$K_p = 100 \cdot \left( \frac{\rho^*}{\rho'} \right)^{1.9} \quad K_p = 100 \cdot \left( \frac{106.3}{586.9} \right)^{1.9} \quad K_p = 3.892 \text{ \%}$$

Концентрация примеси в насыщенном паре:

$$100 \cdot C_{пн} = (\omega + K_p) \cdot C_{пр}$$

Относительная доля расхода продувочной воды (продувка котла):

$$p = \frac{100 \cdot \left( 1 - \frac{C_{пн}}{C_{пв}} \right)}{\frac{C_{пв}}{C_{пв}} - 100} \quad p = \frac{100 \cdot \left( 1 - \frac{15}{120} \right)}{\frac{15}{120} - 100} \quad p = 39.61 \text{ \%}$$

Концентрация примеси в продувочной и котловой воде:

$$C_{пр} = \frac{(100 + p) \cdot C_{пв}}{p + \omega + K_p} \quad C_{пр} = 385.1 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}} \quad C_{кв} = C_{пр} \quad C_{кв} = 385.1 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Отношение:  $\frac{C_{кв}}{C_{пв}} = 3.209$

Рекомендуемое значение продувки, при восполнении потерь химически очищенной водой (табл.1.5):

не более 3 %

Так как полученное значение продувки в результате расчёта  $p = 39.61 \text{ \%}$  намного больше допустимой величины продувки 3%, делаем вывод, о невозможности использования рассчитанной схемы на котлах.

Вероятность образования отложений в котлах и турбинах очень большая.

**2. Определение оптимальной паропроизводительности ступеней испарения и качества пара для двухступенчатой схемы, для заданного качества питательной воды и величины продувки при бесшламовом режиме работы котла.**

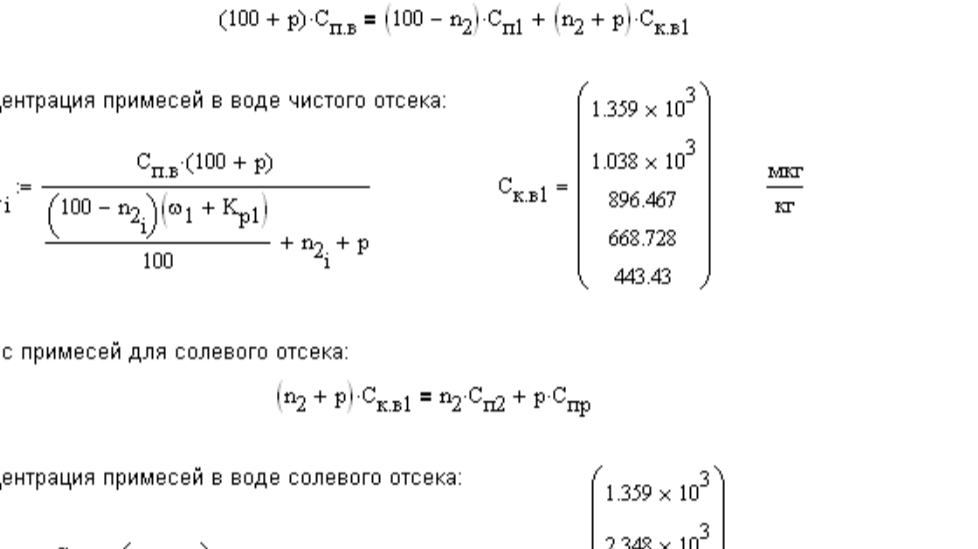


Рис.2. Двухступенчатая схема испарения

Исходные данные:

Величина продувки (табл.1.5):  $p = 2 \text{ \%}$

Коэффициент распределения (табл.1.7):  $K_p = 7 \text{ \%}$

Принимаю:  $K_{p1} = K_p \quad K_{p2} = K_p \quad \omega_1 = \omega \quad \omega_2 = \omega$

Заданю пять значениями относительной паропроизводительности второй ступени испарения:

$$n_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 3 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \end{pmatrix} \% \quad i = 0.4$$

Баланс примесей в 1-м ("чистом") отсеке:

$$(100 + p) \cdot C_{пв} = (100 - n_2) \cdot C_{п1} + (n_2 + p) \cdot C_{кв1}$$

Концентрация примесей в воде чистого отсека:

$$C_{кв1} = \frac{C_{пв} \cdot (100 + p)}{\frac{(100 - n_2) \cdot (\omega_1 + K_{p1})}{100} + n_2 + p} \quad C_{кв1} = \begin{pmatrix} 1.359 \times 10^3 \\ 1.038 \times 10^3 \\ 896.467 \\ 668.728 \\ 443.43 \end{pmatrix} \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Баланс примесей для солевого отсека:

$$(n_2 + p) \cdot C_{кв1} = n_2 \cdot C_{п2} + p \cdot C_{пр}$$

Концентрация примесей в воде солевого отсека:

$$C_{кв2} = \frac{C_{кв1} \cdot (n_2 + p)}{\frac{n_2 \cdot (\omega_2 + K_{p2})}{100} + p} \quad C_{кв2} = \begin{pmatrix} 1.359 \times 10^3 \\ 2.348 \times 10^3 \\ 2.67 \times 10^3 \\ 2.972 \times 10^3 \\ 2.869 \times 10^3 \end{pmatrix} \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Соотношения

$$\frac{C_{кв2}}{C_{кв1}} = \begin{pmatrix} 11.329 \\ 19.566 \\ 22.251 \\ 24.764 \\ 23.905 \end{pmatrix}$$

