

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ

В.С. Лунандин

Конструкции стальной дымовой трубы испытывают переменное ветровое воздействие случайного характера. При увеличении высоты трубы вероятность появления усталостных повреждений резко возрастает. Усталостные трещины образуются в зонах наибольших знакопеременных нагрузок, распространяясь в основном в зоне горизонтальных сварных швов. Метод расчета на выносливость, изложенный в [1] носит поверочный характер, когда в проекте приняты все конструктивные решения узлов и соединений, и предусматривает регулярный характер нагружения, не учитывает сложное напряженное состояние, влияние коррозионной среды, остаточных напряжений, технологии изготовления.

Долговечность конструкции рассчитывается [2]:

$$L = \lambda \cdot l, \tag{1}$$

где λ – количество блоков; l – продолжительность блока нагружения.

Один блок нагружения состоит из нескольких ступеней, каждой из которых соответствует амплитуда напряжений σ_{ai} и число повторений этой амплитуды в блоке v_{ai} . Число циклов повторения амплитуды σ_{ai} напряжения до разрушения образца при числе блоков нагружения λ составит:

$$n_i = \lambda \cdot v_{ai}. \quad (2)$$

Если соотнести данное число циклов повторения этой амплитуды σ_{ai} к общему числу циклов до разрушения N_i , то это будет та доля повреждений n_i/N_i , которую получает конструкция при данной амплитуде, действующей n_i число циклов. Тогда сумма значений относительных повреждений будет равняться единице.

В работе [2] установлено:

$$\lambda = a_p N_G \sum_{i=1}^k \frac{\sigma_R^m}{\sigma_{ai}^m v_{i\delta}}, \quad (3)$$

в данной формуле основные влияющие факторы учитываются параметром σ_R . Коэффициент, зависящий от форм блока нагружения:

$$a_p = \frac{\sigma_{\max} \xi - 0,5\sigma_R}{\sigma_{a\max} - 0,5\sigma_R}, \quad (4)$$

где $\sigma_{a\max}$ – максимальная амплитуда в блоке нагружения; σ_R – предел выносливости.

Для определения долговечности конструкции обязательно строят кривую усталости по результатам испытаний нескольких образцов. Каждый образец испытывают до разрушения при определенной амплитуде напряжений σ_i и определяют число циклов до разрушения N_i .

По результатам испытаний образцов строят график зависимости между амплитудами напряжений σ_a и числом циклов N , которые выдержал образец до разрушения. Амплитуда напряжений σ_R , соответствующая горизонтальному участку кривой усталости, называется пределом выносливости.

Наклонная и горизонтальная части кривой усталости пересекаются в абсциссе в точке N_G . Уравнение кривой усталости представляется в форме:

$$\sigma_a^m \cdot N = \sigma_R^m \cdot N_G \quad \text{при } \sigma_a \geq \sigma_R; \quad (5)$$

$$N = \infty \quad \text{при } \sigma_a < \sigma_R.$$

Показатель степени характеризует наклон левой ветви кривой усталости:

$$m = \text{ctg} \alpha = \frac{\lg(N_G / N)}{\lg(\sigma_a / \sigma_R)}. \quad (6)$$

Основные факторы, учитываемые при построении кривой усталости: прочностные характеристики материала; асимметрия цикла; масштабный фактор (геометрия конструкции); концентрация напряжений; технологические дефекты сварных швов; остаточные напряжения.

Влияние этих факторов учитывают в виде коэффициентов, умноженных на «идеальный» предел выносливости σ_{-1}^0 , который определяют для

лабораторных образцов с полированной поверхностью при симметричном изгибе. Значения σ_{-1}^0 рассчитываются в зависимости от временного сопротивления по [3]: предел усталости при изгибе: $\sigma_{-1}^0 = (-0,55 - 0,0001 \cdot \sigma_B) \sigma_B$.

Для примера рассмотрим два фактора влияющие на предел усталости – концентрацию напряжений и технологические дефекты сварных швов.

Концентрацией напряжений называют местное повышение напряжений в зонах резкого изменения геометрии элементов конструкции. Коэффициентом концентрации напряжений (ККН), оценивается отношением максимальных действующих напряжений к номинальным значениям напряжений, зная который можно скорректировать степень его влияния на долговечность конструкций еще при проектировании узлового соединения, изменяя его геометрию.

