

МЕТОДИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ

Е. А. Чеботарев, А. И. Свидченко, Н. Г. Чеботарева*

*Ставропольский государственный университет

Предлагается методика экологической оценки работы выпарной установки на основе определения степени уноса вторичным паром сгущаемого раствора, расчета тепловыделений и аэродинамического шума. Результаты оценки должны служить основанием для мероприятий, повышающих экологичность работы выпарной установки.

The technique of an ecological assessment of works of evaporator is offered on the basis of definition of a degree of ablation secondary steam of a condensed solution, calculation of thermal emissions and aerodynamic noise. Results of an estimation should form the basis for the actions raising ecological compatibility of work of evaporator.

Выпарные установки, достаточно широко используемые в пищевых и химических технологиях [1], являются источниками загрязнений окружающей среды.

Экологическая оценка работы выпарной установки может быть осуществлена по следующим направлениям:

- загрязнение вторичного пара выпариваемым раствором;
- тепловые загрязнения;
- шумовые загрязнения.

Для оценки загрязнения вторичного пара, а следовательно, и конденсата, выпариваемым раствором необходимо определить степень уноса частиц раствора в сепараторе-пароотделителе.

Диаметр капель выпариваемого раствора, уносимых вторичным паром из сепаратора-пароотделителя в каждом корпусе, будет равен:

$$d_{\kappa} \leq \frac{3\varphi\rho_1 v_n^2}{4(\rho_1 - \rho_2)g}, \quad (1)$$

где v_n – скорость вторичного пара в пароотделителе, м/с;

φ – коэффициент сопротивления;

ρ_1 – плотность выпариваемого продукта при средней концентрации раствора в корпусе и соответствующей температуре выпаривания, кг/м³;

ρ_2 – плотность вторичного пара, кг/м³.

Скорость вторичного пара в сепараторе-пароотделителе определяется по формуле:

$$v_n = \frac{W}{900\pi\rho_2 D_{II}^2}, \quad (2)$$

где W – количество вторичного пара на выходе из выпарного аппарата, кг/с;

D_{II} – внутренний диаметр сепаратора-пароотделителя.

Критерий подобия Рейнольдса для потока вторичного пара будет равен:

$$Re_{II} = \frac{v_{II} D_{II}}{\nu_{II}}, \quad (3)$$

где ν_{II} – кинематическая вязкость вторичного пара при температуре выпаривания, м²/с.

При $Re < 500$ коэффициент сопротивления определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{18,5}{\sqrt{Re_{II}}}. \quad (4)$$

Если $Re \geq 500$, то можно принять $\varphi = 0,44$.

Определив размер уносимых вторичным паром частиц, по специальной диаграмме находят суммарный относительный объемный выход частиц $[D(d_k), \%]$.

Если $D(d_k) \leq 5\%$, унос можно считать незначительным и не требуется мер для его предотвращения. В противном случае можно несколько снизить скорость вторичного пара путем увеличения диаметра сепаратора в 1,1...1,2 раза, а также предусмотреть установку каплеотделителя.

Тепловые загрязнения характеризуются величиной тепловых потерь

в окружающую среду и снижаются при использовании теплоизоляции.

Толщина изоляционного слоя ($\delta_{из}$, м) калоризатора определяется из следующего уравнения:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left(\frac{1}{K_o} - \frac{1}{\alpha_o} \right), \quad (5)$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м·К);

K_o – коэффициент теплопередачи в окружающую среду, Вт/(м²·К);

α_o – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающему воздуху, Вт/(м²·К).

В свою очередь

$$K_o = \alpha_o \frac{t_{из} - t_g}{t_n - t_g}, \quad (6)$$

где $t_{из}$ – допустимая температура поверхности изоляции, которая может быть принята равной 40 °С;

t_g – температура воздуха (15...20 °С);

t_n – температура греющего пара, °С.

Соответственно

$$\alpha_o = 9,3 + 0,06 t_{из}. \quad (7)$$

Тогда потери тепла в окружающую среду (Q_o , Вт) составят:

$$Q_o = K_o F_o (t_n - t_{вз}), \quad (8)$$

где $F_o = \pi D_k l$ – наружная поверхность калоризатора, м².

Относительные тепловые потери составят:

$$\Delta Q = \frac{Q_o}{Q_i} 100\%, \quad (9)$$

где Q_i – тепловая нагрузка в соответствующем корпусе, Вт.

Если $\Delta Q > 5\%$ необходимо увеличить толщину теплоизоляции или использовать другой теплоизоляционный материал.

Шумовые загрязнения при работе выпарной установки создаются,

главным образом, работающими центробежными насосами, движущимися через регулируемую арматуру греющим паром (аэродинамический шум), а также циркулирующим в аппаратах раствором, причем основную долю составляет аэродинамический шум.

Общий уровень аэродинамического шума (L_p , дВ), создаваемого движущимся через вентиль к калоризатору первой ступени греющим паром [2] можно определить по формуле:

$$L_p = L_{\Delta p} + L_c + \Delta L_p, \quad (10)$$

где $L_{\Delta p}$ – общий уровень звукового давления, дВ, определяемый в зависимости от Δp ;

L_c – коррекция для коэффициента C_g скорости потока пара, дВ;

ΔL_p – коррекция в зависимости от перепада давления, дВ;

$\Delta p = p_M - p_n$ – разность между давлением пара в магистрали (p_M , МПа) и давлением греющего пара (p_n , МПа), поступающего в калоризатор выпарной установки, МПа.

Общий уровень звукового давления можно определить по формуле:

$$L_{\Delta p} = 7,5187 \ln \Delta p + 95,3950. \quad (11)$$

Скоростной коэффициент C_g определяется по формуле:

$$C_g = \frac{G_1 \cdot 10^3}{0,32 \sqrt{\rho_n p_M}} \cdot \frac{1}{\sin(97,63 \sqrt{\frac{\Delta p}{p_M}})}, \quad (12)$$

где G_1 – расход греющего пара, кг/ч;

ρ_n – плотность греющего пара, кг/м³.

Тогда коррекция для размерного коэффициента скорости потока

$$L_c = 9,95 \ln C_g - 84,50. \quad (13)$$

Коррекцию в зависимости от перепада давления предлагается определять по формуле:

$$\Delta L_p = 9,74 \ln \frac{\Delta p}{p_M} + 18,45. \quad (14)$$

При $\frac{\Delta p}{p_M} \leq 0,15$ $\Delta L_p = 0$, при $\frac{\Delta p}{p_M} > 0,7$ $\Delta L_p = 15$ дБ.

Определив величину звукового давления, можно оценить необходимость звукоизоляционных мероприятий.

Предлагаемая методика может использоваться при проектировании выпарных установок для пищевой и химической промышленности.

Литература

1. Таубман Е. И. Выпаривание. – М.: Химия, 1982. – 328 с.
2. Справочник по контролю промышленных шумов: Пер. с англ. / Под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1979. – 447 с.