α_r и λ могут быть ненадежными это преимущество предлагаемых формул является очень важным.

Анализ результатов численного эксперимента позволят разработать технические мероприятия по модернизации печи. Внедрение разработанных предложений должны дать следующие теплотехнологические преимущества: а) исключается пережог материала за счет возможности поддержания температуры факела в любом заведомо заданном диапазоне; б) обеспечивается равномерность распределения температуры по высоте и поперечному сечению печи; в) обеспечивается надежность и безопасность эксплуатации при изменении в широких пределах параметров самой горелки и печи. Это должно в конечном счете обеспечить увеличение производительности печи на 10-20%, снижение удельного расхода топлива не менне, чем на 5...10%, снижение выбросов окислов азота не менне, чем 10...20%.

Литература

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967.

УДК 699.86:621

Параметрический анализ режимов работы новых конструктивов теплопроводов

Беднин В.А., Абражевич С.И., Аксенович А.В.
Белорусский национальный технический университет
СП “Бел-Изолит”

При оптимизации конструктивных параметров предварительно изолированного самокомпенсирующегося теплофикационного трубопровода [1] важно определить условия потери устойчивости (состояние при котором возникают большие осевые сжимающие силы и скручивающие моменты).

При потере устойчивости ось эквивалентного бруса выпучивается и может образовать пространственную кривую. Будем считать, что концы бруса закреплены шарнирно. Рассматриваемая система является неконсервативной, но для определения критических значений осевой силы P и скручивающего момента для данной системы можно воспользоваться статическим методом [2,3].

Выберем основную (x, y, z) и скользящую систему координат (x_1, y_1, z_1). Обозначим через v и w перемещение точки, лежащей на оси бруса x, в направление осей y и z.

Определяя проекции вектора момента M на оси y_1 и z_1 для малых перемещений, получаем дифференциальные уравнения упругой кривой в плоскостях $x0y$ и $x0z$ [1,2]. Так как изгибная жесткость эквивалентного бруса относительно главных центральных осей одна и та же и равна B, получим

$$B\frac{d^2v}{dx^2}+M\frac{d^2w}{dx}+Pv=0;$$
$$B\frac{d^2w}{dx^2}-M\frac{d^2v}{dx}+Pw=0. \qquad (1)$$

Полагая $M/B=k$ и $P/B=s^2$, получаем систему уравнений, решение которой будем искать в виде

$$v=A\sin r_1x+B\cos r_1x+C\sin r_2x+D\cos r_2x;$$
$$w=A\sin r_1x+B\cos r_1x-C\sin r_2x+D\cos r_2x. \qquad (2)$$

Решая систему уравнений (1) получаем, что r_1 и r_2 должны удовлетворять одному и тому же квадратному уравнению

$$r^2+kr-s^2=0. \qquad (3)$$

Для определения постоянных A, B, C, D используем граничные условия:

при $x=0$, $x=H$, $v=0$; $w=0$. (4)

Из условий при $x=0$ следует

$$A+C=0 \text{ и } B+D=0.$$

Из условий при $x=H$ следует

$$A(\sin r_1H-\sin r_2H)+B(\cos r_1H-\cos r_2H)=0;$$
$$-A(\cos r_1H-\cos r_2H)+B(\sin r_1H-\sin r_2H)=0.$$

Приравнивая нулю определитель системы, получаем

$$(\sin r_1 H - \sin r_2 H)^2 - (\cos r_1 H - \cos r_2 H)^2 = 0$$

или

$$\cos(r_1 H - r_2 H) = 1.$$

Наименьшая величина аргумента, не равная нулю, и, следовательно, не дающая тривиального (нулевого) решения системы уравнений равна: $r_1 H - r_2 H = 2\pi$, но из (3) следует

$$r_1 - r_2 = 2\sqrt{\frac{k^2}{4} + s^2}, \qquad \text{т.е.}$$

$$\frac{\pi^2}{H^2} = \frac{k^2}{4} + s^2.$$

Отсюда получаем критические значения скручивающего момента M и сжимающей силы P

$$\frac{1}{4}\left(\frac{M}{B}\right)^2 + \frac{P}{B} = \left(\frac{\pi}{H}\right)^2. \tag{5}$$

Уравнение (5)может быть использовано и для случая действия скручивающего момента и растягивающей силы. В этом случае перед силой P надо поставить знак минус. Уравнение (5) также может быть использовано и в частных случаях действия одного скручивающего момента M, тогда сила $P = 0$, или действия одной только сжимающей силы, тогда момент $M = 0$.

