

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г. НЕКОТОРЫЕ ВЕРИФИКАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

### Г.1 ЛИНЕЙНАЯ СТАТИКА

**Балка на упругом горизонтальном основании под действием сосредоточенных вертикальных сил**

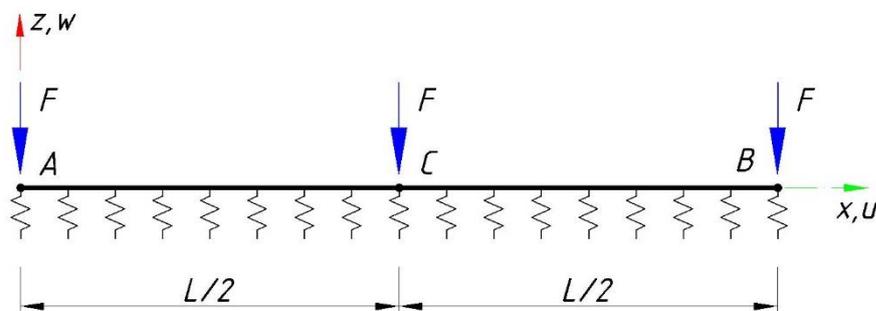


Рисунок Г.1

Таблица Г.1

<b>Источник</b>	М. Courtand et P. Lebellet, Formulaire du beton arme, t.2, Paris, Eyrolles, 1976, p. 382
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская плита или ростверк ( $Z, UX, UY$ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 0.5\pi\sqrt{10}$ м, $I = 1 \times 10^{-4}$ м <sup>4</sup> , $GI_x = 1$ Н·м <sup>4</sup> , $b = 1$ м – ширина основания балки
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11}$ Па.
<b>Граничные условия</b>	Вариант 1: упругое основание – $C_1 = 8.4 \times 10^5$ Н/м <sup>3</sup> ; ; все узлы – $\theta_x = 0$ ; Вариант 2: упругие опоры, в узлах А и В – $R_z = 173855$ Н/м, в промежуточных узлах – $R_z = 347711$ Н/м; все узлы – $\theta_x = 0$ .
<b>Нагрузка</b>	$F = 1 \times 10^4$ Н
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 3) и одноузловым КЭ упругой связи (тип КЭ 56)

Таблица Г.2 Результаты расчёта

Искомая величина	Теория	Результаты расчёта Лира 10.4		Отклонение, %	
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 1	Вариант 2
$w_{L/2}$ , мм	- 6.844	- 6.843	- 6.844	0.015	0.00
$w_A$ , мм	- 7.854	- 7.859	- 7.845	0.064	0.11
$\theta_{yA}$ , рад	$-7.06 \times 10^{-4}$	$-7.06 \times 10^{-4}$	$-6.944 \times 10^{-4}$	0.000	1.64
$M_{L/2}$ , Нм	- 5759	- 5758.7	- 5742.6	0.005	0.28

