

**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

«Динамика котлоагрегатов»

«Расчёт теплоаккумулирующей способности циркуляционных контуров
барабанного парового котла»

Студент:

Бригада №7

Группа:

Преподаватель: Смирнов О.К.

Расчитать количество теплоты, аккумулируемое водой, паром и металлом циркуляционных контуров парового котла при изменении давления в барабане на величину 1 МПа. Результаты расчёта иллюстрировать графическими зависимостями

Объект расчёта
 Современный паровой котёл высокого давления с номинальной паропроизводительностью 660 т/ч. Опускная система выполнена из труб с наружным диаметром d = 159 мм и внутренним диаметром d = 129 мм. Экономайзерный участок - из труб с наружным диаметром d = 60 мм и внутренним диаметром d_вн = 48 мм.

Исходные данные

| | | |
|--|--------------------------------|----------------|
| Объём воды в контуре: | V _в = 50 | м ³ |
| Объём пара в контуре: | V _п = 60 | м ³ |
| Масса металла опускных труб: | G _{м_оп_тр} = 180000 | кг |
| Масса металла коллектора опускных труб: | G _{м_оп_колл} = 19000 | кг |
| Масса металла экономайзерного участка труб: | G _{м_э_тр} = 18000 | кг |
| Масса металла испарительного участка труб: | G _{м_и_тр} = 230000 | кг |
| Масса металла коллектора испарительного участка: | G _{м_и_колл} = 25000 | кг |
| Масса металла испарительного участка отводящих труб: | G _{м_и_отв} = 65000 | кг |
| Масса металла барабана: | G _{м_бар} = 200000 | кг |
| Площадь поверхности опускных труб: | F _{оп_тр} = 1800 | м ² |
| Площадь поверхности экономайзерного участка труб: | F _{э_тр} = 500 | м ² |

Расчёт
 Симплексы физических параметров воды, пара и металла на линии насыщения (из табл. 1) для трёх различных давлений 15,5 МПа, 11 МПа, 5 МПа:

$$\epsilon_B = \frac{r \cdot \rho''}{\rho' - \rho''} \cdot \frac{d\rho'}{dP} + \rho' \cdot \frac{d\eta'}{dP} \quad \epsilon_{II} = \frac{r \cdot \rho''}{\rho' - \rho''} \cdot \frac{d\rho''}{dP} + \rho'' \cdot \frac{d\eta''}{dP}$$

ORIGIN = 1 i = 1..3

$$\epsilon_B = \begin{pmatrix} 18710 \\ 25940 \\ 49720 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа} \cdot \text{м}^3} \quad \epsilon_{II} = \begin{pmatrix} 9400 \\ 8660 \\ 8820 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа} \cdot \text{м}^3} \quad \epsilon_M = \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа} \cdot \text{кг}}$$

Теплоаккумулирующая способность объёмов воды и пара циркуляционных контуров:

$$A_B = V_B \cdot \epsilon_B \quad A_B = 50 \cdot \begin{pmatrix} 18710 \\ 25940 \\ 49720 \end{pmatrix} \quad A_B = \begin{pmatrix} 9.355 \times 10^5 \\ 1.297 \times 10^6 \\ 2.486 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

$$A_{II} = V_{II} \cdot \epsilon_{II} \quad A_{II} = 60 \cdot \begin{pmatrix} 9400 \\ 8660 \\ 8820 \end{pmatrix} \quad A_{II} = \begin{pmatrix} 5.64 \times 10^5 \\ 5.196 \times 10^5 \\ 5.292 \times 10^5 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

Доля "активной" от общей фактической массы металла зависит от толщины металлической стенки:

$$\eta_{бар} = 0.1 \quad \eta_{колл} = 0.3 \quad \eta_{тр} = 1$$

Тепловая аккумуляция в элементах циркуляционного контура, вычисленная по "активной" массе металла:

