

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики
КАФЕДРА КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
И ЭКОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИКИ

ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

по курсу

«Воднохимические режимы энергоблоков»

«Расчёт сепарации влаги из потока насыщенного пара в барабанных паровых котлах»

Котлоагрегат: Е – 420 – 13,8 – 545 КТ

Студент:

Группа:

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

Содержание

1. Исходные данные.....	3
2. Расчёты сепарации влаги в паровом объёме (гравитационная сепарация).....	3
3. Расчёт конструкции погружённого дырчатого листа.....	4
4. Расчёт жалюзийного сепаратора (инерционная сепарация).....	6
5. Расчёт сепарации в циклонах (центробежная сепарация).....	6
6. Выводы.....	7

Исходные данные:

Высота парового пространства (рис. 2.2а):	$H_{\text{п}} := 0.690 + 0.110$	$H_{\text{п}} = 0.8$	м
Давление в барабане (по типоразмеру энергетического парового котла Е-420-13,8-545КТ):	$P_6 := 15.9 \cdot 10^6$		Па
Температура воды в барабане (по типоразмеру парового котла Е-420-13,8-545КТ):		$T_6 := 346$	°С
Расход насыщенного пара (по типоразмеру котла Е-420-13,8-545КТ):	$D_{\text{нп}} := 420 \cdot \frac{1000}{3600}$	$D_{\text{нп}} = 116.7$	$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$
Длина дырчатого листа (методичка, п.1.2):	$l_{\text{р.ч}} := \frac{3000 + 30 \cdot D_{\text{нп}}}{1000}$	$l_{\text{р.ч}} = 6.5$	м
Ширина дырчатого листа (методичка, п.1.2):	$b_{\text{ш}} := \frac{1200}{1000}$	$b_{\text{ш}} = 1.2$	м

1. Расчёты сепарации влаги в паровом объёме (гравитационная сепарация)

Плотность насыщенного пара при давлении в барабане $P_6 := 15.9 \cdot 10^6$ Па

$$\rho'' := 106.3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Скорость пара при проходе его через зеркало испарения (учитываю что площадь зеркала составляет 20%):

$$w_{\text{п}} := \frac{D_{\text{нп}}}{\rho'' \cdot b_{\text{ш}} \cdot l_{\text{р.ч}} \cdot 0.2} \quad w_{\text{п}} = \frac{116.7}{106.3 \cdot 1.2 \cdot 6.5 \cdot 0.2} \quad w_{\text{п}} = 0.7035 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Концентрация примесей в котловой воде в барабане (методичка, стр.8): $C_{\text{кв}} := 16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$

Критическое солесодержание (табл.2.2): $C_{\text{кр}} := 200 \cdot 10^{-6} + \frac{(150 - 200) \cdot 10^{-6}}{(16 - 14) \cdot 10^6} \cdot (P_6 - 14 \cdot 10^6)$

$$C_{\text{кр}} = 1.525 \times 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Т.к. $C_{\text{кв}} = 1.6 \times 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{кг}} < C_{\text{кр}} = 1.525 \times 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, то превышение концентрации примеси котловой воды в барабане над критическим значением принимается:

$$A_{\text{кв}} := 1$$

Обобщённый коэффициент, учитывающий влияние физических параметров пара (табл.2.2):

$$C := 270 + \frac{500 - 270}{(16 - 14) \cdot 10^6} \cdot (P_6 - 14 \cdot 10^6) \quad C = 488.5$$

Количественная зависимость влажности пара в верхней части объёма от определяющих параметров:

$$\omega := \frac{C \cdot 10^{-2} \cdot w_{\text{п}}^{2.76} \cdot A_{\text{кв}}^3}{H_{\text{п}}^{2.3}} \quad \omega = \frac{488.5 \cdot 10^{-2} \cdot 0.7035^{2.76} \cdot 1^3}{0.8^{2.3}} \quad \omega = 3.092 \%$$

Так как полученная влажность $\omega = 3.0923 \%$ превышает рекомендуемые значения (табл.1.4) 0.02% , то делаю заключение о невозможности использования этой простой сепарационной схемы и о необходимости применения более сложного и более дорогого устройства.