Плоская ферма

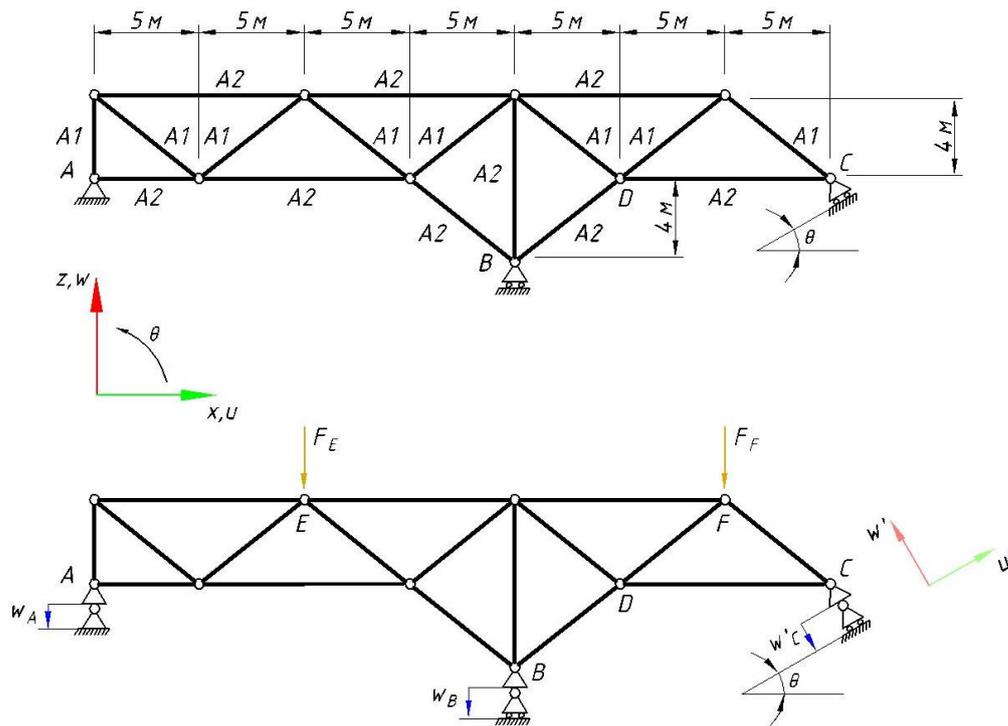


Рисунок Г.2

Таблица Г.3

<b>Источник</b>	M. Laredo, Résistance des matériaux, Paris, Dunod, 1970, p. 579
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская ферма или балка стенка (X, Z)
<b>Исходные данные</b>	$A_1 = 1.41 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ , $A_2 = 2.82 \times 10^{-3} \text{ м}^2$ , $\theta = 30^\circ$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}$ ; Коэффициент температурного расширения $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ C}^{-1}$
<b>Граничные условия</b>	В точке А: $u = w = 0$ ; В точке В и С: $w_B = w'_C = 0$
<b>Нагрузка</b>	Сосредоточенная сила: $F_E = 150 \text{ кН}$ , $F_F = 100 \text{ кН}$ ; Заданное смещение: $w_A = -0.02 \text{ м}$ , $w_B = -0.03 \text{ м}$ , $w'_C = -0.015 \text{ м}$ ; Все стержни нагреты до $+150 \text{ C}^\circ$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 4)

Таблица Г.4 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
$N_{BD}$ , Н	43633	43633	0
$w_D$ , м	-0.01618	-0.01618	0

## Тор под внутренним давлением

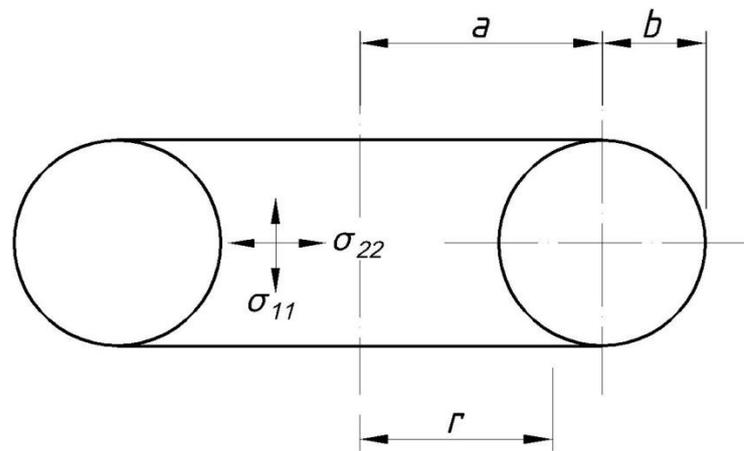


Рисунок Г.3

Таблица Г.5

<b>Источник</b>	R.J. Roark et W.C. Young, Formulas for stress and strain, 5e edition, New York, McGraw-Hill, 1975
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$t = 2 \times 10^{-2} \text{ м}$ – толщина стенки тора; $a = 2 \text{ м}$ , $b = 1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}$ ; $\mu = 0.3$
<b>Граничные условия</b>	Без закреплений.
<b>Нагрузка</b>	Внутреннее давление: $q = 10000 \text{ Па}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась оболочечными конечными элементами (тип КЭ 44); Разбивка: шаг по длине тора – 90; шаг по окружности тора – 80

Таблица Г.6 Результаты расчёта

Точка	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
$\square \forall r$	$\sigma_{22}$ , Па	$2.5 \times 10^5$	$2.4927 \times 10^5$	0.29
$r = a - b$	$\sigma_{11}$ , Па	$7.5 \times 10^5$	$7.4889 \times 10^5$	0.15
	$\Delta_r$ , м	$1.1905 \times 10^{-7}$	$1.1601 \times 10^{-7}$	2.55
$r = a + b$	$\sigma_{11}$ , Па	$4.166 \times 10^5$	$4.1685 \times 10^5$	0.06
	$\Delta_r$ , м	$1.7857 \times 10^{-6}$	$1.7741 \times 10^{-6}$	0.65