для опускных труб: $A_{м_оп_тр} = \eta_{тр} \cdot G_{м_оп_тр} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_оп_тр} = 1 \cdot (1.8 \times 10^5) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_оп_тр} = \begin{pmatrix} 4.68 \times 10^5 \\ 6.03 \times 10^5 \\ 1.134 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

для нижних коллекторов: $A_{м_оп_колл} = \eta_{колл} \cdot G_{м_оп_колл} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_оп_колл} = 0.3 \cdot (1.9 \times 10^4) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_оп_колл} = \begin{pmatrix} 1.482 \times 10^4 \\ 1.9095 \times 10^4 \\ 3.591 \times 10^4 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

для труб экономайзера: $A_{м_э_тр} = \eta_{тр} \cdot G_{м_э_тр} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_э_тр} = 1 \cdot (1.8 \times 10^4) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_э_тр} = \begin{pmatrix} 4.68 \times 10^4 \\ 6.03 \times 10^4 \\ 1.134 \times 10^5 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

для испарительных труб: $A_{м_и_тр} = \eta_{тр} \cdot G_{м_и_тр} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_и_тр} = 1 \cdot (2.3 \times 10^5) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_и_тр} = \begin{pmatrix} 5.98 \times 10^5 \\ 7.705 \times 10^5 \\ 1.449 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

для верхних коллекторов: $A_{м_и_колл} = \eta_{колл} \cdot G_{м_и_колл} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_и_колл} = 0.3 \cdot (2.5 \times 10^4) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_и_колл} = \begin{pmatrix} 1.95 \times 10^4 \\ 2.5125 \times 10^4 \\ 4.725 \times 10^4 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

для отводящих труб: $A_{м_и_отв} = \eta_{тр} \cdot G_{м_и_отв} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_и_отв} = 1 \cdot (6.5 \times 10^4) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_и_отв} = \begin{pmatrix} 1.69 \times 10^5 \\ 2.1775 \times 10^5 \\ 4.095 \times 10^5 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

для барабана: $A_{м_и_бар} = \eta_{бар} \cdot G_{м_и_бар} \cdot \epsilon_M \quad A_{м_и_бар} = 0.1 \cdot (2 \times 10^5) \cdot \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.35 \\ 6.3 \end{pmatrix}$

$$A_{м_и_бар} = \begin{pmatrix} 5.2 \times 10^4 \\ 6.7 \times 10^4 \\ 1.26 \times 10^5 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

Тепловая аккумуляция металла испарительной части контура равна:

$$A_{м_и_акт} = A_{м_и_тр} + A_{м_и_колл} + A_{м_и_отв} + A_{м_и_бар}$$

$$A_{м_и_акт_1} = 5.98 \times 10^5 + 1.95 \times 10^4 + 1.69 \times 10^5 + 5.2 \times 10^4 \quad A_{м_и_акт} = \begin{pmatrix} 8.385 \times 10^5 \\ 1.08 \times 10^6 \\ 2.032 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

Тепловая аккумуляция металла всего циркуляционного контура равна:

$$A_{м_акт} = A_{м_и_акт} + A_{м_э_тр} + A_{м_оп_тр} + A_{м_оп_колл}$$

$$A_{м_акт_1} = 8.385 \times 10^5 + 4.68 \times 10^4 + 4.68 \times 10^5 + 1.482 \times 10^4 \quad A_{м_акт} = \begin{pmatrix} 1.368 \times 10^6 \\ 1.763 \times 10^6 \\ 3.315 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

Суммарная теплоаккумулирующая способность циркуляционного контура:

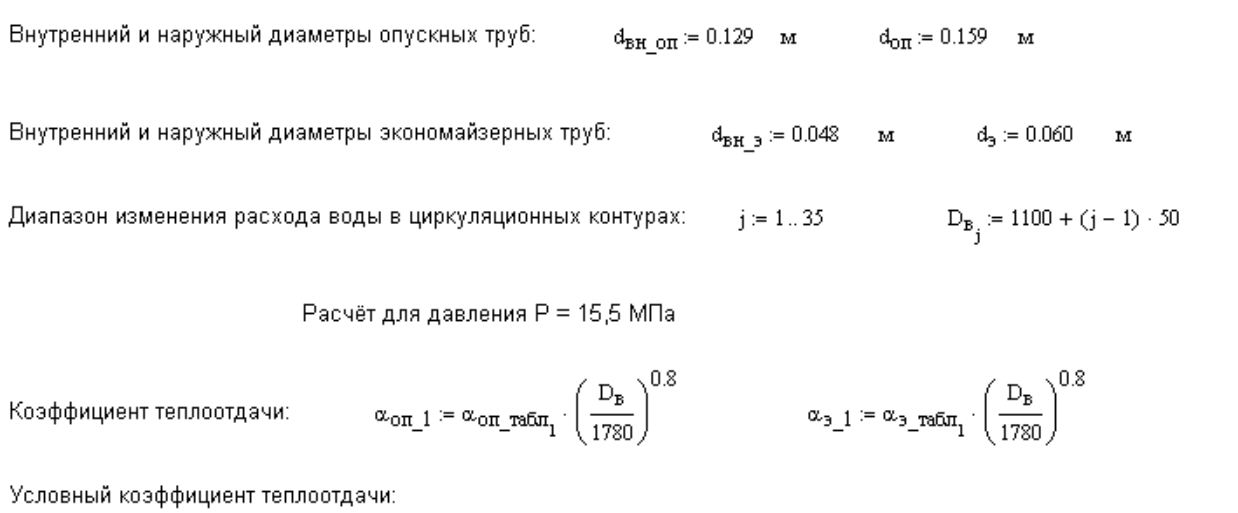
$$A = A_B + A_{II} + A_{м_акт} \quad A = \begin{pmatrix} 2.868 \times 10^6 \\ 3.579 \times 10^6 \\ 6.33 \times 10^6 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{МПа}}$$

Теплота испарения для трёх различных давлений (из табл. 1): $r = \begin{pmatrix} 966.4 \\ 1256.1 \\ 1689.7 \end{pmatrix} \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Количество пара, образующегося в циркуляционном контуре за счёт реализации тепловой аккумуляции при уменьшении давления на 1 МПа:

$$\delta D_{п_1} = \frac{A_B + A_{II} + A_{м_акт_1}}{r_1} \quad \delta D_{II} = \begin{pmatrix} 2.967 \times 10^3 \\ 2.85 \times 10^3 \\ 3.746 \times 10^3 \end{pmatrix} \frac{\text{кг}}{\text{МПа}}$$

Графики теплоаккумулирующей способности контура при трёх значениях давления: $P = \begin{pmatrix} 15.5 \\ 11 \\ 5 \end{pmatrix} \text{ МПа}$



Теплоёмкость металла: $c_M = 0.5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ Теплопроводность металла: $\lambda_M = \begin{pmatrix} 0.042 \\ 0.043 \\ 0.044 \end{pmatrix} \frac{\text{кВт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

Табличные коэффициенты теплоотдачи: $\alpha_{оп_1} = \alpha_{оп_таб_1} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8} \quad \alpha_{э_1} = \alpha_{э_таб_1} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8}$

$$\alpha_{оп_1} = \begin{pmatrix} 12.62 \\ 11.83 \end{pmatrix} \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad \alpha_{э_1} = \begin{pmatrix} 6.60 \\ 6.41 \\ 6.11 \end{pmatrix} \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Внутренний и наружный диаметры опускных труб: $d_{вн_оп} = 0.129 \text{ м} \quad d_{оп} = 0.159 \text{ м}$

Внутренний и наружный диаметры экономайзерных труб: $d_{вн_э} = 0.048 \text{ м} \quad d_э = 0.060 \text{ м}$

