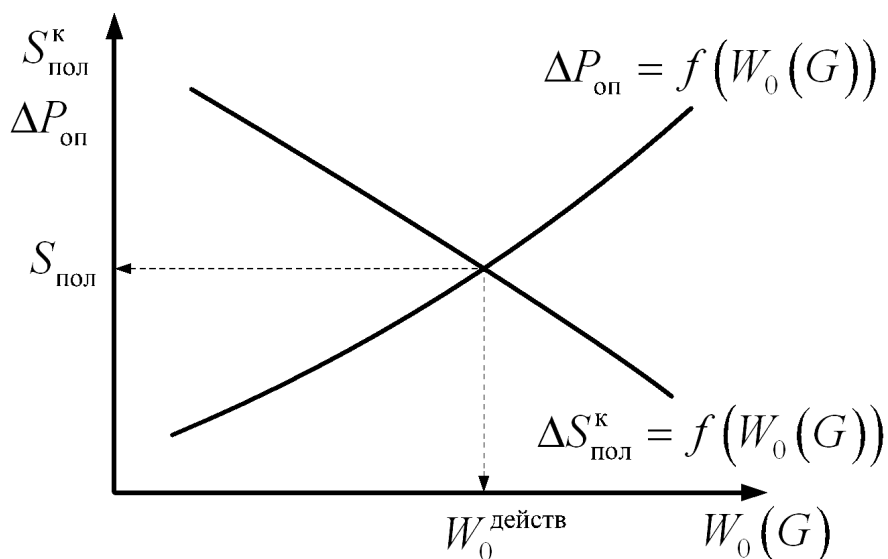


Рис. 11.1. Схема простого контура циркуляции: 1 — барабан; 2 — опускные трубы; 3 — нижний коллектор; 4 — подъемные трубы; 5 — верхний коллектор; 6 — отводящие трубы; $H_{ур}$ — высота уровня воды в барабане; $H_{оп}$ — высота опускных труб; $H_{до}$ — высота до начала обогрева труб; $H_{об}$ — высота обогреваемой части труб; $H_{по}$ — высота после обогрева труб (до верхнего коллектора); $H_{отв}$ — высота отводящих труб; $H_{пр}$ — высота превышения верхней точки отводящих труб над уровнем воды в барабане; $H_{тз}$ — высота точки закипания воды; $H_{исп}$ — высота испарительной части обогреваемого участка.



Расчет скорости циркуляции в контуре экрана барабанного котла

Проведем расчет скорости циркуляции в простом контуре (рис. 11).

Исходные данные:

а) конструкция контура:

- опускные трубы: диаметр 133 x 10 мм; высота $H_{on} = H_k = 25,8$ м; длина $l_{on} = 26,16$ м; повороты: 2 на 30° , 1 на 90° ; количество труб $n_{on} = 3$;
 - подъемные трубы: диаметр 60 x 5 мм; шаг труб $s_1 = 64$ мм; высоты: до обогрева $H_{до} = 2$ м; обогреваемого участка $H_{об} = 20$ м; после обогрева $H_{по} = 0,8$ м; количество труб $n_{о} = 35$;
 - отводящие трубы: диаметр 133 x 10 мм; высота $H_{от} = 3$ м; $l_{от} = 4,4$ м; повороты: 1 на 40° ; количество труб $n_{о} = 4$;
 - коллекторы: диаметр 273 x 28 мм;
- б) теплофизические параметры:

— давление в контуре $p_6 = 11$ МПа; $t_s = 318^\circ\text{C}$; $\rho' = 671,7$ кг/м³; $\rho'' = 62,6$ кг/м³; $h' = 1449,5$ кДж/кг; $r = 1154$ кДж/кг; $\partial h' / \partial p \approx \Delta h' / \Delta p = 41,4 \cdot 10^{-6}$ кДж/Па.

