

Раздел шестой
**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ
 ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**
6.4. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ
6.4.5. Оценка экономической эффективности применения воздушных конденсаторов
Клевцов А.В., Пронин В.А.; МЭИ(ТУ)

Экономическая эффективность внедрения новой техники определяется сравнением нового и базового вариантов. За базовый вариант (1) примем поверхностный конденсатор (с мокрой градирней) турбины Т-250/300-240, а за новый (2) — разрабатываемый воздушный конденсатор (ВК).

Поверхностный конденсатор

Исходные данные базового варианта с поверхностным конденсатором:

Тепловая нагрузка конденсатора	
Q , МВт	369,83
Расход пара $G_{п2}$, кг/с	165
Поверхность теплообмена конденсатора, $F_{п.к}$, м ²	14 000
Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, $t_{в1}$, °С	20
Давление пара в конденсаторе, p_k , кПа	5,3
Расход охлаждающей воды, $G_{ш.р.к.}$ воды, М ³ /ч	28 000
Кратность охлаждения, m	28,6

Оценку экономической эффективности рассматриваемых вариантов будем проводить по приведенным затратам. Определяем разность приведенных затрат:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2.$$

Приведенные затраты в базовом и новом вариантах:

$$Z_1 = K_1 E_n + S_1 + S_3 \mathcal{E}_1;$$

$$Z_2 = K_2 E_n + S_2 + S_3 (\mathcal{E}_{вент} + \mathcal{E}_1).$$

Определяем капиталовложения в базовом варианте:

$$K_1 = (K_{п.к} F_{п.к} + K_r F_r) (1 + \alpha_{пр}) (1 + \alpha_m),$$

где $K_{п.к} = 370$ руб/м² — удельные капиталовложения в поверхностный конденсатор; $K_r F_r = 83,65 \cdot 10^6$ руб. — стоимость градирни; $\alpha_{пр} = 1,27$ — коэффициент, учитывающий общестанционные сооружения; $\alpha_m = 0,18$ — коэффициент, учитывающий стоимость монтажа.

$$K_1 = (370 \cdot 14\,000 + 83,65 \cdot 10^6) (1 + 1,27) (1 + 0,18) = 237,94 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

Себестоимость базового варианта:

$$S = S_{ам1} + S_{тр1} + S_{пр1} + S_{тех. вод.}$$

Принимаем амортизационные отчисления $H_{ам}$ в размере 3,3 %, тогда затраты на амортизацию:

$$S_{ам1} = H_{ам} K_1 = 0,033 \cdot 237,94 \cdot 10^6 = 7,852 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Затраты на трубопроводы:

$$S_{тр} = 0,2 S_{ам1} = 0,2 \cdot 7,852 \cdot 10^6 = 1,5704 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Затраты на заработную плату $S_{з.п}$ и затраты на топливо S_t не учитываем, так как считаем их одинаковыми в базовом и расчетном вариантах.

Определим затраты на приобретение технологической воды. Расход воды:

а) на испарение

$$G_{исп} = 1\,794\,656 \text{ м}^3/\text{год};$$

б) на капельный унос

$$G_{кап. унос} = 121\,837 \text{ м}^3/\text{год};$$

в) на продувку

$$G_{прод} = 3\,401\,486 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Цена технологической воды $Ц_{вод} = 1,22$ руб/м³, цена сброса продувочной воды $Ц_{прод. вод} = 1,09$ руб/м³.

Расход технологической воды

$$G_{тех. вод} = G_{исп} + G_{кап. унос} + G_{прод} = 5\,317\,979 \text{ руб/м}^3.$$