Диапазон изменения расхода воды в циркуляционных контурах: $j = 1..35 \quad D_{B_j} = 1100 + (j - 1) \cdot 50$

Расчёт для давления P = 15,5 МПа

Коэффициент теплоотдачи: $\alpha_{оп_1} = \alpha_{оп_таб_1} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8} \quad \alpha_{э_1} = \alpha_{э_таб_1} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8}$

Условный коэффициент теплоотдачи: $\alpha_{усл_оп_1_j} = \frac{\alpha_{оп_1_j}}{1 + \frac{0.2 \cdot d_{вн_оп} \cdot \alpha_{оп_1_j}}{\lambda_{M_1}} \cdot \ln\left(\frac{d_{оп}}{d_{вн_оп}}\right)} \quad \alpha_{усл_э_1_j} = \frac{\alpha_{э_1_j}}{1 + \frac{0.2 \cdot d_{вн_э} \cdot \alpha_{э_1_j}}{\lambda_{M_1}} \cdot \ln\left(\frac{d_э}{d_{вн_э}}\right)}$

Постоянная времени: $T_{м_оп_15.5_j} = \frac{G_{м_оп_тр} \cdot c_M}{\alpha_{усл_оп_1_j} \cdot F_{оп_тр}} \quad T_{м_э_15.5_j} = \frac{G_{м_э_тр} \cdot c_M}{\alpha_{усл_э_1_j} \cdot F_{э_тр}}$

Расчёт для давления P = 11 МПа

Коэффициент теплоотдачи: $\alpha_{оп_2} = \alpha_{оп_таб_2} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8} \quad \alpha_{э_2} = \alpha_{э_таб_2} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8}$

Условный коэффициент теплоотдачи: $\alpha_{усл_оп_2_j} = \frac{\alpha_{оп_2_j}}{1 + \frac{0.2 \cdot d_{вн_оп} \cdot \alpha_{оп_2_j}}{\lambda_{M_2}} \cdot \ln\left(\frac{d_{оп}}{d_{вн_оп}}\right)} \quad \alpha_{усл_э_2_j} = \frac{\alpha_{э_2_j}}{1 + \frac{0.2 \cdot d_{вн_э} \cdot \alpha_{э_2_j}}{\lambda_{M_2}} \cdot \ln\left(\frac{d_э}{d_{вн_э}}\right)}$

Постоянная времени: $T_{м_оп_11_j} = \frac{G_{м_оп_тр} \cdot c_M}{\alpha_{усл_оп_2_j} \cdot F_{оп_тр}} \quad T_{м_э_11_j} = \frac{G_{м_э_тр} \cdot c_M}{\alpha_{усл_э_2_j} \cdot F_{э_тр}}$

Расчёт для давления P = 5 МПа

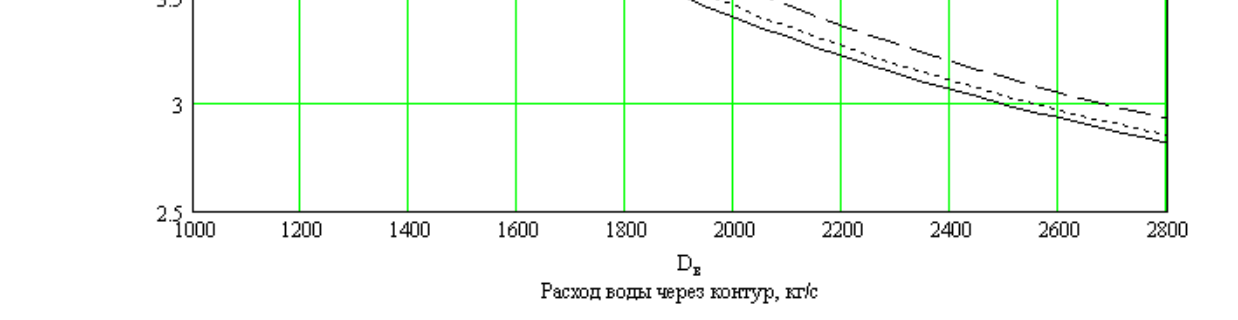
Коэффициент теплоотдачи: $\alpha_{оп_3} = \alpha_{оп_таб_3} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8} \quad \alpha_{э_3} = \alpha_{э_таб_3} \cdot \left(\frac{D_B}{1780}\right)^{0.8}$