2. Расчёт конструкции погружённого дырчатого листа.

ускорение земного притяжения: $g := 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

плотность воды в барабане при давлении насыщения: $\rho' := 586.9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

поверхностное натяжение для котловой воды при расчётной температуре: $\sigma := 4.268 \times 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

Радиус парового пузырька в слое кипящей воды:

$$r_0 := 0.676 \cdot \left[\frac{\sigma}{g \cdot (\rho' - \rho'')} \right]^{0.5} \quad r_0 = 0.676 \cdot \left[\frac{4.268 \times 10^{-3}}{9.81 \cdot (586.9 - 106.3)} \right]^{0.5} \quad r_0 = 6.432 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Минимальная скорость пара в отверстии, при которой создаётся паровая подушка под щитом:

$$w_{\text{мин}} := 2.44 \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho' \cdot r_0} \right)^{0.5} \quad w_{\text{мин}} = 2.44 \cdot \left(\frac{4.268 \times 10^{-3}}{106.3 \cdot 6.432 \times 10^{-4}} \right)^{0.5} \quad w_{\text{мин}} = 0.6096 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Средняя расчётная скорость в отверстиях:

$$w_{\text{р}} := 1.35 \cdot w_{\text{мин}} \quad w_{\text{р}} = 0.823 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Необходимое сечение всех отверстий щита:

$$f_{\text{п}} := \frac{D_{\text{нп}}}{\rho'' \cdot w_{\text{р}}} \quad f_{\text{п}} = \frac{116.667}{106.3 \cdot 0.823} \quad f_{\text{п}} = 1.334 \text{ м}^2$$

Относительная площадь отверстий в погружённом щите ("живое сечение"):

$$\phi_{\text{пл}} := \frac{f_{\text{п}}}{l_{\text{р.ч}} \cdot b_{\text{ш}}} \quad \phi_{\text{пл}} = \frac{1.334}{6.5 \cdot 1.2} \quad \phi_{\text{пл}} = 0.171 \text{ м}^2$$

диаметры отверстий в дырчатом листе (методичка, стр.15): $d_1 := 0.01 \text{ м}$

Общее количество отверстий с заданным диаметром:

$$n_0 := \frac{f_{\text{п}}}{0.785 \cdot d_1^2} \quad n_0 = \frac{1.334}{0.785 \cdot 0.01^2} \quad n_0 = 1.699 \times 10^4 \text{ шт}$$

Число рядов отверстий по ширине: $n_1 := \left(\frac{n_0 \cdot b_{\text{ш}}}{l_{\text{р.ч}}} \right)^{0.5} \quad n_1 = 56 \text{ шт}$

Число рядов по длине щита: $n_2 := \frac{n_0}{n_1} \quad n_2 = 303 \text{ шт}$

Средний шаг отверстий: $s := \frac{b_{\text{ш}}}{n_1 + 1} \quad s = 0.021 \text{ м}$

Расчёт конструкции пароприёмного потолка

диаметр отверстий в дырчатом щите пароприёмного потолка: $d_2 := 0.005 \text{ м}$

Рекомендуемая скорость пара в отверстиях щита (табл.2.3): $w_{\text{п,верх}} := 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Необходимое сечение всех отверстий щита:

$$f_{\text{п,верх}} := \frac{D_{\text{нп}}}{\rho'' \cdot w_{\text{п,верх}}} \quad f_{\text{п,верх}} = \frac{116.7}{106.3 \cdot 5} \quad f_{\text{п,верх}} = 0.22 \text{ м}^2$$

