

Конструктивные данные

- Опускные трубы: $\frac{d}{\delta} = \frac{108}{9}$ мм $H_{оп} = 31.2$ м $H_k = H_{оп}$ $H_k = 31.2$ м $L_{оп} = 35$ м
- Повороты: $\alpha_{90} = 1$ $\alpha_{70} = 2$ $\alpha_{35} = 2$
- Подъемные трубы: $\frac{d}{\delta} = \frac{60}{5}$ мм $S_1 = 0.064$ м $H_{до} = 2.5$ м
 $H_{по} = 0.4$ м $H_{об} = 24.1$ м
- Отводящие трубы: $\frac{d}{\delta} = \frac{108}{9}$ мм $H_{отв} = 2.4$ м $L_{от} = 5.5$ м $\alpha_{75} = 2$ $\alpha_{35} = 2$
- Коллекторы: $\frac{d}{\delta} = \frac{273}{28}$ мм

Опускные трубы не обогреваются: $\Delta h_{нед.бар.} = 0$ ($\Delta h_{в.бар.} = h(P_6)$)

Переменные величины: $q_b = 250000 \frac{Вт}{м^2}$ $n_{оп} = 4$ шт $n_{под} = 20$ шт $n_{отв} = 3$ шт

При $P_{бар} = 11 \cdot 10^6$ Па $t_s = 318$ С $\rho' = 1450300 \frac{Дж}{кг}$

$\rho' = 671.7 \frac{кг}{м^3}$ $\rho'' = 62.6 \frac{кг}{м^3}$

Скрытая теплота парообразования: $r = 1.256 \times 10^6 \frac{Дж}{кг}$ $(dh/dp)_{P_6} = 41.4 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{Па}$

Коэффициенты местных сопротивлений в местах гибов труб:

α , град	20 – 50	70 – 90				
$\xi_{пов}$	0,1	0,2				
$\phi_{вн}$	20	30	40	50	90	100
λ_0	1.5	0.82	0.57	0.43	0.21	0.18
$\lambda_0 = \frac{\lambda}{d_{вн}}$	$\frac{1}{м}$					

Коэффициенты сопротивления:

для опускающих труб $\xi_{вх_оп} = 0.5$ $\xi_{ввх_оп} = 1.1$

для подъемных труб $\xi_{вх_под} = 0.7$ $\xi_{ввх_под} = 1.0$

ORIGIN = 1

Скорость циркуляции: $W_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1.4 \\ 1.6 \end{pmatrix} \frac{м}{с}$ рассчитано для трёх значений скоростей

а) Расчет сопротивления опускающих труб

Скорость воды в опускающих трубах

$$f_0 = \frac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2}{4} \quad f_0 = 0.00196 \text{ м}^2 \quad f_{оп} = \frac{\pi \cdot (90 \cdot 10^{-3})^2}{4} \quad f_{оп} = 0.00636 \text{ м}^2$$

$$W_{оп.тр.} = \frac{W_0 \cdot n_{под} \cdot f_0}{n_{оп} \cdot f_{оп}} \quad W_{оп.тр.} = \begin{pmatrix} 1.543 \\ 2.16 \\ 2.469 \end{pmatrix} \frac{м}{с}$$

Коэффициент полного гидравлического сопротивления опускающих труб

$$\Sigma \xi_{пов} = 1 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.1 \quad \lambda_0 = 0.21 \frac{1}{м} \text{ -сопротивление трения}$$

$$z_{оп} = \xi_{вх_оп} + \Sigma \xi_{пов} + \xi_{ввх_оп} + \lambda_0 \cdot L_{оп} \quad z_{оп} = 9.75$$

Сопротивление опускающих труб: $\Delta P_{оп} = 0.5 \cdot z_{оп} \cdot W_{оп.тр.}^2 \cdot \rho'$

$$\Delta P_{оп1} = 0.5 \cdot 9.35 \cdot 1.543^2 \cdot \rho' \quad \Delta P_{оп1} = 7.798 \times 10^3 \text{ Па} \quad \Delta P_{оп} = \begin{pmatrix} 7.798 \times 10^3 \\ 1.528 \times 10^4 \\ 1.996 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\Delta P_{оп2} = 0.5 \cdot 9.35 \cdot 2.16^2 \cdot \rho' \quad \Delta P_{оп2} = 1.528 \times 10^4 \text{ Па}$$