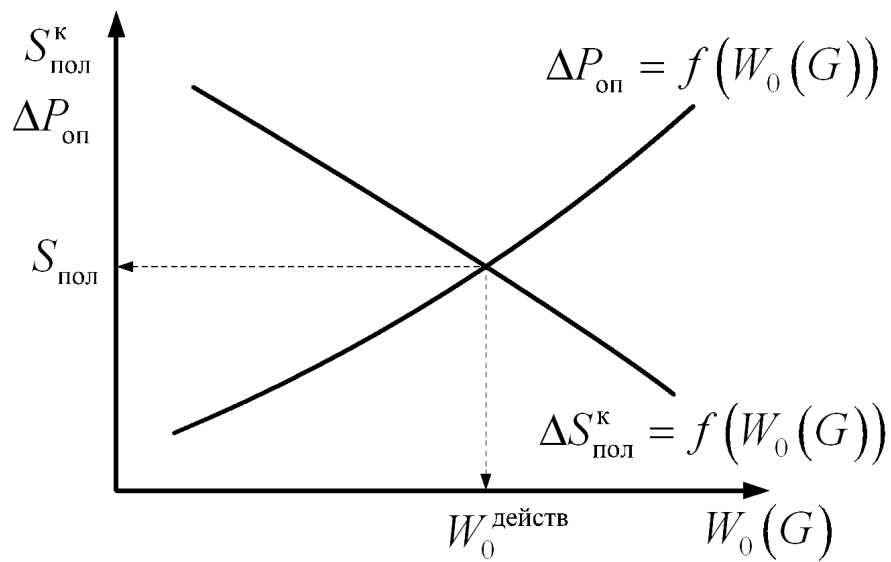
Средний воспринятый тепловой поток обогреваемых труб $q_B = 118$ кВт/м².

Принимаем, что экономайзер барабанного котла кипящего типа, т.е. в барабан поступает пароводяная смесь. В этом случае недогрев в барабане $\Delta h_{нед}^0 = 0$. Опускные трубы необогреваемы. Снос пара в опускные трубы отсутствует.

Задача расчета: скорость циркуляции в контуре определяется путем графического решения уравнения движения $S_{пол} = \Delta p_{он}$, где $S_{пол}$ и $\Delta p_{он}$ зависят от скорости циркуляции ω_0 . Для построения графиков $S_{пол} = f(\omega_0)$ и $\Delta p_{он} = f(\omega_0)$ следует определить эти зависимости при трех (и более) значениях ω_0 .

Ниже представлен расчет контура при скоростях циркуляции $\omega_0 = 0,5$ м/с.

Аналогичные расчеты проводятся и для других значений ω_0 (скорость циркуляции относится к подъемным трубам).



В учебных целях можно ограничиться тремя точками.

Расчет опускаемых труб

1. Скорость воды в опускаемых трубах

$$\omega_{on} = \omega_0 n_0 f_0 / (n_{on} f_{on}) = 0,5 \cdot 35 \cdot 0,002 / (3 \cdot 0,01) = 1,166 \text{ м/с},$$

где $f_0 = \pi d_0^2 = \pi \dot{i}$; $f_{on} \pi d_{on}^2 / 4 = \pi \dot{i}$.

2. Коэффициент полного гидравлического сопротивления опускаемых труб

$$z_{on} = \zeta_{ex} + \sum \zeta_{пов} + \lambda_o l_{on} + \zeta_{вых}.$$

Коэффициенты гидравлического сопротивления входа в трубу ($\zeta_{ex} = 0,5$), выхода из трубы ($\zeta_{вых} = 1,1$), поворотов ($\zeta_{пов} = 0,1$ для поворота на 30° , $\zeta_{пов} = 0,2$ для поворота на 90°), сопротивление трения ($\lambda_o = 0,1$ 1/м) принимаются по справочным данным (Нормы гидравлического расчета паровых котлов и др.).

$$z_{on} = 0,5 + (2 \cdot 0,1 + 0,2) + 0,1 \cdot 26,16 + 1,1 = 4,62.$$

3. Сопротивление опускаемых труб

$$\Delta p_{on} = 0,5 \cdot z_{on} \omega_{on}^2 \rho' \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 4,62 \cdot 1,166^2 \cdot 671,7 \cdot 10^{-3} = 2,109 \text{ кПа}.$$

Подъемные трубы

4. Количество циркулирующей воды

$$G_o = \omega_0 f_0 \rho' n_0 = 0,5 \cdot 0,002 \cdot 671,7 \cdot 35 = 23,5 \text{ кг/с}.$$

5. Сопротивление подъемных труб на участке до начала обогрева

$$\Delta p_{oo} = 0,5 (\zeta_{ex} + \lambda_o l_{oo}) \omega_0^2 \rho' \cdot 10^{-3} = 0,5 (0,5 + 0,43 \cdot 2) \cdot 0,5^2 \cdot 671,7 \cdot 10^{-3} = 0,156 \text{ кПа},$$

где $\zeta_{ex} = 0,5$; $\lambda_o = 0,43$ 1/м.

