

среди других "критических областей" $W(\Delta)$ с тем же уровнем значимости β .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: машиностроение, 1978. - 240 с.
2. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений. - М.: Наука, 1965. - 511 с.
3. Кокс Д., Хинкли Д. Теоретическая статистика. - М.: Мир, 1978. - 560 с.

УДК 624.04

В.П. Семененко

ПОДАТЛИВОСТЬ СООСНОСОПРЯЖЕННЫХ ЧЕРЕЗ СТЕРЖНЕВУЮ СИСТЕМУ ШПАНГОУТОВ

Досліджена податливість співвісносполучених через стержневую систему шпангоутів при їх взаємному зміщенні. Здобуто систему рівнянь для довільної кількості стрижнів. Розглянуто окремі випадки. Показано вплив кількості і місця розміщення стрижнів на податливість системи. Табл. 2. Бібліогр. 2 найм.

Шпангоуты широко используются для повышения жесткости - уменьшения податливости - трубопроводов, цилиндрических обечек, воспринимающих радиальную локальную нагрузку.

Рассматривалась конструкция, состоящая из двух шпангоутов, которые геометрически представляли собой две концентрические окружности с общим центром. Между собой шпангоуты были соединены с помощью N прямолинейных стержней, расположенных в точках $\varphi = \varphi_i$, где φ - круговая координата, $i = 1, N$. При смещении шпангоутов друг относительно друга происходило их нагружение сосредоточенными радиальными силами P_i , приложенными в точках $\varphi = \varphi_i$. Вертикальное смещение внутреннего шпангоута Δ под действием его веса $G_{шп}$ и веса прилегающего к нему трубопровода определялось по формуле

$$\Delta = \alpha G \quad (1)$$

где α - коэффициент податливости данной конструкции;

$$G = G_{шп} + G_{тр}.$$

Целью настоящей работы являлось: разработка методики определения податливости рассматриваемой конструкции при произвольном количестве стержней, получение аналитических зависимостей для определения коэффициента податливости при наличии небольшого количества стержней, проведение исследований и выбор оптимальных параметров стержневой системы, обеспечивающих минимальные значения коэффициенту α .

При разработке методики определения податливости конструкции предполагалось, что шпангоут, находящийся внутри, имел значительно большую жесткость, чем наружный шпангоут, и его податливостью пренебрегалось. При таких допущениях вертикальное смещение внутреннего шпангоута определялось податливостью наружного шпангоута и податливостью стержней, расположение которых было симметричным относительно вертикальной оси.

Радиальные перемещения наружного шпангоута, под действием радиальных сосредоточенных сил P_i , находилось из выражений [1]

$$W(\varphi_i) = \frac{R^3}{EJ} K_{wp}(\varphi_i), \quad (2)$$

где R - радиус нейтральной оси наружного шпангоута; EJ - жесткость шпангоута при изгибе. Коэффициент $K_{wp}(\varphi_i)$ определялся по формуле

$$K_{wp}(\varphi_i) = \frac{1}{\pi} \sum_{j=1}^N P_j \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\cosh n(\varphi_i - \varphi_j)}{(n^2 - 1)^2 (1 + A_n)}, \quad (3)$$

где A_n - учитывает жесткость прилегающих к шпангоуту элементов конструкции [2].

Условия совместности деформаций шпангоутов и стержней в i -той точке имеют вид

$$W(\varphi_i) + \Delta l_i = \Delta \cos \varphi_i \quad (4)$$

где $\Delta l_i = \alpha_{cmi} P_i$ - удлинение (укорочение) i -того стержня; $\alpha_{cmi} = l_i / E_i F_i$; l_i - длина i -того стержня; $E_i F_i$ - жесткость стержня на растяжение-сжатие.

Составляя условия совместности деформаций (4) для каждой i -ой точки, получим систему N алгебраических уравнений относительно N неизвестных усилий P_i и вертикального смещения Δ . Недостающим уравнением является уравнение равновесия системы на вертикальную ось

$$\sum_{i=1}^N P_i \cos \varphi_i = G \quad (5)$$

Разрешающая система данной контактной задачи записывалась в виде

$$\sum_{i=1}^{N+1} \alpha_{ij} X_j = b_i \quad (6)$$

где

$$X_j = \{ P_1, P_2, \dots, P_N, \Delta \}$$

$$\alpha_{ii} = \frac{l_i}{E_i F_i} + \frac{R^3}{EJ\pi} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{(n^2 - 1)^2 (1 + A_n)}; \alpha_{ij} = \frac{R^3}{EJ\pi} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\cos n(\varphi_i - \varphi_j)}{(n^2 - 1)^2 (1 + A_n)}, \quad i = 1, N$$