1
2.262
2.978
4.444
6.469

Количество примесей в паре первого отсека:

$$C_{п1} = \frac{(\omega_1 + K_{p1}) \cdot C_{кв1}}{100} \quad C_{п1} = \begin{pmatrix} 95.211 \\ 72.688 \\ 62.787 \\ 46.836 \\ 31.057 \end{pmatrix} \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

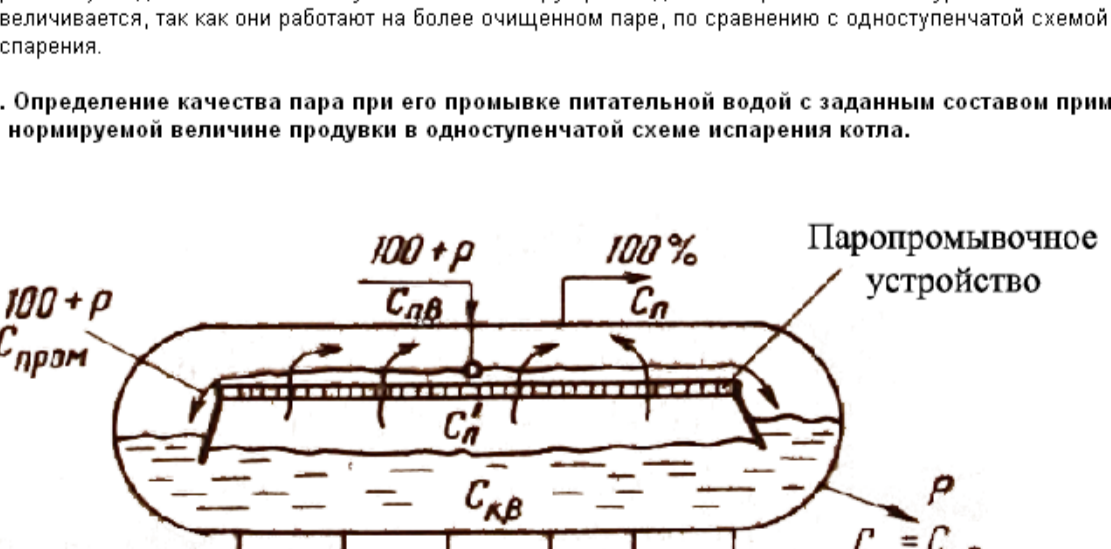
Количество примесей в паре второго отсека:

$$C_{п2} = \frac{(\omega_2 + K_{p2}) \cdot C_{кв2}}{100} \quad C_{п2} = \begin{pmatrix} 95.211 \\ 164.445 \\ 187.009 \\ 208.132 \\ 200.911 \end{pmatrix} \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Количество примесей в паре после смешения потоков из чистого и солевого отсеков:

$$C_{п} = 0.01 \cdot \left[ (100 - n_2) \cdot C_{п1} + n_2 \cdot C_{п2} \right] \quad C_{п} = \begin{pmatrix} 95.2 \\ 75.4 \\ 69 \\ 63 \\ 65 \end{pmatrix} \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

График зависимости концентрации примесей в паре от относительной паропроизводительности 2-го отсека