б) Расчет движущего напора в подъемных трубах

$$\text{Количество циркулирующей воды} \quad G_0 = W_0 \cdot f_0 \cdot n_{под} \cdot \rho' \quad G_0 = \begin{pmatrix} 26.378 \\ 36.929 \\ 42.204 \end{pmatrix} \frac{кг}{с}$$

Сопротивление подъемных труб на участке до начала обогрева $L_{до} = 2.5$ м

$$\Delta P_{до} = \frac{1}{2} \cdot (\xi_{вх_под} + \lambda_0 \cdot L_{до}) \cdot W_0^2 \cdot \rho' \quad \Delta P_{до} = \begin{pmatrix} 411.42 \\ 806.38 \\ 1053.23 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

Удельное тепловосприятие 1 м. трубы в нижней части топки

$$Q_{уд} = 0.94 \cdot q_b \cdot S_1 \cdot n_{под} \quad Q_{уд} = 3.008 \times 10^5 \frac{Дж}{м \cdot с}$$

Высота экономайзерного участка в зоне обогрева $g = 9.807$ $i = 1, 2, 3$

$$H_{эк1} = \frac{(dh/dp)_{P_6} \cdot \rho' \cdot g \cdot \left(H_{оп} - H_{до} + \frac{\Delta P_{оп1} + \Delta P_{до1}}{\rho' \cdot g} \right)}{\frac{Q_{уд}}{G_{01}} + (dh/dp)_{P_6} \cdot \rho' \cdot g} \quad H_{эк} = \begin{pmatrix} 0.699 \\ 1.009 \\ 1.175 \end{pmatrix} \text{ м}$$

где: $(dh/dp)_{P_6} = 0.041$ $\rho' = 671.7$ $g = 9.807$ $H_{оп} = 31.2$ $H_{до} = 2.5$ $\Delta P_{оп} = \begin{pmatrix} 7.798 \times 10^3 \\ 1.528 \times 10^4 \\ 1.996 \times 10^4 \end{pmatrix}$

$\Delta P_{до} = \begin{pmatrix} 411.416 \\ 806.376 \\ 1.053 \times 10^3 \end{pmatrix}$ $Q_{уд} = 3.008 \times 10^5$ $G_0 = \begin{pmatrix} 26.378 \\ 36.929 \\ 42.204 \end{pmatrix}$ (размерности всех величин в SI, где стоят два значения в скобках - верхнее значение при одной скорости, нижнее - при другой)

Высота парообразующей части

$$H_{пар} = H_{об} - H_{эк} \quad H_{пар} = \begin{pmatrix} 23.401 \\ 23.091 \\ 22.925 \end{pmatrix} \text{ м} \quad H_{об} = 24.1 \text{ м}$$

Тепловосприятие парообразующей части

$$Q_{пар} = q_b \cdot H_{пар} \cdot S_1 \cdot n_{под} \quad Q_{пар} = \begin{pmatrix} 7.488 \times 10^6 \\ 7.389 \times 10^6 \\ 7.336 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{Дж}{с}$$

Паропроизводительность контура $r = 1.256 \times 10^6 \frac{Дж}{кг}$

$$D_{п} = \frac{Q_{пар}}{r} \quad D_{п} = \begin{pmatrix} 5.962 \\ 5.883 \\ 5.841 \end{pmatrix} \frac{кг}{с}$$

Массовое паросодержание $x_1 = \frac{D_{п1}}{G_{01}} \quad x = \begin{pmatrix} 0.226 \\ 0.159 \\ 0.138 \end{pmatrix}$

верхнее число в скобках для скорости циркуляции $W_0 = 1 \frac{м}{с}$

нижнее - для скорости циркуляции $W_0 = 1.4 \frac{м}{с}$

$$\text{Среднее массовое паросодержание} \quad x_{ср} = \frac{x}{2} \quad x_{ср} = \begin{pmatrix} 0.113 \\ 0.08 \\ 0.069 \end{pmatrix}$$

Среднее объемное паросодержание

$$\beta_{ср1} = \frac{\frac{\rho'}{\rho''} \cdot x_{ср1}}{1 + \left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \cdot x_{ср1}} \quad \beta_{ср} = \begin{pmatrix} 0.578 \\ 0.482 \\ 0.444 \end{pmatrix}$$