$$\alpha_{i,N} = -\cos \varphi_i, \quad \alpha_{N,j} = -\cos \varphi_j, \quad i = 1, N, j = 1, N, b_i = 0, \quad i = 1, N,$$

$$b_{N+1} = G, \quad \alpha_{NN} = 0.$$

В результате решения системы (6) определялись P_i и вертикальное смещение Δ . Коэффициент податливости системы определяется из выражением (1)

$$\alpha = \frac{\Delta}{G} \quad (7)$$

В частном случае, когда жесткостью прилегающих к шпангоуту элементов можно пренебречь ($A_n = 0$), а стержни считать абсолютно жесткими ($EF \gg EJ$), коэффициент податливости системы из двух стержней, находящихся в точках $\varphi = \pm \Psi$, был представлен в виде

$$\alpha = \frac{R^3}{EJ} K(\Psi) \quad (8)$$

где
$$K(\Psi) = \frac{K_{11} + K_{12}}{2 \cos^2 \Psi} : K_{11} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{1}{(n^2 - 1)^2} = 0,043, \quad K_{12} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{\cos 2n\Psi}{(n^2 - 1)^2}$$

Коэффициент $K(\Psi)$ определяет податливость системы за счет изменения места расположения стержней, определяемого углом Ψ . Значения $K(\Psi)$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ψ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
$K(\Psi)$	0,043	0,036	0,028	0,015	0,011	0,016	0,046	0,2

Случай $\Psi = 0$ соответствует одному стержню, когда $K(0) = K_{11} = K_{12} = 0,043$. При увеличении угла расположения стержней Ψ $K(\Psi)$ уменьшается, достигает минимального значения для $\Psi = 45^\circ$, равного $K(45^\circ) = 0,008$. При дальнейшем увеличении Ψ значения $K(\Psi)$ возрастают и для $\Psi = 90^\circ$ $K(90^\circ) = \infty$.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что для дальнейшего уменьшения податливости системы стержни рационально располагать в районе $\Psi = \pm 45^\circ$. В связи с этим представляет интерес система из четырех стержней, которые симметрично расположены относительно $\Psi = \pm 45^\circ$. Коэффициент податливости для четырех стержней, расположенных в точках $\varphi = \pm \Psi_1$ и $\varphi = \pm \Psi_2$, определялся из выражения

$$\alpha = 0,5 \frac{1 - \frac{\alpha_{12}\alpha_{21}}{\alpha_{11}\alpha_{22}}}{\frac{\cos^2 \Psi_1}{\alpha_{11}} + \frac{\cos^2 \Psi_2}{\alpha_{22}} - \frac{\alpha_{12} + \alpha_{21}}{\alpha_{11}\alpha_{21}} \cos \Psi_1 \cos \Psi_2} \quad (9)$$

Значения $\bar{\alpha} = \alpha EJ / R^3$, полученные для $\Psi_1 = 45^\circ - \Delta\Psi$ и $\Psi_2 = 45^\circ + \Delta\Psi$ при $\Delta\Psi = 0,5^\circ; 10^\circ; 15^\circ$, представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Ψ_1	Ψ_2	$\bar{a}$
45^0	45^0	0,008
40^0	50^0	0,0067
35^0	55^0	0,00544
30^0	60^0	0,00422
25^0	65^0	0,00447
20^0	70^0	0,00448

Минимальные значения $\bar{a}$ имеет $25^0 \leq \Psi_1 \leq 30^0$ и $65^0 \leq \Psi_2 \leq 60^0$.

Проведенные исследования показывают, что оптимальным выбором числа и места расположения стержней можно достичь существенного снижения податливости системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прочность, устойчивость, колебания. Т. 1: Справочник / Под общ. ред. И.А. Биргера. - М.: Машиностроение, 1963. - 832 с.
2. Моссаковский В.И., Гудромович В.С., Макеев Е.М. Контактные задачи теории оболочек и стержней. - М.: Машиностроение, 1979. - 298 с.

УДК 622.648.23:622.693.4

Е.В. Семененко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УКЛОНОВ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ТЕКУЩЕГО ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

В роботі запропоновано розв'язання актуальної задачі визначення зміни гранулометричного складу твердого матеріалу в процесі його гідротранспорту. Розв'язання задачі дозволяє оптимізувати насосне обладнання гідротранспортних комплексів, за рахунок визначення гідравлічних уклонів у разі руху гідросуміші з урахуванням руйнування транспортуемого матеріалу. Бібліогр.: - 6 найм.

Многие специалисты горнорудной промышленности рассматривают гидротранспорт как один из наиболее