

УДК 612.165; 311.25; 621.039

И.Г. ШЕЛЕПОВ*, канд. техн. наук, М.А. САФРОНИЮК**

*Украинская инженерно-педагогическая академия,
кафедра теплоэнергетических установок ТЭС и АЭС, г. Харьков, Украина
**Филиал Центральное конструкторское бюро «Энергопрогресс»
ООО «Котлотурбопром», г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Діагностика вакууму в конденсаторах в темпі процесу по виробленню електроенергії – одна з актуальних задач при експлуатації енергоблоків. Авторами показана можливість вдосконалення технічної діагностики поточного вакууму конденсатора, за рахунок уточнення величини термічного опору.

Diagnostics of vacuum in condensers in the course of electric power generation is one of actual tasks during power units maintenance. The possibility of the technical diagnostics perfection of the current vacuum of a condenser due to the more precise definition of the thermal resistance value is proposed.

Расчетные формулы гидравлического сопротивления конденсатора являются эмпирическими и полумпирическими. В этом случае наиболее рациональным методом анализа потерь напора является метод численного анализа.

Для упрощения анализа гидравлического сопротивления отнесем трубки конденсатора к одному ходу воды и выразим напор в м вод. столба (м). Тогда

$$H_{\text{констр}} = \frac{c_o \cdot l}{\beta_3} \cdot w^{1,75} + 0,135 \cdot w^{1,5}, \quad (1)$$

$$H_{\text{повер.}} = \lambda_{\text{з.гидр}} \frac{l}{(d_{\text{вн}} - 2 \cdot \delta_{3,i})} \cdot \frac{(w \pm \Delta w_{\delta})^2}{2g} + 1,5 \cdot \frac{(w \pm \Delta w_{\delta})^2}{2g}. \quad (2)$$

Структурный анализ формулы (1) показывает, что она применима к простому трубопроводу постоянного сечения с установившемся движением жидкости [1, 2]. Определить степень влияния отложений на потерю напора в интервале коэффициента ожидаемого загрязнения $0,85 \leq \beta_3 \leq 1,0$, можно только на границах этого интервала, т.к. внутри интервала закономерность роста отложений в формуле (1) не определена. Если субъективно задать, например, равномерный шаг изменения β_3 внутри интервала, то влияние отложений на изменение напора будет носить гиперболический характер. В теоретической гидравлике принята параболическая зависимость напора от расхода $H = K \cdot W^2$, где K – коэффициент пропорциональности. Обычно для турбулентного течения, выражая скорость через расход, получают зависимость [2]

$$\sum H = \left(\sum \zeta + \lambda_{\text{тр}} \frac{1}{d_{\text{вн}}} \right) \cdot \frac{16 \cdot W^2}{2g \cdot \pi^2 \cdot d_{\text{вн}}^4}, \quad (3)$$

следовательно

$$K = \left(\sum \zeta + \lambda_{\text{тр}} \frac{1}{d_{\text{вн}}} \right) \cdot \frac{16}{2g \cdot \pi^2 \cdot d_{\text{вн}}^4}, \quad (4)$$

что аналогично формуле (2).

Формула (2) лишена недостатка формулы (1), т.к. определяет потерю напора в зависимости от роста толщины слоя отложений на протяжении всего интервала значений $0 \leq \delta_{3,i} \leq \delta_{3,\text{max}}$.

Интенсификация роста отложений зависит от режима движения потока воды в трубке, которая определяется числом Рейнольдса Re [3]

$$Re = \frac{w \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (5)$$

где $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубки конденсатора, м.

В общем, виде коэффициент кинематической вязкости воды зависит от температуры t и давления p , т.е. $\nu = f(t, p)$. Для воды давление p сказывается на вязкости при величине $p \geq 20$ МПа [3]. Учитывая, что в трубках конденсатора $p \ll 20$ МПа, для практических расчетов можно принять $\nu = f(t)$. Для воды Пуазейлем была установлена зависимость [3]

$$\nu = \frac{0,0178}{1 + 0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2}. \quad (6)$$

Очевидно, что для формулы (5), ν , см²/с в формуле (6) будет равно $10^{-4} \cdot \nu$, м²/с.

