

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ДЫМОВЫХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБ**

Губайдулин Рафкат Галимович

*Профессор кафедры строительных конструкций и инженерных сооружений
Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск,
доктор технических наук*

Губайдулин Марат Рафкатович

*Директор ООО «Проектно экспертная организация ТЕПЛОСТРОЙ», г. Челябинск,
кандидат технических наук*

Шматков А.С.

Научный сотрудник Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск

Одним из этапов экспертизы промышленной безопасности дымовых и вентиляционных промышленных труб является проведение расчета остаточного ресурса. В соответствии с [1, п.8] расчетный срок эксплуатации устанавливается после соответствующих расчетных обоснований по утвержденной Ростехнадзором методике. На данный момент времени утвержденных методик по определению срока эксплуатации дымовых и вентиляционных дымовых труб нет. Вследствие этого экспертные организации применяют методики расчетов, разработанных для других технических устройств и сооружений, а также методы оценки по косвенным признакам.

При этом основным условием для расчета принимают критерий достижения предельного состояния. Например, для металлических дымовых труб это условие прочности, выносливости и устойчивости. Расчет сводится к определению периода времени, через которое характеристики конструкций достигнут предельных параметров. Основными характеристиками являются геометрические и прочностные параметры конструкций. Геометрия конструкций меняется от воздействия агрессивной среды эксплуатации и выражается в уменьшении сечений элементов из-за коррозионных процессов, а также от непроектных нагрузок, которые приводят к деформациям элементов.

На прочностные свойства материалов влияют химические процессы, а также время эксплуатации. При этом прочностные свойства материалов могут как уменьшаться, так и увеличиваться, как это происходит в бетоне, который за долгие годы эксплуатации может набрать прочность, превышающую в два раза проектную.

Методика, изложенная в [2, раздел 6], применяется к оценке остаточного ресурса сосудов. Расчет проводится по формуле

$$T=(S_{\phi} - S_p) / a,$$

где S_{ϕ} – фактическая минимальная толщина стенки ствола, мм;
 S_p – расчетная толщина стенки ствола, мм;
 a – скорость равномерной коррозии, мм/год.

Аналогичный подход расчета с адаптацией к специфике дымовых труб используется в [2].

Для расчета металлических дымовых труб эта методика вполне подходит и может успешно применяться при проведении экспертиз.

Для расчета железобетонных и кирпичных дымовых труб эту методику применить проблематично. Опыт расчета на прочность таких труб показывает, что уровень напряжений, возникающих в стволе трубы, на порядок ниже прочностных свойств материала. В процессе эксплуатации толщина стенок труб практически не меняется, за исключением дымовых труб, которые эксплуатируются в особо тяжелых не проектных условиях на протяжении длительных промежутков времени.

В соответствии с [3] оценка надежности производится в зависимости от степени повреждений конструкций с учетом значимости этих конструкций в работе всего сооружения в целом. Расчеты проводятся по косвенным признакам и основываются на сравнении фактического состояния конструкций с проектными данными.

Методика позволяет оценить степень износа сооружений и срок эксплуатации до капитального ремонта. При этом итогом является приведение характеристик дымовой трубы к проектным параметрам. В расчетах не учитываются условия, связанные с введением новых нормативных документов, изменением технологических и внешних нагрузок.

Оценка остаточного ресурса в соответствии с [4] производится по анализу изменения коэффициентов запасов по предельным состояниям во времени. В процессе экспертизы определяются запасы прочности по первому предельному состоянию (прочность, устойчивость, выносливость), по второму предельному состоянию (перемещение, прогиб, раскрытие трещин) и по конструктивным требованиям. Исправное состояние определяется при значениях этих коэффициентов больше 1. Для расчета остаточного ресурса производится сравнение изменений коэффициентов запаса по сравнению с проектными значениями, или если этих данных нет, то с результатами предыдущих обследований.

