

3. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно - М.: Мир, 1993.– 368 с.
4. Патент на изобретение № 2655948 С1. Российская Федерация. МПК G01R 31/00. Устройство регистрации, идентификации перенапряжений и оценки остаточного ресурса изоляции погружных электродвигателей: № 2017109534; заявл. 21.03.2017 / Сушков В.В., Сухачев И. С.: патенто-обладатель Тюменский индустриальный университет; опубл. 30.05.2018, Бюл. № 16. - 8 с.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕННИКА АВАРИЙНОГО И ПЛАНОВОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ

Д.Ю. Фазлыев

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5061

Введение

Теплообменные процессы являются важной частью при производстве электроэнергии. Наиболее распространенные теплообменники – это теплообменные аппараты поверхностного типа, в которых теплопередача между различными средами происходит через стенку. Зачастую конечным поглотителем является окружающая среда, под которой подразумеваются входящие в неё водоемы (реки, водохранилища, градирни, брызгальные бассейны и т.д.). Так как объем воды, необходимый для охлаждения того или иного объекта, большой, это приводит к невозможности использовать химическую обработку этих вод.

Техническая вода всегда содержит примеси, которые загрязняют поверхность теплообмена, снижая коэффициент теплопередачи и соответственно эффективность теплообменника. Отложения при небольшой толщине ($\delta = 0,2 \div 1,0$ мм) приводят к снижению коэффициента теплопередачи до 30–60%, так как их коэффициент теплопроводности ($\lambda = 0,2 \div 1,5$) Вт/(м·К) мал в сравнении с теплопроводностью материала теплообменных труб ($\lambda = 20 \div 100$) Вт/(м·К) [3].

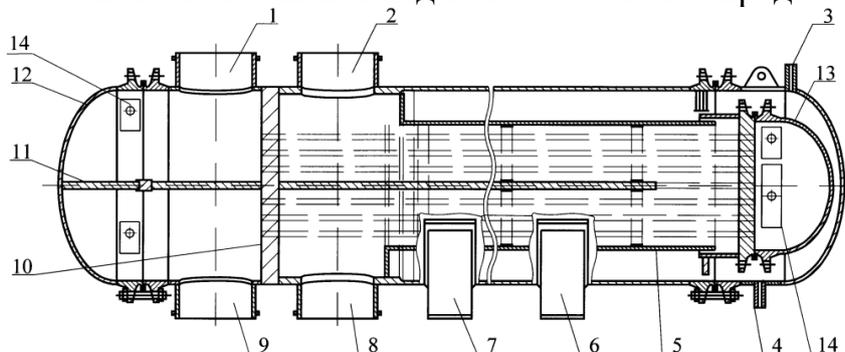
Одним из методов повышения эффективности теплообменников является прогнозирование отложений. Для каждой системы охлаждения предполагается уникальность образования отложений, поэтому эффективность их диагностирования во многих случаях незначительна.

Тема внедрения средств диагностирования теплообменного оборудования актуальна, так как это позволяет оптимально подбирать сроки очистки, вследствие чего достигается снижение затрат на ремонт и оперативный контроль состояния теплообменной поверхности.

В данной работе рассмотрена будет методика диагностирования отложений теплообменника системы аварийного и планового охлаждения зоны.

Описание объекта исследования

Система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) совмещает функции системы нормальной эксплуатации (плановое и ремонтное расхолаживание) и функции системы безопасности (аварийное расхолаживание). Для выполнения данных функций необходимо обеспечить высокую эффективность входящих в систему теплообменников. Внешний вид теплообменника представлен на рис. 1.



Рису. 1. Теплообменник аварийного и планового расхолаживания

Теплообменник – поверхностный, горизонтальный, двухходовой по охлаждающей воде. Охлаждающая вода – техническая вода группы «А», расход которой до $3000 \text{ м}^3/\text{ч}$, в межтрубном пространстве – теплоноситель первого контура расходом не более $1750 \text{ м}^3/\text{ч}$. Количество теплообменных труб – 1878.

Система САОЗ при нормальной эксплуатации энергоблока находится в дежурстве, это означает, что через теплообменник протекает только одна среда: техническая вода, прошедшая через потребители реакторного отделения. При этом происходит постепенный занос трубок отложениями. Данное явление приводит к неспособности теплообменника выполнить свои функции в аварийных режимах [2].

Методика диагностирования

В связи с этим была разработана методика диагностирования теплообменника по перепаду давления, схема которой представлена на рис.2 [1].