Средняя скорость пароводяной смеси

$$W_{см1} = W_{01} \left[1 + x_{ср1} \left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] \quad W_{см} = \begin{pmatrix} 2.1 \\ 2.485 \\ 2.677 \end{pmatrix} \frac{м}{с}$$

где: $W_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1.4 \\ 1.6 \end{pmatrix}$ $x_{ср} = \begin{pmatrix} 0.113 \\ 0.08 \\ 0.069 \end{pmatrix}$ $\rho' = 671.7$ $\rho'' = 62.6$

так как $W_{см} < 3$ то коэффициент С вычисляем по формуле

$$C = 1 - 0.01 \cdot \left(\frac{20}{P_{бар}} \right)^3 \cdot \left(\frac{W_{см}}{3} \right)^{0.07} \quad C = \begin{pmatrix} 0.94 \\ 0.94 \\ 0.94 \end{pmatrix}$$

$$P_{бар} = 1.1 \times 10^7 \text{ Па}$$

Среднее истинное паросодержание в трубе $\phi_{ср1} = C_1 \cdot \beta_{ср1} \quad \phi_{ср} = \begin{pmatrix} 0.544 \\ 0.453 \\ 0.417 \end{pmatrix}$

Движущий напор парообразующего участка

$$H_{пар} = \begin{pmatrix} 23.401 \\ 23.091 \\ 22.925 \end{pmatrix} \text{ м} \quad \phi_{ср} = \begin{pmatrix} 0.544 \\ 0.453 \\ 0.417 \end{pmatrix}$$

$$P_{др1} = H_{пар1} \cdot g \cdot \phi_{ср1} \cdot (\rho' - \rho'') \quad P_{др} = \begin{pmatrix} 7.6 \times 10^4 \\ 6.248 \times 10^4 \\ 5.714 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

в) Расчет движущего напора в пароводящих трубах и во всем контуре

В пароводящих трубах паросодержание постоянно.

$$x = \begin{pmatrix} 0.226 \\ 0.159 \\ 0.138 \end{pmatrix}$$

Скорость в отводящих трубах $f_{отв} = f_0$ $f_{отв} = 1.963 \times 10^{-3} \text{ м}^2$

$$W_{отв1} = W_{01} \cdot \frac{f_0 \cdot n_{под}}{f_{отв} \cdot n_{отв}} \quad W_{отв} = \begin{pmatrix} 6.667 \\ 9.333 \\ 10.667 \end{pmatrix} \frac{м}{с}$$

Движущий напор в отводящей трубе $\phi_{отв} = \phi_{ср} \quad \phi_{отв} = \begin{pmatrix} 0.544 \\ 0.453 \\ 0.417 \end{pmatrix}$

$$S_{др_отв} = H_{отв} \cdot \phi_{отв} \cdot (\rho' - \rho'') \cdot g \cdot 0.93 \quad S_{др_отв} = \begin{pmatrix} 7.249 \times 10^3 \\ 6.039 \times 10^3 \\ 5.563 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

Полный движущий напор в контуре

$$P_{др_полн1} = P_{др1} + S_{др_отв1} \quad P_{др_полн} = \begin{pmatrix} 8.325 \times 10^4 \\ 6.852 \times 10^4 \\ 6.27 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

г) Расчет сопротивления в подъемных трубах.

На участке до точки закипания вычислить длину трубы и гидравлическое сопротивление по формуле

Коэффициент полного гидравлического сопротивления подъемных труб

$$\Sigma \xi_{пов} = 1 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.2 + 2 \cdot 0.1 \quad \lambda_0 = 0.43 \frac{1}{м} \text{ -сопротивление трения}$$

$$L_{под} = H_{до} + H_{об} + H_{по} \quad L_{под} = 27 \text{ м}$$

$$H_{до} = 2.5 \quad H_{об} = 24.1 \quad H_{по} = 0.4$$

$$z_{под} = \xi_{вх_под} + \Sigma \xi_{пов} + \xi_{ввх_под} + \lambda_0 \cdot L_{под} \quad z_{оп} = 9.75$$

$$\text{Сопротивление подъемных труб:} \quad \Delta P_{под} = 0.5 \cdot z_{под} \cdot W_{отв.тр.}^2 \cdot \rho' \quad \Delta P_{под} = \begin{pmatrix} 1.129 \times 10^4 \\ 2.212 \times 10^4 \\ 2.889 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