Повреждения несущих конструкций стальных дымовых труб происходят вследствие либо хрупкого разрушения, либо зарождения и развития усталостных трещин, которые могут переходить в хрупкие. Это говорит о несовершенстве методов проектирования и расчетной оценки усталостной долговечности и сопротивления хрупкому разрушению конструкций СМТ. Причем вопросы усталостной и хрупкой прочности необходимо рассматривать совместно, так как зародившаяся усталостная трещина может стать причиной разрушения при низком номинальном уровне напряжений и даже при положительных температурах.

При разработке методики комплексной расчетной оценки надежности металлических дымовых труб [5] использована кинетическая концепция прочности конструкционных материалов, которая предполагает,

$\sigma_{ai}, V_{i\sigma}$ – амплитуда напряжений и число циклов в i -той ступени действующего блока напряжений;

m_1, m_2 – коэффициенты, описывающие наклон левой и правой ветвей кривой усталости.

Для дымовых труб ветер является основной нагрузкой, поэтому при расчете таких сооружений, наряду с необходимостью определения характера изменения средних скоростей ветра по высоте, должно быть также учтено воздействие порывов ветра, накладывающихся на установившийся поток ветра.

Для оценки усталостной долговечности с точки зрения современных подходов необходимо реальное нагружение заменить блочным, эквивалентным по степени вносимого усталостного повреждения, а также иметь предельно допустимые амплитуды цикла нагружения и параметры, характеризующие кривую усталости в коррозионной среде.

Блок напряжений может быть получен как расчетным, так и экспериментальным путем (рис.2).

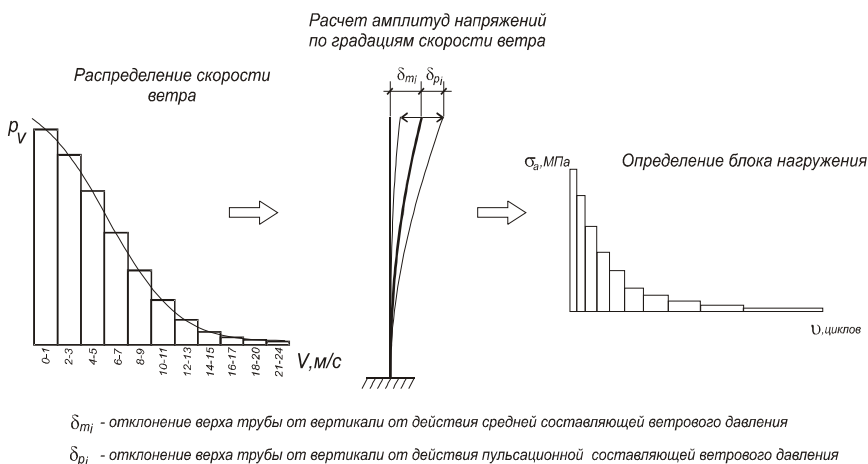


Рис.2. Распределение скорости ветра и блоков нагружения

Определение предельно допустимых амплитуд цикла нагружения с учетом влияния коррозионной среды, конструктивно-технологических факторов и плоского напряженного состояния, предлагается по следующим зависимостям:

- для знакопеременного цикла:

$$\sigma_R^i = \frac{\sqrt{6} \cdot \alpha \cdot \sigma_{-1E}}{\hat{E} + \dot{I}_a \cdot (\eta_{1E} + R_{\sigma 0} \cdot \eta_{2E}) / (1 - R_{\sigma 0})} ;$$

- для знакопостоянного цикла растяжения:

$$\sigma'_R = \frac{\sqrt{6} \cdot \alpha \cdot \sigma_{-1\dot{E}}}{\dot{E} + (\eta_{1\dot{E}} \cdot \dot{I}_a + 2 \cdot \eta_{3\dot{E}} \cdot R_{\sigma 0} \cdot \dot{I}_{\max}) / (1 - R_{\sigma 0})};$$

- для знакопостоянного цикла сжатия:

$$\sigma'_R = \frac{\sqrt{6} \cdot \alpha \cdot \sigma_{-1\dot{E}}}{\dot{E} - (\eta_{2\dot{E}} \cdot \dot{I}_a + 2 \cdot \eta_{4\dot{E}} \cdot R_{\sigma 0} \cdot \dot{I}_{\max}) / (1 - R_{\sigma 0})}.$$