Ширина пароприёмного потолка: $b_{\text{ш,верх}} := 0.770 \text{ м}$

Относительная площадь отверстий в щите ("живое сечение"):

$$\phi_{\text{пл,верх}} := \frac{f_{\text{п,верх}}}{l_{\text{р.ч}} \cdot b_{\text{ш,верх}}} \quad \phi_{\text{пл,верх}} = \frac{0.22}{6.5 \cdot 0.770} \quad \phi_{\text{пл,верх}} = 0.044 \text{ м}^2$$

Общее количество отверстий с заданным диаметром:

$$n_{0,\text{верх}} := \frac{f_{\text{п,верх}}}{0.785 \cdot d_2^2} \quad n_{0,\text{верх}} = \frac{0.22}{0.785 \cdot 0.005^2} \quad n_{0,\text{верх}} = 1.118 \times 10^4 \text{ шт}$$

Число рядов отверстий по ширине: $n_{1,\text{верх}} := \left(\frac{n_{0,\text{верх}} \cdot b_{\text{ш,верх}}}{l_{\text{р.ч}}} \right)^{0.5} \quad n_{1,\text{верх}} = 36 \text{ шт}$

Число рядов по длине щита: $n_{2,\text{верх}} := \frac{n_{0,\text{верх}}}{n_{1,\text{верх}}} \quad n_{2,\text{верх}} = 307 \text{ шт}$

Средний шаг отверстий: $s_{\text{верх}} := \frac{b_{\text{ш,верх}}}{n_{1,\text{верх}} + 1} \quad s_{\text{верх}} = 0.021 \text{ м}$

Скорость пара при проходе его через зеркало испарения:

$$w_{\text{п,2}} := \frac{D_{\text{нп}}}{\rho'' \cdot b_{\text{ш}} \cdot l_{\text{р.ч}}} \quad w_{\text{п,2}} = \frac{116.7}{106.3 \cdot 1.2 \cdot 6.5} \quad w_{\text{п,2}} = 0.1407 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Количественная зависимость влажности пара в верхней части объёма от определяющих параметров:

$$\omega_2 := \frac{C \cdot 10^{-2} \cdot w_{\text{п,2}}^{2.76} \cdot A_{\text{кв}}^3}{H_{\text{п}}^{2.3}} \quad \omega_2 = \frac{488.5 \cdot 10^{-2} \cdot 0.1407^{2.76} \cdot 1^3}{0.8^{2.3}} \quad \omega_2 = 0.0364 \%$$

Так как полученная влажность $\omega_2 = 0.0364 \%$ превышает рекомендуемые значения (табл.1.4) 0.02% , то делаю заключение о невозможности использования этой сепарационной схемы и о необходимости применения более сложного и более дорогого устройства.

3. Расчёт жалюзийного сепаратора (инерционная сепарация)

критическая скорость пара на входе в жалюзийный сепаратор (табл.2.4):

$$w_{\text{кр}} := 0.13 + \frac{0.10 - 0.13}{(16 - 14) \cdot 10^6} \cdot (P_6 - 14 \cdot 10^6) \quad w_{\text{кр}} = 0.1015 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Скорость пара при проходе его через зеркало испарения:

$$w_{\text{п,2}} := \frac{D_{\text{нп}}}{\rho'' \cdot b_{\text{ш}} \cdot l_{\text{р.ч}}} \quad w_{\text{п,2}} = \frac{116.7}{106.3 \cdot 1.2 \cdot 6.5} \quad w_{\text{п,2}} = 0.1407 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Так как скорость пара на входе в жалюзийный сепаратор $w_{\text{п,2}} = 0.1407 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ превышает критическую скорость пара $w_{\text{кр}} = 0.1015 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ то делаю вывод, что работа жалюзийного сепаратора не будет эффективна

в связи с тем, что поток пара будет срывать плёнку воды.