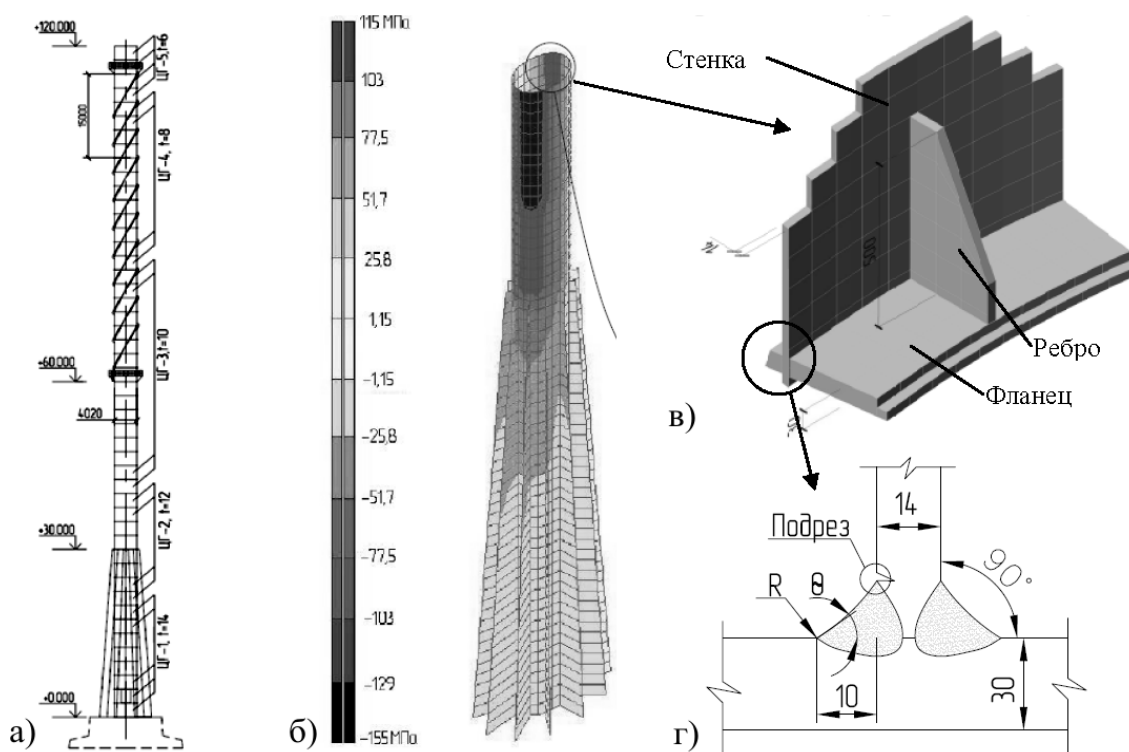


Рис. 1. Последовательность расчета: а – распределение толщин в стенке трубы по высоте; б – напряженное состояние в оболочке трубы; в – геометрические характеристики наиболее напряженного узла; г – геометрические характеристики сварного шва в выбранном узле

Для анализа влияния коэффициентов концентрации напряжений на усталостную долговечность рассмотрим наиболее неблагоприятный напряженный узел. Для этого моделируем в расчетном комплексе узел сопряжения стенки с фланцем конечными элементами – оболочками (рис. 1). Затем прикладываем усилия с общей расчетной схемы. Получаемое напряженное состояние, является более точным, за счет более мелкого разбиения элементов. Изменяя геометрические параметры этих соединений, мы наблюдаем

даем изменение картины распределения напряжений и, соответственно, изменение значений местных коэффициентов концентрации напряжений. На основе расчетных данных подбираем оптимальную геометрию узла, при которой значения местных коэффициентов концентрации напряжений будут минимальными.

В расчетах рассматривается труба высотой $h = 120$ м и диаметром $D = 4,02$ м, с узлом стыка фланца и ребра жесткости со стенкой трубы на отметке +40,000 м: толщина фланца 30 мм, ширина фланца 185 мм, толщина стенки 14 мм, высота ребра 200 мм ($k_k = 1,66$). Для учета влияния технологического ККН, примем, что в сварном шве имеется следующий ряд дефектов: угол перехода сварного шва к основному металлу – 90° ($k_{T1} = 1,2$); глубина подреза – 2 мм ($k_{T2} = 2,88$); радиус перехода от шва к основному металлу – 0,1 мм ($k_{T3} = 1,306$).