где σ'_R – предел выносливости конструкции с учетом реального напряженного состояния, условий нагружения и свойств материала;

σ_{-1K} – предел выносливости при симметричном цикле нагружения с учетом влияния конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов;

α , K , $R_{\sigma 0}$, M_{\max} , M_a , η_{1K} , η_{2K} , η_{3K} , η_{4K} – коэффициенты учитывающие влияние сложного напряженного состояния, асимметрии цикла нагружения, свойств материала.

Идея метода состоит в том, что при наличии диаграмм предельной пластичности стали и деформационных критериев первой (ε_{C1}) и второй (ε_{C2}) критических температур можно определить температурный интервал вязко-хрупкого перехода для конкретного конструктивно-го элемента, если известен для него показатель жесткости напряженно-го состояния (рис.3). За диаграмму предельной пластичности стали принята зависимость степени интенсивности пластической деформации (ε_C), накопленная материальной частицей на момент разрушения образца, от показателя жесткости и вида напряженного состояния.

Согласно принятой схемы (см. рис.3) критические температуры хрупкости определялись из условий:

$$\varepsilon_C(\Pi, \mu_\sigma, T)_{T=T_{K1}} = \varepsilon_{f1}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_C(\Pi, \mu_\sigma, T)_{T=T_{K2}} = \varepsilon_{f2}, \quad (2)$$

решая которые были получены соответствующие расчетные зависимости, имеющие вид

$$\dot{\varepsilon}_{\dot{E}1(2)} = \frac{\dot{O}_0}{1 + \frac{\dot{O}_0}{\beta_{\dot{O}}} \ln \left[1 + \left(\frac{S_K}{\sigma_T} - 1 \right) \cdot \left(1 + \frac{1 - \exp \varepsilon_{f1(2)}}{\psi_K \cdot \exp \varepsilon_{f1(2)}} \right)^{\frac{1}{n_\nu}} \right]}.$$

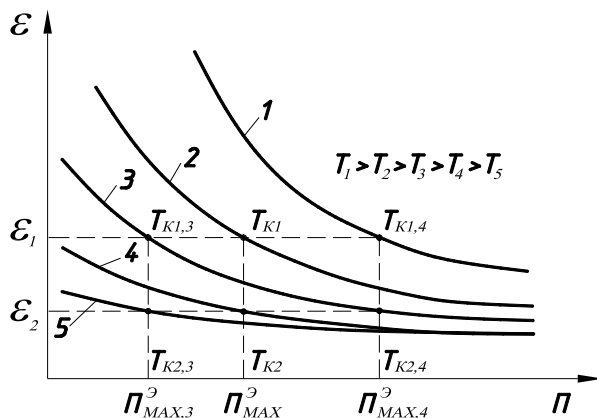


Рис.3. Принципиальная схема определения критических температур хрупкости стали при сложном напряженном состоянии 1-5 - зависимости $\varepsilon_N(\Pi)$ при температурах T_1 - T_5 соответственно

К числу достоинств разработанного метода следует отнести возможность дифференцированного учета практически всех наиболее значимых факторов хрупкого разрушения. При этом важно отметить, что результаты расчета не противоречат общепринятым представлениям о закономерностях влияния этих факторов на критические температуры хрупкости стали.

Библиографический список

1. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определения остаточного срока службы сосудов и аппаратов. Серия 03. Выпуск 17. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002.
2. Способ определения остаточного ресурса промышленных дымовых и вентиляционных труб / В.Г. Сатьянов, П.Б. Пилипенко, В.А. Французов, С.В. Сатьянов, В.С. Котельников // Безопасность труда в строительстве, – 2007. - №12.
3. Рекомендации по оценки надежности строительных конструкций по внешним признакам. ЦНИИпромзданий, 1989.
4. Шматков С.Б. Определение остаточного ресурса промышленных дымовых труб. Технадзор, – 2007. - №5.