

РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ РЕАКЦИОННЫХ ТРУБ ПЕЧИ КОНВЕРСИИ МЕТАНА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАНОЛА

Коростылёв А.В., Луганцев Л.Д.

Московский государственный университет инженерной экологии

Приведены результаты анализа влияния на надёжность и ресурс реакционных труб печей конверсии метана колебаний температурного воздействия.

Аварийные ситуации, связанные с отказами реакционных труб печей конверсии метана на крупнотоннажных производствах метанола могут привести к серьёзным экологическим последствиям. Постепенно развивающиеся процессы ползучести материала реакционных труб приводят к отказам, а повреждённость материала труб не всегда может быть выявлена методами неразрушающего контроля [1].

Кроме того, технические условия эксплуатации реакционных труб печей конверсии метана определяют вероятностный характер температурного воздействия. Даже при соблюдении технологической дисциплины выходы значений температуры изделий за границы номинальных значений возможны. По данным пирометрического контроля на отдельных предприятиях зафиксированы перегревы труб на 30 °С и даже более. Такие перегревы чрезвычайно опасны, существенно снижая остаточный ресурс труб, они приводят к аварийным разрушениям.

При этом зависимость скорости ползучести материала v_c от температуры T имеет сильно выраженную нелинейность. Для жаропрочных сталей и условий эксплуатации зависимость скорости ползучести от температуры является экспоненциальной [2].

На рис.1 показана зависимость скорости ползучести стали типа 45Х25Н20С (применяемой в качестве конструкционного материала) от температуры. Как видно из рис. 1, некоторой доле отклонения от номинального значения температуры T_0 соответствуют весьма высокие скорости ползучести, которые необходимо учесть при оценке ресурса оборудования.

Для численного исследования надёжности и ресурса рассматриваемых элементов оборудования нами разработаны математическая модель кинетики вязкоупругого деформирования изделий как случайного процесса и метод расчёта вероятности безотказной работы $P(t)$ реакционных труб в условиях эксплуатации. Реализация разработанного метода осуществлена в виде программного комплекса «LifeTube».

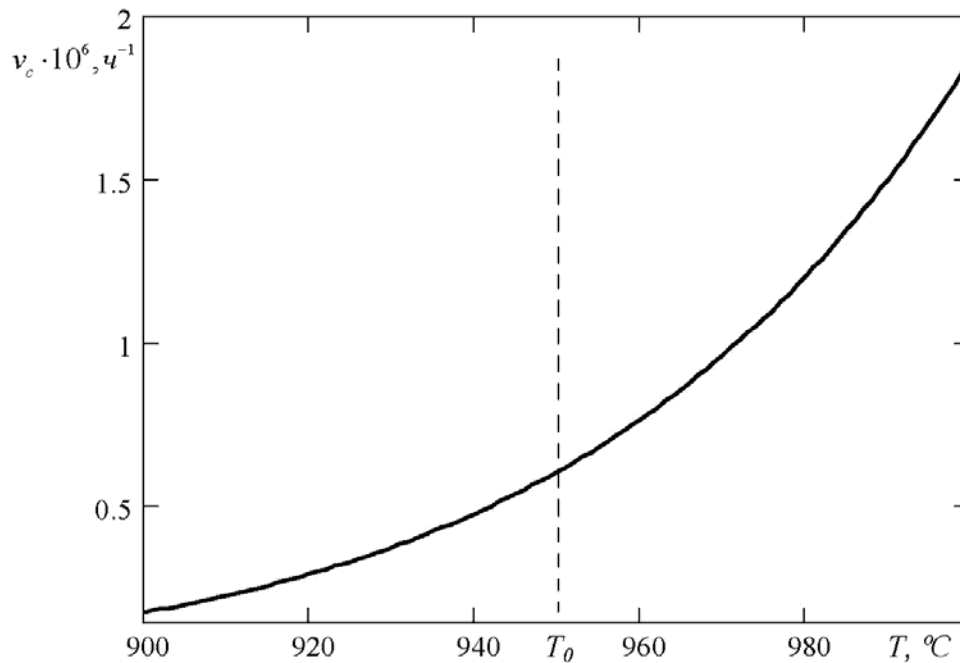


Рис. 1. Зависимость скорости ползучести стали типа 45X25H20C от температуры

Программный комплекс «LifeTube» применяли для изучения влияние разброса рабочей температуры изделий на распределение ресурса реакционных труб печей в производстве метанола. Расчёт проводился для разных значений среднеквадратического отклонений температуры труб от номинального значения. Номинальная температура изделий $T_0 = 950$ °C, температура труб распределена по нормальному закону. Диаметр труб $D = 115$ мм, толщина стенки $h = 10$ мм. Давление парогазовой смеси в трубах $q = 2,4$ МПа. Конструкционный материал – сталь 45X25H20C.

На рис. 2 показано относительное изменение (увеличение) диаметра трубчатого элемента $\Delta D / D_0$ печи в процессе установившейся ползучести с вероятностью безотказной работы $P = 0,99$ для трёх значений среднеквадратического отклонений температуры труб $\sigma_{T1} = 10$ °C, $\sigma_{T2} = 15$ C и $\sigma_{T3} = 20$ °C. Расчёт производился с учётом изменения начальных размеров. Относительное изменение (уменьшение) толщины стенки трубы $\Delta h / h_0 = -\Delta D / D_0$. Предельно допустимое значение деформаций ползучести $\bar{\varepsilon} = \Delta D / D_0 = 0,03$.