**Чистый изгиб призматического бруса**

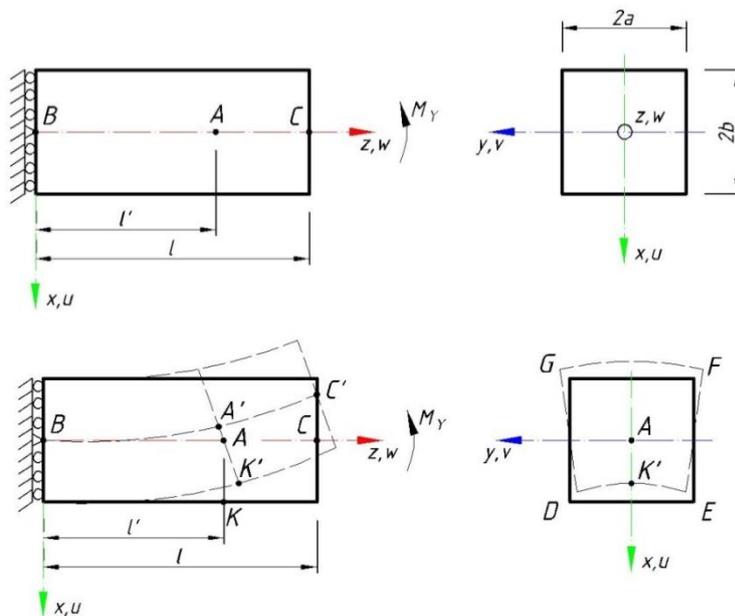


Рисунок Г.4

Таблица Г.7

<b>Источник</b>	S. Timoshenko, Théorie de l'élasticité, Paris, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1961, pages 284 – 289
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 6 \text{ м}$ , $L' = 4 \text{ м}$ , $a = b = 1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Па}$ ; $\mu = 0.3$
<b>Граничные условия</b>	Плоскость XOY, проходящая через точку B, и элемент оси Z : $w = 0$ ; Точка B: $w_B = u_B = v_B = 0$
<b>Нагрузка</b>	Изгибаемый момент: $M_y = 4/3 \times 10^7 \text{ Нм}$ .
<b>Описание задачи</b>	В силу симметрии рассчитывается одна вторая часть конструкции. Система моделировалась объёмными восьми узловыми конечными элементами (тип КЭ 36). Разбивка: $4 \times 8 \times 12 \text{ КЭ}$ – классический расчёт, $2 \times 4 \times 6 \text{ КЭ}$ – расчёт с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне

Таблица Г.8 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4		Отклонение, %	
		$4 \times 8 \times 12 \text{ КЭ}$	$2 \times 4 \times 6 \text{ КЭ}$	$4 \times 8 \times 12 \text{ КЭ}$	$2 \times 4 \times 6 \text{ КЭ}$
$u_A, \text{ м}$	$-4 \times 10^{-4}$	-3.836	3.9376	4.1	1.56
$w_K, \text{ м}$	$2 \times 10^{-4}$	1.918	1.9699	4.1	1.51
$v_F, \text{ м}$	$0.15 \times 10^{-4}$	0.14456	0.14837	3.6	1.09
$v_E, \text{ м}$	$-0.15 \times 10^{-4}$	-0.14456	-0.14837	3.6	1.09

## Г.2 ДИНАМИКА. СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ

## Собственные частоты круговой цилиндрической оболочки, закреплённой по торцам

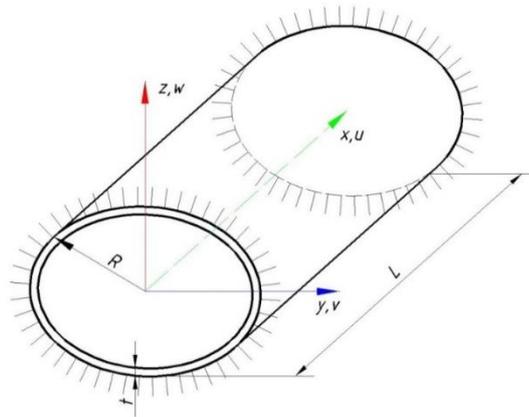


Рисунок Г.5

Таблица Г.9

<b>Источник</b>	И. А. Биргер, Я. Г. Пановко, Прочность, устойчивость, колебания, Справочник в трёх томах, Том 3, Москва, Машиностроение, 1968, стр. 437
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция (X, Y, Z, UX, UY, UZ).
<b>Исходные данные</b>	$L = 0.305 \text{ м}$ , $R = 0.076 \text{ м}$ , $t = 0.25 \times 10^{-3} \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 1.96 \times 10^{11} \text{ Па}$ , $\mu = 0.3$ , $\gamma = 7700 \text{ кг/м}^3$
<b>Граничные условия</b>	Плоскость XOY проходящая через точку В и элемент оси Z: $w = 0$ ; Точка В: $w_B = u_B = v_B = 0$
<b>Нагрузка</b>	На торцах: $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечными элементами тонкой оболочки (тип КЭ 44). Разбивка: $R100 \times L64 \text{ КЭ}$ – классический расчёт, $R50 \times L32 \text{ КЭ}$ – расчёт с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне. Для решения задачи выполнен модальный анализ