Затраты на приобретение технологической воды

$$S_{тех. вод} = 5\,317\,979 \cdot 1,22 = 6,488 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Затраты на сброс продувочной воды

$$S_{сб. пр} = 3\,401\,486 \cdot 1,09 = 3,708 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Затраты на технологическую воду:

$$S_{тех. вод} = 6,488 \cdot 10^6 + 3,708 \cdot 10^6 = 10,196 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Прочие затраты

$$S_{пр1} = 0,2 (S_{тех. вод} + S_{ам1} + S_{тр1});$$

$$S_{пр1} = 0,2 (10,196 \cdot 10^6 + 7,852 \cdot 10^6 + 1,5704 \cdot 10^6) = 3,924 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Суммарные затраты в базовом варианте

$$S_1 = S_{тех. вод} + S_{ам1} + S_{тр1} + S_{пр1};$$

$$S_1 = (10,196 + 7,852 + 1,5704 + 3,924) \cdot 10^6 = 23,5424 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Годовой расход электроэнергии на циркуляционные насосы

$$\mathcal{E}_{г.ц.н} = N_{ц.н} n_{ц.н} \tau,$$

где $N_{ц.н}$ — мощность электродвигателя одного циркуляционного насоса; $n_{ц.н}$ — число циркуляционных насосов на блок; τ — число часов работы энергоблока в год, ч;

$$\mathcal{E}_{г.ц.н} = 780 \cdot 2 \cdot 7500 = 11,7 \cdot 10^3 \text{ МВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Приведенные затраты в базовом варианте

$$Z_1 = K_1 E_n + S_1 + S_3 \mathcal{E}_{г.ц.н};$$

$$Z_1 = 237,94 \cdot 10^6 \cdot 0,1 + 23,5424 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 11,7 \cdot 10^6 = 48,506 \cdot 10^6 \text{ руб/год.}$$

Воздушный конденсатор

Исходные данные:

Тепловая нагрузка конденсатора	
Q , МВт	369,83
Расход пара, $G_{п2}$, кг/с	165
Температура охлаждающего атмосферного воздуха $t_{в1}$, °С	20
Давление пара в конденсаторе, p_k , кПа	5,3
Температура насыщения пара t_s , °С	34
Кратность охлаждения m	100

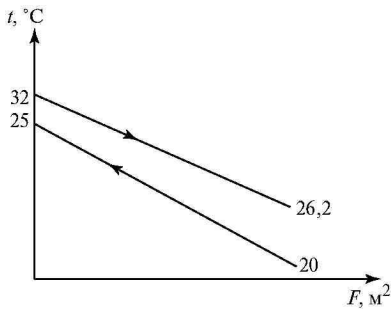
Температура рабочей воды в смешивающем конденсаторе ниже температуры насыщения на 0,5.....2 °С, т.е. примем $t_1' = t_s - 2 = 34 - 2 = 32$ °С. Определим нагрев во-

ды в эжекторе-конденсаторе

$$\delta t_1 = \frac{r}{c_p m} = \frac{2420 \cdot 10^3}{4170 \cdot 100} = 5,8 \text{ }^\circ\text{C},$$

где r — скрытая теплота парообразования; c_p — теплоемкость воды.

Примем расчетную схему:



Определим эффективность нагрева воздуха

$$\varepsilon = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1'' - t_1'} = \frac{25 - 20}{32 - 20} = \frac{5}{12} = 0,42.$$

Расход воздуха

$$G_2 = \frac{Q}{c_p \delta t_2} = \frac{369,83 \cdot 10^6}{1005 \cdot 5} = 74 \text{ } 000 \text{ кг/с}.$$

По графику из [11] при $\varepsilon = 0,42$ определим число единиц переноса тепла NTU = 0,75.

Определим Gc_p :

$$G_1 c_{p1} = G_m \cdot 4174 = 165 \cdot 100 \cdot 4174 = 68,87 \cdot 10^6;$$

$$G_2 c_{p2} = G_v \cdot 1005 = 74 \text{ } 000 \cdot 1005 = 74,00 \cdot 10^6.$$

Определим отношение водяных эквивалентов теплоносителя:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{68,87}{74,00} = 0,92.$$

Определим поверхность теплообмена:

$$F_2 = \text{NTU} \frac{W_{\min}}{k} = 0,75 \cdot \frac{68,87 \cdot 10^6}{40} = 1 \text{ } 291 \text{ } 313 \text{ м}^2$$