Условный коэффициент теплоотдачи: $\alpha_{усл_оп_3_j} = \frac{\alpha_{оп_3_j}}{1 + \frac{0.2 \cdot d_{вн_оп} \cdot \alpha_{оп_3_j}}{\lambda_{M_3}} \cdot \ln\left(\frac{d_{оп}}{d_{вн_оп}}\right)} \quad \alpha_{усл_э_3_j} = \frac{\alpha_{э_3_j}}{1 + \frac{0.2 \cdot d_{вн_э} \cdot \alpha_{э_3_j}}{\lambda_{M_3}} \cdot \ln\left(\frac{d_э}{d_{вн_э}}\right)}$

Постоянная времени: $T_{м_оп_5_j} = \frac{G_{м_оп_тр} \cdot c_M}{\alpha_{усл_оп_3_j} \cdot F_{оп_тр}} \quad T_{м_э_5_j} = \frac{G_{м_э_тр} \cdot c_M}{\alpha_{усл_э_3_j} \cdot F_{э_тр}}$

| | | |
|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| D _{B_j} = | T _{м_оп_15.5_j} = | T _{м_э_15.5_j} = |
| 1.1·10 ³ | 12.245 | 4.926 |
| 1.15·10 ³ | 12.041 | 4.786 |
| 1.2·10 ³ | 11.853 | 4.657 |
| 1.25·10 ³ | 11.679 | 4.537 |
| 1.3·10 ³ | 11.516 | 4.425 |
| 1.35·10 ³ | 11.365 | 4.321 |
| 1.4·10 ³ | 11.223 | 4.223 |
| 1.45·10 ³ | 11.09 | 4.132 |
| 1.5·10 ³ | 10.965 | 4.046 |
| 1.55·10 ³ | 10.848 | 3.965 |
| 1.6·10 ³ | 10.737 | 3.888 |
| 1.65·10 ³ | 10.632 | 3.816 |
| 1.7·10 ³ | 10.533 | 3.748 |
| 1.75·10 ³ | 10.438 | 3.683 |
| 1.8·10 ³ | 10.349 | 3.621 |
| 1.85·10 ³ | 10.264 | 3.562 |
| 1.9·10 ³ | 10.183 | 3.507 |
| 1.95·10 ³ | 10.105 | 3.453 |
| 2·10 ³ | 10.031 | 3.403 |
| 2.05·10 ³ | 9.961 | 3.354 |
| 2.1·10 ³ | 9.893 | 3.307 |
| 2.15·10 ³ | 9.829 | 3.263 |
| 2.2·10 ³ | 9.766 | 3.22 |
| 2.25·10 ³ | 9.707 | 3.179 |
| 2.3·10 ³ | 9.65 | 3.14 |
| 2.35·10 ³ | 9.595 | 3.102 |
| 2.4·10 ³ | 9.542 | 3.065 |
| 2.45·10 ³ | 9.491 | 3.03 |
| 2.5·10 ³ | 9.441 | 2.996 |
| 2.55·10 ³ | 9.394 | 2.964 |
| 2.6·10 ³ | 9.348 | 2.932 |
| 2.65·10 ³ | 9.304 | 2.902 |
| 2.7·10 ³ | 9.261 | 2.872 |
| 2.75·10 ³ | 9.22 | 2.844 |
| 2.8·10 ³ | 9.18 | 2.816 |

Постоянная времени для опускных труб при различных значениях расхода воды



Постоянная времени для экономайзерных труб при различных значениях расхода воды