6. Удельное тепловосприятие части экрана высотой 1 м в нижней части обогреваемых труб

$$Q_{yl} = 0,94 q_e S_1 \cdot 10^{-3} \cdot n_0 \cdot 1 = 0,94 \cdot 118 \cdot 10^{-3} \cdot 64 \cdot 35 \cdot 1 = 248 \text{ кДж/(с} \cdot \text{м)}.$$

ПРИМЕР. РАСЧЕТ СКОРОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В КОНТУРЕ ЭКРАНА

7. Высота экономайзерного участка в зоне обогрева

$$\Delta H_{\text{эк}} = \frac{(\partial h' / \partial p) \cdot p' \cdot g (H_{\text{он}} - H_{\text{до}} + (\Delta p_{\text{он}} + \Delta p_{\text{до}}) \cdot 10^3 / (p' \cdot g))}{Q_{\text{yd}} / G_0 + (\partial h' / \partial p) p' \cdot g} = \frac{41,4 \cdot 10^{-6} \cdot 671,7 \cdot 9,8 (25,8 - 2(2,109 + 0,156))}{248 / 23,5 + 41,4 \cdot 10^{-6} \cdot 671,7 \cdot 9,8}$$

8. Высота парообразующей (испарительной) части трубы

$$H_{\text{нап}} + H_{\text{исп}} + H_{\text{об}} - \Delta H_{\text{эк}} = 20 - 0,3 = 19,7 \text{ м.}$$

9. Тепловосприятие парообразующей части

$$Q_{\text{нап}} = q_{\text{в}} H_{\text{нап}} S_1 \cdot 10^{-3} \cdot n_0 = 118 \cdot 19,7 \cdot 64 \cdot 10^{-3} \cdot 35 = 5207,104 \text{ кДж/с.}$$

10. Паропроизводительность контура

$$D_n = Q_{\text{нап}} / r = 5207,104 / 1154 = 4,512 \text{ кг/с.}$$

11. Массовое паросодержание на выходе из обогреваемой трубы

$$x_{\text{вых}} = D_n / G_o = 4,512 / 23,5 = 0,192.$$

Среднее массовое паросодержание в обогреваемой трубе

$$x_{\text{ср}} = x_{\text{вых}} / 2 = 0,192 / 2 = 0,096$$

Среднее объемное паросодержание

$$\beta_{\text{ср}} = 1 / (1 + (1/x_{\text{ср}} - 1) p'' / p') = 1 / (1 + 1/0,096 - 1) \cdot 62,6 / 671,7 = 0,97$$

12. Средняя скорость пароводяной смеси

$$\omega_{\text{см}} = \omega_0 (1 + x_{\text{ср}} (p' / p'' - 1)) = 1 (1 + 0,096 (671,7 / 62,6 - 1)) = 1,934 \text{ м/с}$$

13. Среднее истинное паросодержание в подъемной трубе

$$\varphi_{\text{ср}} = C \cdot \beta_{\text{ср}} = 0,943 \cdot 0,97 = 0,972$$

где коэффициент C , по справочным данным, равен 0,943 (зависит от $\omega_{\text{см}}$ и p).

14. Движущий напор парообразующего участка

$$S_{\text{об}}^0 = H_{\text{нап}} \varphi_{\text{ср}} (p' - p'') g \cdot 10^{-3} = 19,7 \cdot 0,972 (671,7 - 62,6) \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 114,3 \text{ кПа.}$$

Пароотводящие трубы

15. Расчетная скорость циркуляции среды в пароотводящих трубах

$$\omega_0^{om} = \omega_0 n_0 f_0 / (n_{on} f_{on}) = 0,5 \cdot 35 \cdot 0,002 / (4 \cdot 0,01) = 0,875 \text{ м/с},$$

где $f_{om} = \pi d_{om}^2 / 4 = \pi \dot{\iota}$;