— оребренная поверхность со стороны охлаждающего воздуха. Примем значение коэффициента оребрения труб пучка равным 20, тогда поверхность теплообмена со стороны охлаждаемой воды будет:

$$F_2' = F_2 / 20 = 64 \text{ } 566 \text{ м}^2.$$

Электрическая мощность привода вентилятора при прокачке воздуха вентиляционной установкой определится следующим образом. Производительность одного вентилятора $G_2 = 260$ кг/с, следовательно, число вентиляционных установок будет равно $N_{\text{уст}} = 74 \text{ } 000 / 260 = 285$. Поскольку при этом мощность одного двигателя составляет 75 кВт, то суммарная мощность $\mathcal{E}_{\text{вент}} = 285 \cdot 75 = 21 \text{ } 375$ кВт.

Приведенные затраты в новом варианте:

$$Z_2 = K_2 E_n + S_2 + S_3 (\mathcal{E}_{\text{вент}} + \mathcal{E}_{\text{цирк.нас}}).$$

Капиталовложения в новый вариант

$$K_2 = KF(1 + \alpha_{\text{пр}})(1 + \alpha_{\text{м}}) =$$

$$= KF_2(1 + 1,27)(1 + 0,18) = KF_2' \cdot 2,68,$$

где K — цена оребренной поверхности, руб/м³. Себестоимость нового варианта

$$S_2 = S_{\text{ам2}} + S_{\text{тр2}} + S_{\text{пр2}}$$

Затраты на амортизацию

$$S_{\text{ам}} = 0,033 K$$

Затраты на трубопроводы

$$S_{\text{тр2}} = 0,2_{\text{ам2}} = 0,2 \cdot 0,033 K = 0,0066 K.$$

Прочие затраты

$$S_{\text{пр2}} = 0,2(S_{\text{ам2}} + S_{\text{тр2}}) = 0,2(0,033 K + 0,0066 K) =$$

$$= 0,2 \cdot 0,0396 K = 0,00792 K.$$

Суммарные затраты в новом варианте

$$S_2 = 0,033 K + 0,0066 K + 0,00792 K = 0,04752 K.$$

Расход электроэнергии циркуляционных насосов примем в 3,5 раза больше, так как кратность охлаждения в новом варианте $m = 100$ (в базовом $m = 28,6$).

$$\mathcal{E}_{\text{цирк.нас}} = 3,5(780 \cdot 2) = 5460 \text{ кВт};$$

$$\mathcal{E}_{\text{цирк.нас}} = S_3 \cdot \tau \cdot \mathcal{E}_{\text{цирк.нас}} = 0,1 \text{ } 7500 \text{ } 5460 =$$

$$= 4,095 \cdot 10^6 \text{ руб/год}.$$

Расход электроэнергии приводами вентиляторов

$$S_{\text{вент}} = S_3 \mathcal{E}_{\text{вент}} = 0,1 \text{ } 21375 \text{ } 7500 =$$

$$= 16,03 \cdot 10^6 \text{ руб/год}.$$

Приведенные затраты

$$Z_2 = 2,68(KF)0,1 + 0,04752 K + S_{\text{цирк.нас}} + S_{\text{вент}};$$

$$Z_2 = K(0,268F + 0,04752) +$$

$$+ (4,095 \cdot 10^6 + 16,03 \cdot 10^6);$$

$$Z_2 = K - 17304 + 20,125 \cdot 10^6.$$

Если цена оребренной поверхности $K = 1000$ руб/м², то

$$Z_2 = 1000 \cdot 17304 + 20,125 \cdot 10^6 =$$

$$= (17,304 + 20,125) \cdot 10^6 = 37,429 \cdot 10^6 \text{ руб/м}^2.$$

При ценах до $K = 1500$ руб/м² вариант ВК выгоднее традиционной схемы охлаждения. Разность приведенных затрат

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 = 48,506 \cdot 10^6 - 37,429 \cdot 10^6 =$$

$$= 11,077 \cdot 10^6 \text{ руб/год}.$$

Полученный результат свидетельствует об экономической выгоде использования воздушно-конденсационной установки по сравнению с традиционной системой поверхностного конденсатора (с «мокрой градирней»).