Тогда значение числа Рейнольдса по (5), с учетом (6), в общем виде можно выразить зависимостью

$$Re = d_{\text{вн}} \cdot f(w, t), \quad (7)$$

где t – температура воды в трубках конденсатора, °С.

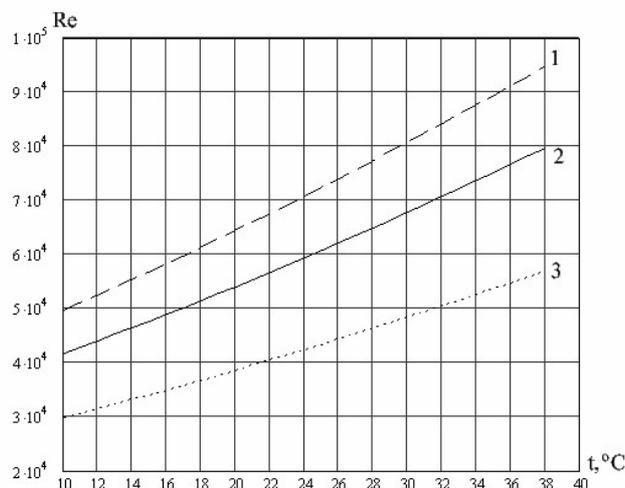
Согласно тепловому расчету конденсатора, $t_{1в} = 15$ °С; $t_{2в} \approx 26$ °С. По данным практики на ЗаАЭС, значения t изменялось в пределах от $t_{\text{min}} = 10$ °С до $t_{\text{max}} = 38$ °С.

Зависимость (7) представлена в графическом виде на рис. 1.

Из теоретической гидравлики известно, что развитое турбулентное движение потока наступает при значении числа Рейнольдса $Re \geq 3 \cdot 10^3$ [4]. Таким образом, движение охлаждающей воды в трубках конденсатора К-33160 является потоком с развитым турбулентным движением. При этом: $Re_{\text{min}} \approx 3 \cdot 10^4$; $Re_{\text{max}} \approx 9,5 \cdot 10^4$.

Несущая способность потока определяется критической скоростью $w_{\text{кр}}$, м/с, при которой твердая частица вещества любой формы будет находиться во взвешенном состоянии. Известно, что частица вещества, имеющая форму шара, обладает большей массой, чем частица любой другой формы, состоящая из этого вещества (кроме катеноида) [4].

Поэтому, для исследования несущей способности потока, выберем частицу в форме шара. Отметим, что коэффициент сопротивления при обтекании у шара – наименьший. Следовательно, результат несущей способности потока, полученный для



1 – $w_{max} = 2,5$ м/с; 2 – $w_{nom} = 2,2$ м/с; 3 – $w_{min} = 1,5$ м/с

Рис. 1. Значение числа Рейнольдса $Re = d_{вн} \cdot f(w, t)$ при движении воды в трубках конденсатора К-33160

шара, будет подходить к любой частице произвольной формы, имеющей одинаковую с шаром массу. Определить критическую скорость потока для частиц небольшого диаметра (до 10 мм) можно, воспользовавшись формулой, приведенной в [3]

$$w_{кр} = \sqrt{\frac{13,08 \cdot 10^{-3} (\gamma_T - \gamma_B) \cdot d_{ш}}{C_{ш} \cdot \gamma_B}}, \quad (8)$$

где γ_T – удельный вес твердого материала, кг/м³; в качестве материала выберем частицу песка, тогда $\gamma_T = 2050$ кг/м³;

γ_B – удельный вес воды, кг/м³; при $t = 20$ °С, $\gamma_B = 998,26$ кг/м³;

$C_{ш}$ – коэффициент сопротивления шара; при $Re = 4 \cdot 10^5$, $C_{ш} = 0,09$;

$d_{ш}$ – диаметр частицы песка, м.

Для наглядности зависимость $w_{кр} = f(d_{ш})$ представлена в графическом виде и показана на рис. 2.