16. Массовое паросодержание в трубе

$$x_{om} = x_{вых} = 0,9 = 0,92.$$

17. Объемное паросодержание

$$\beta_{om} = 1 / (1 + (1/x_{om} - 1) p'' / p') = 1 / (1 + 1/0,92 - 1) \cdot 62,6 / 671,7 = 0,521$$

18. Скорость пароводяной смеси

$$\omega_{см}^{om} = \omega_{om} (1 + x_{cp} (p' / p'' - 1)) = 1,75 (1 + 0,092 (671,7 / 62,6 - 1)) = 3,316 \text{ м/с}$$

19. Истинное паросодержание

$$\varphi_{cp} = C_{om} \cdot \beta_{om} = 0,940 \cdot 0,521 = 0,49,$$

где $C_{om} = 0,940$.

20. Поправочный коэффициент на угол наклона пароводящих труб (по справочным данным) примем $K_\alpha = 0,93$.

21. Движущий напор в пароводящих трубах

$$S_{\partial\partial}^{om} = H_{om} \varphi_{cp} K_\alpha (p' - p'') g \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 0,49 \cdot 0,93 (671,7 - 62,6) \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 8,16 \text{ кПа}.$$

22. Полный движущий напор в контуре

$$S_{\partial\partial}^{\kappa} = S_{\partial\partial}^0 + S_{\partial\partial}^{om} = 114,3 + 8,16 = 122,46 \text{ кПа}.$$

Сопротивление подъемных труб

23. На участке до точки закипания (экономайзерный участок)

$$\Delta p_{\text{эк}} = 0,5 (\xi_{\text{эк}} + \lambda_o l_{\text{эк}}) \omega_0^2 p' \cdot 10^{-3} = 0,5 (0,5 + 0,43 (2 + 1,1)) \cdot 0,5^2 \cdot 671,7 \cdot 10^{-3} = 0,153 \text{ кПа}$$

11.6. ПРИМЕР, РАСЧЕТ СКОРОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ В КОНТУРЕ ЭКРАНА

24. На парообразующем участке $l_{нар} = H_{нар} + H_{но}$ $\Delta p_{нар} = 0,5 \lambda_o l_{нар} \dot{\iota}$

где коэффициент негомогенности $\psi_{cp} = 1,348$ (по справочной литературе).

25. На выходе из подъемных труб в верхний коллектор

26. Полное сопротивление подъемных труб

$$\Delta p_{om} = \Delta p_{эк} + \Delta p_{нар} + \Delta p_{вых} = 0,153 + 2,6 + 0,815 = 3,568 \text{ кПа.}$$

Сопротивление пароотводящих труб

27. Коэффициент гидравлического сопротивления

$$Z_{om} = \zeta_{ex} + \sum \zeta_{нов} + \lambda_0 l_{om} + \zeta_{вых} i = 0,5 - 0,1 + 0,1 - 4,4 + 1 = 2,04.$$

28. Сопротивление труб

$$\begin{aligned} \Delta p_{om} &= 0,5 * Z_{om} \left(1 + x_{om} \Psi_{om} \left(\frac{p'}{p} - 1 \right) \right) \omega_{om}^2 p' * 10^{-3} = \\ &= 0,5 * 2,04 (1 + 0,192 * 0,923 (671,7/62,6 - 1)) 0,5^2 * 671,7 * 10^{-3} \\ &= 0,466 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

Итоговые результаты по контуру

29. Полное гидравлическое сопротивление подъемного участка

$$\Delta p_{пол} = \Delta p_0 + \Delta p_{om} = 3,568 + 0,466 = 4,034 \text{ кПа.}$$

30. Полезный напор в контуре

$$S_{пол}^к = S_{дв}^к - \Delta p_{под} = 122,46 - 4,034 = 118,426 \text{ кПа.}$$

Проводим расчеты для других значений скорости циркуляции, строим графики $S_{пол}^к = \int (\omega_0)$ и $\Delta p_0 = \int (\omega_0)$ (см. рис. 11.8). Координаты точки пересечения этих кривых $(\omega_0, S_{пол}^к)$ и будут решением уравнения движения. Таким образом определяем скорость циркуляции ω_0^p в контуре, полезный $S_{пол}^к$ и движущий $S_{дв}^к$, напоры, паропроизводительность D_n^p расход среды G_0^p через контур, кратность циркуляции $K_y^p = G_0^p / D_n^p$.