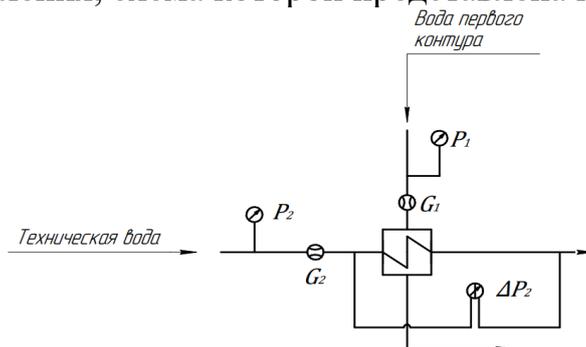


Рис. 2. Определение толщины отложения по перепаду давлений

Суть методики заключается в следующем:

1. Определяется гидравлическое сопротивление теплообменника без отложений $\Delta p_{\text{чист}}$;
2. Далее производится расчет предельной толщины отложений $\delta_{\text{отл.}}^{\text{пред}}$ по критерию работоспособности системы САОЗ (температура воды первого контура на выходе $t_1'' \leq 90^\circ\text{C}$);

3. Определяется гидравлическое сопротивление теплообменника с отложениями Δp ;
4. При достижении данного гидравлического сопротивления, измеряемого дифференциальным манометром, необходимо произвести вывод теплообменника на очистку.

Функциональные зависимости

Для определения предельной толщины отложений необходимо произвести поверочный расчет теплообменника, который заключается в решении системы уравнений теплового баланса. Коэффициент теплопередачи находится по зависимости:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + R_{отл} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1)$$

где $R_{отл}$ – термическое сопротивление отложений.

В данной работе рассматриваются монолитные низкопористые отложения, коэффициент теплопроводности для которых находится по формуле [1]:

$$\lambda_{отл} = 1,704 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,574 \cdot 10^{-2} \cdot t + 0,685, \quad (2)$$

где t – температура формирования отложений.

При расчете гидравлического сопротивления теплообменника с отложениями была использована следующая зависимость [3]:

$$\delta_{отл} = \frac{d_{тр}}{2} \cdot \left(1 - \sqrt[4]{\frac{A \cdot \Delta P_{чист}}{2 \cdot \Delta P_{загр} - \Delta P_{чист}}} \right) \quad (3)$$

Результаты расчета

В ходе поверочного расчета теплообменника был построен график зависимости температуры воды первого контура на выходе t_1'' от толщины отложений $\delta_{отл}$ при различных температурах охлаждающей воды $t_2' = 15 \div 33$ °С.

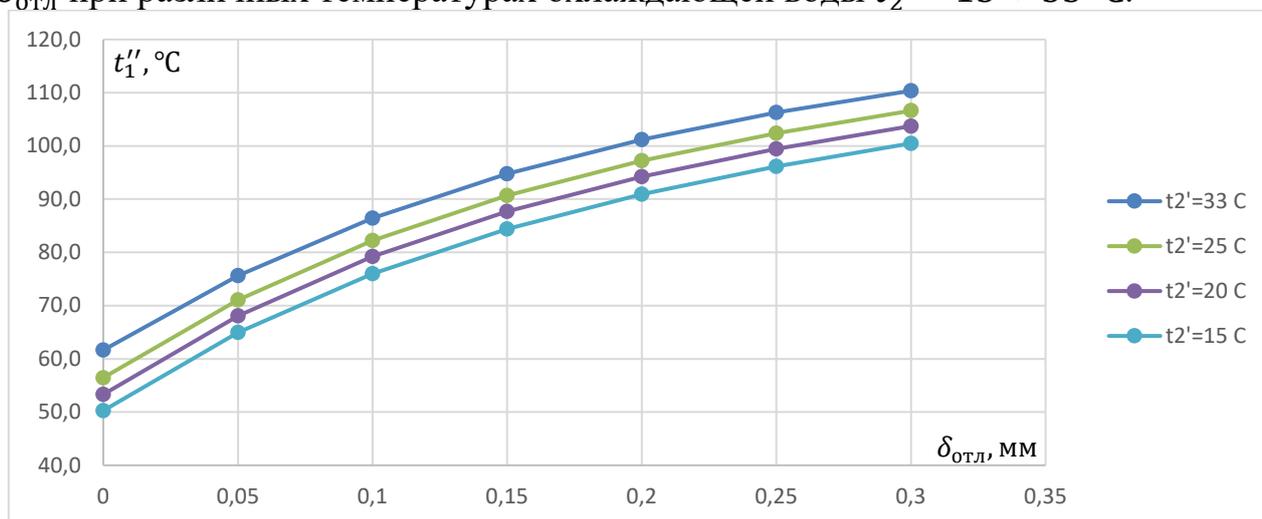


Рис. 3. Зависимость $t_1'' = f(\delta_{отл})$ при разных t_2'