Анализируя данные, рассчитанные по формуле (8), можно сделать вывод, что несущей способности потока воды в трубке конденсатора достаточно для того, чтобы транспортировать во взвешенном состоянии не только частицы взвеси, но и частицы песка во всем диапазоне их дисперсного состава (до 2 мм). При этом, критическая скорость потока для частиц песка, диаметром 2 мм, оказывается в три раза меньше минимальной скорости потока воды в трубке.

Образование взвесей, как компонента гетерогенной системы, в природной воде водоемов-охладителей определяется содержанием в этих водах кальция, магния и натрия. Из теории лимнологии следует [1], что основными источниками взвесей являются два природных физико-химических процесса:

первый – химический процесс перехода в осадок слаборастворимых, или нерастворимых солей кальция и магния из гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов;

второй – физико-химическое разрушение и вымывание наиболее распространенных в природе осадочных пород, например, мрамора ($CaCO_3$),

известняка (CaCO_3), доломита (CaCO_3 , MgCO_3) и др., а также изверженных пород, например, кварцевого песка (SiO_2), гранита.

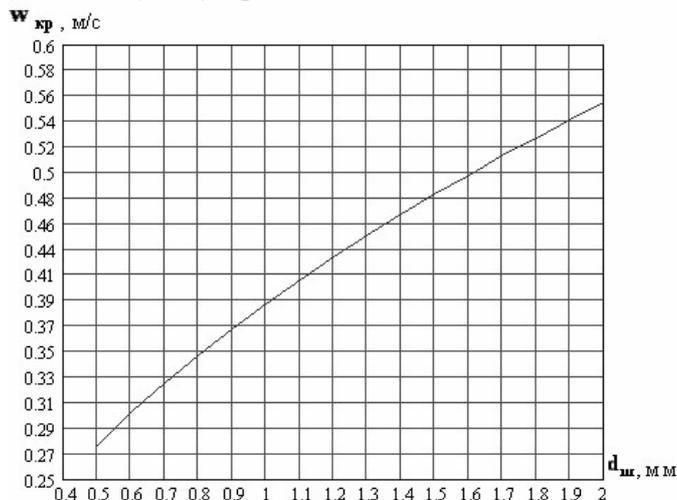


Рис. 2. Критическая скорость потока, $w_{кр} = f(d_{ш})$, позволяющая поддерживать во взвешенном состоянии частицы песка шарообразной формы

Известно [2], что сформировавшиеся таким образом взвеси, представляют собой широкую гамму полидисперсных образований, величина частиц которых колеблется от коллоидных размеров до макрочастиц. По классификации О.О. Алекина [4] большинство крупных и малых рек, а также озер и водохранилищ Украины, как и Европы, относятся к классу гидрокарбонатных вод.

В настоящее время экосистема практически всех водоемов-охладителей крупных ТЭС и всех АЭС Украины динамически оформилась и относится к гидрокарбонатному классу, включающему в себя группу кальция смешанного типа II, или $\text{C}_{II}^{\text{Ca}}$ [3]. Поэтому преобладающим источником взвесей в водоемах-охладителях является выпадающие в осадок карбонаты кальция (CaCO_3) и, частично, кальция и магния (Ca , $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$). Эти процессы изучены и описаны [3]. Кроме того, эти процессы получили убедительное подтверждение практикой в результате многолетних наблюдений (1991–2002 гг.) водно-радио-химической лабораторией (ВРХЛ) ЗаАЭС. По данным ВРХЛ ЗаАЭС химический состав отложений в трубках конденсаторов ЗаАЭС в пересчете на оксиды в среднем составляет, %: $\text{CaO} \approx 50,0$; $\text{MgO} \approx 5,0$; $\text{SiO}_2 \approx 3,0$.

Литература

1. Рабинович. Е.З. Гидравлика. – М.: Недра, 1980. – 300 с.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: НЕДРА, 1982. – 224 с.
3. Сафронюк М.А. Влияние состояния поверхностей теплообмена на вакуум в конденсаторах паровых турбин // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Сб. научн. трудов / Редкол.: Ю.М. Мацевитый (отв. ред.) и др. – Харьков: Ин-т проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. – 2003. – Т. 2. – С. 505-511.
4. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. – К.: Обереги, 2001. – 728 с.