При $M = 0$ из (5) получаем значение критической силы P, которая равна эйлеровой $P_э = \pi^2 B / H^2$; при $P = 0$ из (5) получаем значение критического момента $M_{кр} = 2\pi B / H$. Оба критических значения соответствуют случаю шарнирного опирания концов бруса.

В случае защемления концов бруса получается аналогичный результат, хотя зависимости между P и M более сложные, чем имеем в формуле (5). Но при защемлении концов бруса критическая сила P (при $M = 0$), естественно, равна эйлеровой $P_э = \pi^2 B / H^2$, а критический момент (при $P = 0$) равен $M_{кр} = 2{,}861\pi B / L$.

Теперь рассмотрим возможность потери устойчивости эквивалентного бруса, когда винтовой брус изготовлен из тонкостенной трубы и подвергается нагреву при невозможности торцевых перемещений. Так как реактивный момент M связан с осевой силой P уравнением

$$M = PR \sin\varphi \cos\varphi \frac{\nu}{1 + \nu \sin^2 \varphi} \tag{6}$$

(R - радиус образующего цилиндра), то уравнение (5) принимает вид

$$(ГP)^2 + 4BP = \frac{4\pi^2 B^2}{H^2}, \tag{7}$$

где $G = \dfrac{R \sin\varphi \cos\varphi}{1 + \nu \sin^2 \varphi} \nu$.

Решая квадратное уравнение, найдем $P_{кр}$

$$P_{кр} = \frac{2B}{Г^2} \left(\sqrt{1 + \frac{\pi^2 Г^2}{H^2}} - 1 \right). \tag{8}$$

Следовательно, максимальное значение $P_{кр}$ будет равно $P_э = \pi^2 B / H^2$, что соответствует случаю, когда нет скручивающего момента.

Но при закреплении торцов винтового бруса таким образом, что запрещен и взаимный поворот и линейное (осевое) перемещение торцов будут одновременно возникать при нагреве и осевая сила P и скручивающий момент M .

Определим величину B . При малом угле подъема витка φ из (5)

$$B = \frac{EJH}{\pi Ri} \cdot \frac{1}{(1+1+\nu)}$$

и для тонкостенной трубы имеем

$$B = \frac{Ed^3 \delta H}{8(2+\nu)Ri}, \tag{9}$$

где i - число витков.

В общем случае при учете угла подъема витков получаем

$$B = \frac{\sin\varphi}{\frac{1+\sin^2\varphi}{2EJ} + \frac{\cos^2\varphi}{2GJP}} = \frac{2EG\sin\varphi}{1+\sin^2\varphi + \cos^2\varphi\frac{2EJ}{2G\cdot 2J}};$$

$$B = \frac{\sin\varphi E d^3 \delta\pi}{4(2+\nu\cos^2\varphi)}. \tag{10}$$

Таким образом, задавшись параметрами винтового полого бруса $(R, d, \delta, i, H, \varphi)$, из уравнений (6,7,9,10) можно найти критическую силу $P_{кр}$ и скручивающий момент $M_{кр}$ для заданного сочетания параметров бруса и решить задачу потери устойчивости эквивалентного бруса. Для этого необходимо еще связать полученные силовые факторы с температурными напряжениями. В формулах предыдущей статьи [3] указаны зависимости осевой силы и скручивающего момента от $E\alpha\Delta T$, φ, k, F и параметра C.

Литература

1. Седнин В.А., Абражевич С.И. Расчет на прочность предварительно изолированного самокомпенсирующегося теплофикационного трубопровода//Энергетика… Изв. высш. Уч. Заведений и энергетических объединений СНГ. – 2004. –   с.
2. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Т2. – М.: Наука, 1965, - 480 с.
3. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. – М.: Гос. изд. техн. теор. л-ры, 1986. – 568 с.