На парообразующем участке вычислить длину парообразующего участка и перепад давления по формуле

$$\Psi = 0.9 \quad L_{пар} = H_{пар} + H_{по} \quad L_{пар} = \begin{pmatrix} 23.801 \\ 23.491 \\ 23.325 \end{pmatrix} \text{ м}$$

$$\Delta P_{пар1} = 0.5 \cdot \lambda_0 \cdot L_{пар1} \left[1 + \Psi \cdot x_{ср1} \left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] \cdot \frac{(W_{01})^2 \cdot \rho'}{2} \quad \Delta P_{пар} = \begin{pmatrix} 3.419 \times 10^3 \\ 5.644 \times 10^3 \\ 6.924 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

где: $\lambda_0 = 0.43$ $x_{ср} = \begin{pmatrix} 0.113 \\ 0.08 \\ 0.069 \end{pmatrix}$ $W_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1.4 \\ 1.6 \end{pmatrix}$

Перепад давления на выходе из трубы в верхний коллектор

$$\Delta P_{ввх1} = 0.5 \cdot \xi_{ввх_под} \left[1 + x_1 \cdot \Psi \cdot \left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] \cdot \frac{(W_{01})^2 \cdot \rho'}{2}$$

$$\Delta P_{ввх} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.788 \\ 0.951 \end{pmatrix} 10^3 \text{ Па}$$

Полное сопротивление подъемных труб

$$\Delta P_{01} = \Delta P_{под1} + \Delta P_{пар1} + \Delta P_{ввх1} \quad \Delta P_0 = \begin{pmatrix} 1.521 \times 10^4 \\ 2.855 \times 10^4 \\ 3.677 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

$$\text{где:} \quad \Delta P_{под} = \begin{pmatrix} 1.129 \times 10^4 \\ 2.212 \times 10^4 \\ 2.889 \times 10^4 \end{pmatrix} \quad \Delta P_{пар} = \begin{pmatrix} 3.419 \times 10^3 \\ 5.644 \times 10^3 \\ 6.924 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad \Delta P_{ввх} = \begin{pmatrix} 500.296 \\ 788.299 \\ 950.868 \end{pmatrix}$$

д) Сопротивление пароводящих труб $\xi_{ввх} = 1.1$ $\xi_{вх} = 0.7$

$$z_{от} = \xi_{вх} + \Sigma \xi_{пов} + \xi_{ввх} + \lambda_0 \cdot L_{от} \quad z_{от} = 4.965$$

Сопротивление труб $\Delta P_{отв1} = 0.5 \cdot z_{от} \left[1 + x_1 \cdot \Psi \cdot \left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1 \right) \right] \cdot (W_{01})^2 \cdot \rho'$

$$\Delta P_{отв} = \begin{pmatrix} 3.303 \times 10^3 \\ 4.562 \times 10^3 \\ 5.176 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ Па}$$

Полное гидравлическое сопротивление $\Delta P_{под1} = \Delta P_{01} + \Delta P_{отв1} \quad \Delta P_{под} = \begin{pmatrix} 1.851 \times 10^4 \\ 3.311 \times 10^4 \\ 4.194 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$

где $\Delta P_0 = \begin{pmatrix} 1.521 \times 10^4 \\ 2.855 \times 10^4 \\ 3.677 \times 10^4 \end{pmatrix}$ $\Delta P_{отв} = \begin{pmatrix} 3.303 \times 10^3 \\ 4.562 \times 10^3 \\ 5.176 \times 10^3 \end{pmatrix}$

Полезный напор в контуре $P_{к.пол1} = P_{др1} - \Delta P_{под1} \quad P_{к.пол} = \begin{pmatrix} 5.749 \times 10^4 \\ 2.936 \times 10^4 \\ 1.52 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ Па}$

где $P_{др} = \begin{pmatrix} 7.6 \times 10^4 \\ 6.248 \times 10^4 \\ 5.714 \times 10^4 \end{pmatrix}$ $\Delta P_{под} = \begin{pmatrix} 1.851 \times 10^4 \\ 3.311 \times 10^4 \\ 4.194 \times 10^4 \end{pmatrix}$