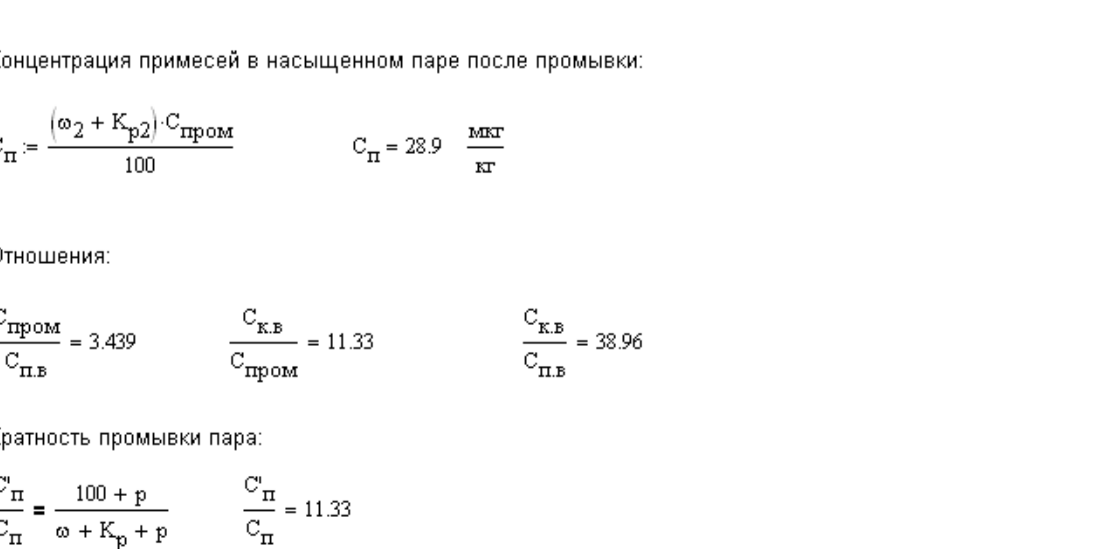


Более точное построение графика:  $i = 0.20 \quad n_{2i} = i$

$$C_{кв1} = \frac{C_{пв} \cdot (100 + p)}{\frac{(100 - n_2) \cdot (\omega_1 + K_{p1})}{100} + n_2 + p} \quad C_{кв2} = \frac{C_{кв1} \cdot (n_2 + p)}{\frac{n_2 \cdot (\omega_2 + K_{p2})}{100} + p}$$

$$C_{п1} = \frac{(\omega_1 + K_{p1}) \cdot C_{кв1}}{100} \quad C_{п2} = \frac{(\omega_2 + K_{p2}) \cdot C_{кв2}}{100} \quad C_{п} = 0.01 \cdot \left[ (100 - n_2) \cdot C_{п1} + n_2 \cdot C_{п2} \right]$$

График зависимости концентрации примесей в паре от относительной паропроизводительности 2-го отсека



Оптимальное значение относительной паропроизводительности 2-го отсека, при котором концентрация примеси в паре будет минимальна:

$$n_{2\_опт} = 12 \text{ \%}$$

Для оптимального значения паропроизводительности 2-го отсека:  $C_{п12} = 62.56 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$

Норма качества насыщенного пара (табл.1.2) составляет не более  $15 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$

Следовательно, полученное при расчёте содержание примесей в паре не удовлетворяет нормам.

Выводы:

Преимущества двухступенчатой схемы в том, что удаётся получить более чистый пар (меньшее содержание примесей). Недостатком является усложнение конструкции. Надёжность работы котла и турбины увеличивается, так как они работают на более очищенном паре, по сравнению с одноступенчатой схемой испарения.

**3. Определение величины продувки пара при его промывке питательной водой с заданным составом примеси и нормируемой величине продувки в одноступенчатой схеме испарения котла.**



Рис.3 Одноступенчатая схема испарения с промывкой пара

Баланс примесей в воде промывочного устройства:

$$(100 + p) \cdot C_{пв} + 100 \cdot C_{п} = 100 \cdot C_{пн} + (100 + p) \cdot C_{пром}$$

Количество примесей в промывочной воде:

$$C_{пром} = \frac{C_{пв} \cdot (100 + p)}{\omega + K_p + 100 + p - \frac{(\omega + K_p) \cdot (100 + p)}{\omega + K_p + p}} \quad C_{пром} = 412.7 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Количество примесей в котловой воде:

$$C_{кв} = C_{пром} \cdot \frac{100 + p}{p + \omega + K_p} \quad C_{кв} = 4.675 \times 10^3 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Концентрация примесей в насыщенном паре до промывки:

$$C_{пн} = \frac{(\omega_1 + K_{p1}) \cdot C_{кв}}{100} \quad C_{пн} = 327.4 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Концентрация примесей в насыщенном паре после промывки:

$$C_{п} = \frac{(\omega_2 + K_{p2}) \cdot C_{пром}}{100} \quad C_{п} = 28.9 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$$

Отношения:

$$\frac{C_{пром}}{C_{пв}} = 3.439 \quad \frac{C_{кв}}{C_{пром}} = 11.33 \quad \frac{C_{кв}}{C_{пв}} = 38.96$$

Кратность промывки пара:

$$\frac{C_{п}}{C_{пн}} = \frac{100 + p}{\omega + K_p + p} \quad \frac{C_{п}}{C_{пн}} = 11.33$$

Выводы:

По сравнению с предыдущими расчётами, значение  $C_{кв}$  сильно увеличилось, значение  $C_{п} = 28.9 \frac{\text{мкг}}{\text{кг}}$

уменьшилось, но всё равно не достигло норм ПТЭ (15 мкг/кг). Из всех вышеприведённых расчётов, последний режим наиболее эффективный по значению содержания примесей во влажном паре. Но так как значение примесей во влажном паре больше, чем регламентируется ПТЭ, то надёжность работы котла и турбины будет под угрозой. Допускать к работе котёл с полученным содержанием примесей нельзя.