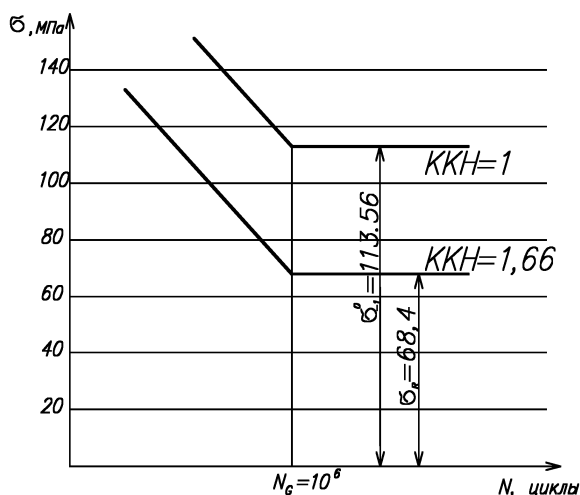


Рис. 2. Усталостная кривая

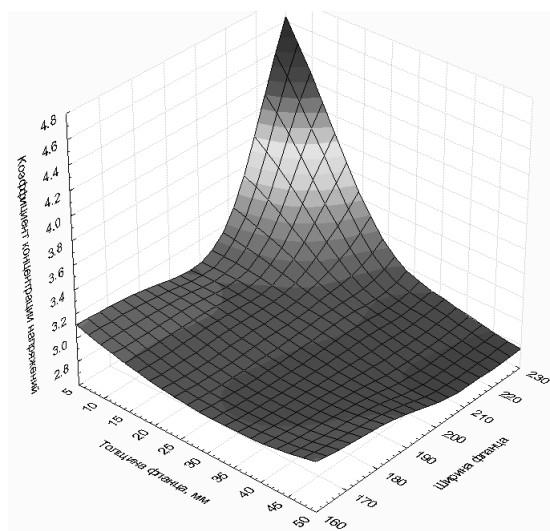


Рис. 3. График зависимости ККН

Максимальные σ_{\max} и минимальные σ_{\min} значения напряжений берем из результатов расчета оболочечной схемы трубы в расчетном комплексе.

	σ_{\max} , МПа	σ_{\min} , МПа	σ_a , МПа
Меридианальные напряжения (по Y)	115	-155	135

Найдем предел усталости этой трубы при запроектированных изначально геометрических параметрах узла:

$$\sigma_R = \sigma_{-1}^0 \cdot (1/k_k) = 113,56/1,66 = 68,409 \text{ МПа} \quad (7)$$

В сварном шве при наличии различных дефектов их влияние на напряженное состояние накладывается, поэтому технологические ККН следует перемножать. Отсюда общий предел усталости найдется:

$$\sigma_R^{\text{св. шва}} = \frac{\sigma_R}{k_{T1} \cdot k_{T2} \cdot k_{T3}} = \frac{68,409}{1,2 \cdot 2,88 \cdot 1,306} = 15,156 \text{ МПа} \quad (8)$$

Количество циклов до разрушения находится по формуле:

$$m = \frac{\sigma_R}{\sigma_{-1}^0} \left(5 + \frac{\sigma_B}{80} \right) = \frac{15,156}{113,56} \left(5 + \frac{350}{80} \right) = 1,2512; \quad (9)$$

$$N = \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_a} \right)^m \cdot N_G = \left(\frac{15,156}{135} \right)^{1,2512} \cdot 10^6 = 17545; \quad (10)$$

Для того чтобы измерить долговечность нашей трубы необходимо перевести количество циклов в блоки:

$$\lambda = a_p \cdot N. \quad (11)$$

При $l = 3$ с – период заданного ветрового воздействия на трубу, $a_p = 2,1$ – из опыта проектирования. Тогда долговечность (1) в годах принятой нами трубы с дефектами сварки регулярности воздействия максимальной ветровой нагрузки: **$L = 13,2$ год.** При изменении характеристик сварного соединения долговечность может составить: $L = 54,1$ год.

Таким образом, меняя геометрические характеристики узла или нормируя допустимые дефекты сварного соединения можно увеличивать и уменьшать усталостную долговечность конструкций.

Библиографический список

1. СНиП II.23.-81*. Стальные конструкции. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
2. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / под ред. А.П. Гусенкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 364 с.
3. ГОСТ 25.504–82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости – М.: Изд-во стандартов, 1983. –132 с.