Предельное значение толщины отложений для случая максимально предусмотренной проектом температуры технической воды, то есть при $t_2' = 33$ °С:

$$\delta_{отл}^{пред} = 0,12 \text{ мм.}$$

Далее была построена зависимость гидравлического сопротивления теплообменника с отложениями Δp от толщины отложений $\delta_{отл}$.

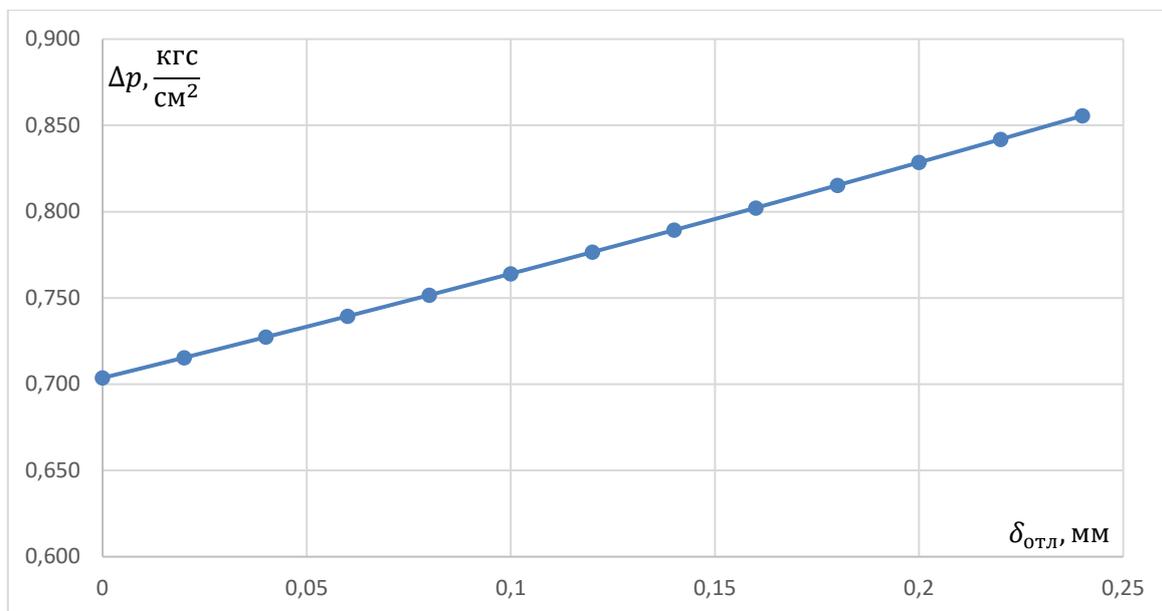


Рис. 4. Зависимость $\Delta p = f(\delta_{отл})$

Таким образом, гидравлическое сопротивление теплообменника с предельным значением толщины отложений составляет $\Delta p = 0,777 \text{ кгс/см}^2$.

При достижении дифференциальным манометром данного значения при $t'_2 = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ теплообменник выводится на очистку.

Выводы

Предложенная методика диагностирования теплообменника аварийного и планового расхолаживания не только оптимизирует периоды чисток, но и позволяет гарантировать достаточный теплосъем при аварийных режимах. Это повышает надежность и безопасность работы энергоблока.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бубликов И.А., Миропольский З.Л., Новиков Б.Е. Исследование термического сопротивления отложений в теплообменниках, охлаждаемых технической водой // Теплоэнергетика. – 1992. – №5. – С.71-74.
2. Ширев Б.С. Методика оперативного контроля за состоянием поверхностей нагрева теплообменников системы аварийного охлаждения активной зоны реакторов типа ВВЭР// Электрические станции. – 1995. – №8. – С.2-5.
3. Бударин П.Ю. Разработка методов диагностирования теплообменного оборудования атомных электростанций на наличие в нем отложений// Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. – 2007. С.142-152.

Научный руководитель: А.В. Воробьёв, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.