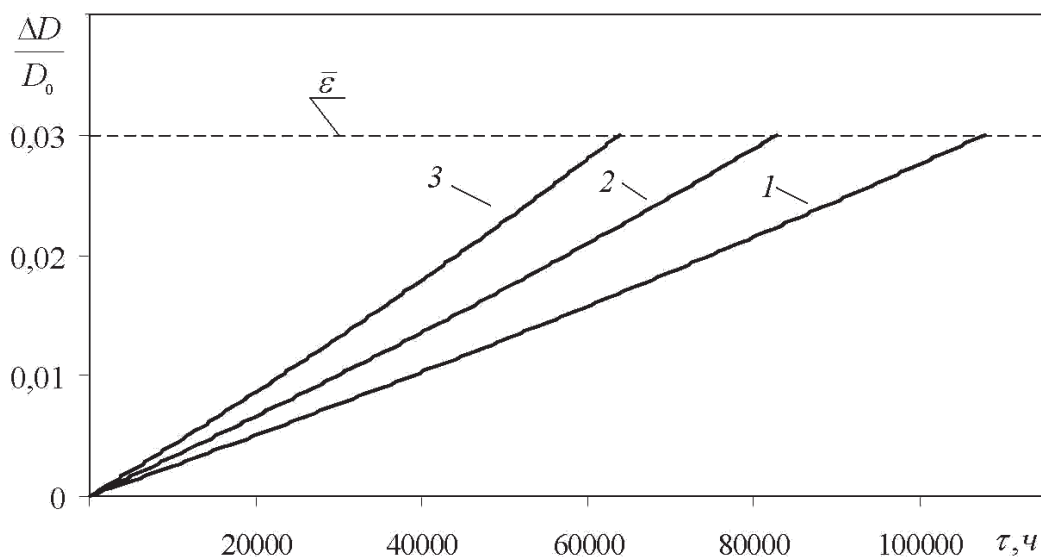


Рис. 2. Деформации ползучести трубчатого элемента с $P=0,99$
 (1 – $\sigma_{T1} = 10$ °C; 2 – $\sigma_{T2} = 15$ °C; 3 – $\sigma_{T2} = 20$ °C)

При среднеквадратическом отклонении σ_{T1} ресурс трубчатого элемента $\bar{\tau}$ составляет 108000 ч., при σ_{T2} ресурс $\bar{\tau}$ равен 83000 ч., а при σ_{T3} $\bar{\tau} = 64000$ ч. Вероятности отказа при назначенном ресурсе труб 100000 ч. составляют 0,5%, 4% и 10% , для σ_{T1} , σ_{T2} и σ_{T3} соответственно.

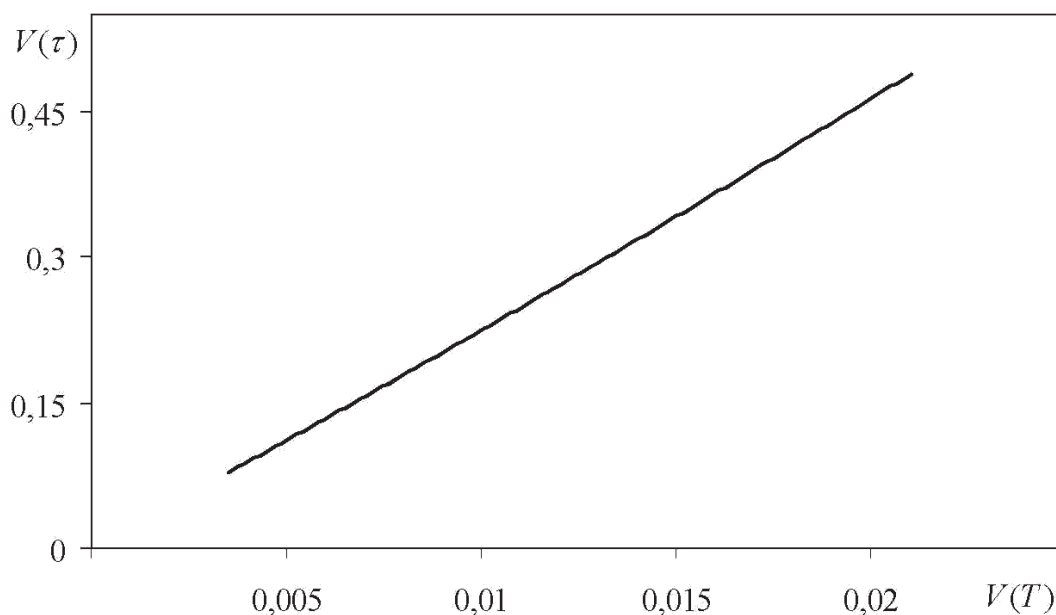


Рис. 3. Зависимость между коэффициентами вариации ресурса и температуры изделий

При этом разброс ресурса изделий значительно больше, чем разброс температуры стенки. Этот факт иллюстрирует рис. 3, на котором показана зависимость коэффициента вариации ресурса $V(\tau)$ от коэффициента вариации температуры стенки труб $V(T)$.

Умеренный разброс температуры стенки труб влечёт за собой значительный разброс ресурса изделий. Например, при коэффициенте

вариации температуры стенки $V(T) = \sigma_{T_1} / T_0 = 10/950 \approx 0,01$ имеем коэффициент вариации ресурса $V(\tau) \approx 0,25$. Таким образом, если температуры стенок труб имеет малый статистический разброс, этим разбросом нельзя пренебрегать при прогнозировании ресурса рассматриваемых элементов оборудования.

1. Луганцев Л.Д., Коростылёв А.В. Проблема расчётной оценки долговечности реакционных труб печей конверсии метана// XXVI научная конференция профессорско-преподавательского состава и сотрудников НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева. Тезисы докладов. Часть II/ ГОУ ВПО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковск, 2007, с. 65.

2. Малинин Н.Н. Расчёты на ползучесть элементов машиностроительных конструкций. – М.: Машиностроение, 1981.- 221 с.