4. Расчёт сепарации в циклонах (центробежная сепарация)

Внутрибарабанные циклоны

значение критической осевой скорости пара, отнесённой к полному внутреннему сечению циклона (табл.2.5):

$$w_{\text{ц,кр}} := 0.380 + \frac{0.341 - 0.380}{(16.2 - 15.2) \cdot 10^6} \cdot (P_6 - 15.2 \cdot 10^6) \quad w_{\text{ц,кр}} = 0.3527 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

паровая нагрузка одного циклона (по табл.2.5, вид крышки - колпак):

$$D_{\text{ц}} := 3.33 + \frac{3.39 - 3.33}{(16.2 - 15.2) \cdot 10^6} \cdot (P_6 - 15.2 \cdot 10^6) \quad D_{\text{ц}} = 3.372 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

диаметр циклона (табл.2.5): $d_{\text{ц}} := 0.350 \text{ м}$

внутреннее сечение циклона: $f_{\text{ц}} := \frac{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2}{4} \quad f_{\text{ц}} = 0.09621 \text{ м}^2$

Фактическое значение осевой (аксиальной) скорости пара:

$$w_{\text{а}} := \frac{D_{\text{ц}}}{\rho'' \cdot f_{\text{ц}}} \quad w_{\text{а}} = \frac{3.372}{106.3 \cdot 0.09621} \quad w_{\text{а}} = 0.3297 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Так как $w_{\text{а}} = 0.3297 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ меньше $w_{\text{ц,кр}} = 0.3527 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ то условия работы циклона - нормальные.

принимаю рекомендуемую скорость входа паровой смеси в циклон: $w_{\text{вх}} := 11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

высота циклона (табл.2.5): $H_{\text{ц}} := 0.647 \text{ м}$

принимаю отношение сечения циклона к сечению подводящего патрубка: $m := 6$

кинетическая вязкость пара (табл.2.1):

$$v_{\text{п}} := \left[0.269 + \frac{0.250 - 0.269}{(16 - 15) \cdot 10^6} \cdot (P_6 - 15 \cdot 10^6) \right] \cdot 10^{-6} \quad v_{\text{п}} = 2.519 \times 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

степень улавливания влаги в жалюзийном сепараторе (сепаратор отсутствует): $K_{\text{ж,с}} := 1$

Приближённое значение влажности пара на выходе из внутрибарабанного циклона:

$$\omega''_{\text{ц}} := 2.28 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{w_{\text{вх}} \cdot d_{\text{ц}} - \left(\frac{\rho' - \rho''}{\rho''} \right)^{0.5}}{v_{\text{п}} \cdot m \cdot 10^6} \right]^{2.75} \cdot \frac{K_{\text{ж,с}}}{\frac{1}{H_{\text{ц}}^3}} \quad \omega''_{\text{ц}} = 0.003784 \%$$

Полученное значение влажности пара удовлетворяет рекомендуемому значению 0,02%.

Выводы: для заданного варианта котлоагрегата и физических размеров барабана котла был произведён расчёт влажности пара на выходе из барабана. По условиям естественной сепарации влажность пара не удовлетворяет требуемым значениям. Высокое значение влажности пара в этом случае связано с тем, что площадь поверхности зеркала испарения работает лишь на 20 процентов, а высота парового пространства ограничена размерами (диаметром) барабана.

Далее был рассмотрен вариант, когда используется паропромывочный лист. В этом случае также не был достигнут необходимый уровень паросодержания, так как скорость пара имела достаточно большое значение.

Установка жалюзийного сепаратора в моём случае не была бы неэффективна, т.к. скорость движения пара выше критической скорости, при которой эффективна жалюзийный сепаратор имеет место быть. Поэтому было принято решение, что не надо применять жалюзийный сепаратор.

Далее был произведён расчёт влажности пара на выходе из барабана в случае применения внутрибарабанных циклонов. Полученный результат удовлетворяет требованиям, предъявляемым к значению влажности пара на выходе из барабана. Следовательно, в рассматриваемом барабанном котле рекомендуется применить конструкцию барабана с внутрибарабанными циклонами.