Таблица Г.10 Результаты расчёта

№ формы	Частота, Гц			Отклонение, %	
	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4		$R100 \times L64 \text{ КЭ}$	$R50 \times L32 \text{ КЭ}$
		$R100 \times L64 \text{ КЭ}$	$R50 \times L32 \text{ КЭ}$		
1	533	522.06	521.43	2.05	2.17
2	533	522.37	521.69	1.99	2.12
3	574	567.04	565.35	1.21	1.51
4	574	567.04	565.92	1.21	1.41
5	593	578.69	578.55	2.41	2.44
6	593	578.69	578.90	2.41	2.38
7	717	699.77	700.35	2.40	2.32
8	717	699.94	700.52	2.38	2.30

Собственные частоты, балки переменного сечения

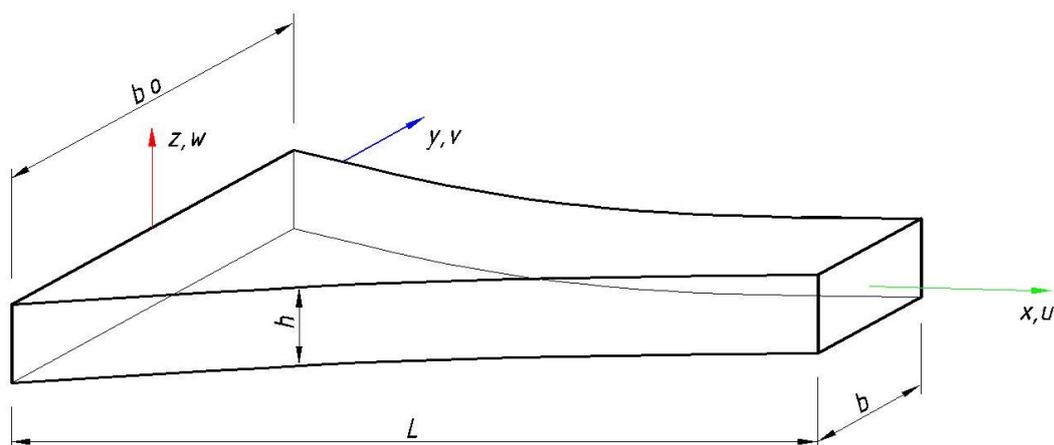


Рисунок Г.6

Таблица Г.11

<b>Источник</b>	Société Française des Mécaniciens – Commission Validation de Progiciels de Calcul de Structures, Groupe de travail Dynamique, Paris, 1989
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$b_0 = 0.03 \text{ м}$ , $b = b_0 \times e^{-2x} \text{ м}$ , $h = 0.01 \text{ м}$ , $L = 0.6 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 1.96 \times 10^6 \text{ psi}$ , $\mu = 0.3$ , $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$
<b>Граничные условия</b>	Оба конца стержня жёстко закреплены
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 10). Для решения задачи выполнен модальный анализ

Таблица Г.12 Результаты расчёта

№ формы	Частота, Гц		Отклонение, %
	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	
1	143.303	145.856	1.78
2	396.281	400.086	0.96
3	779.425	782.379	0.38
4	1289.577	1291.22	0.12

## Г.3 Устойчивость

## Собственные частоты круговой цилиндрической оболочки, закреплённой по торцам

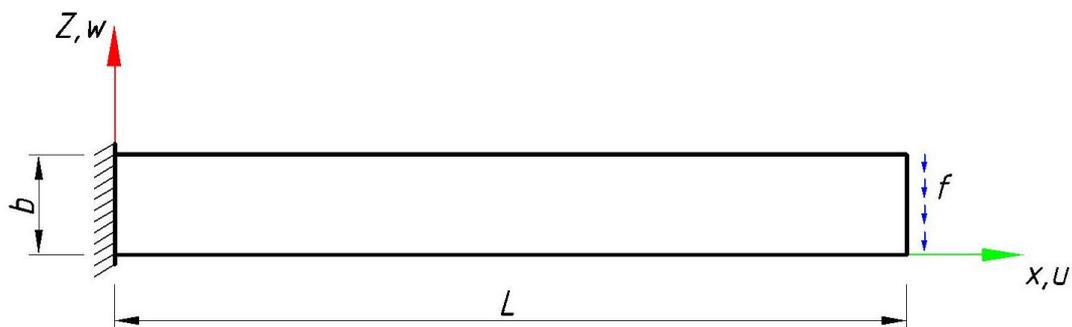


Рисунок Г.7

Таблица Г.13

<b>Источник</b>	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VII. Теория упругости. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: «Наука», 1987, стр. 123
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ$ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 10 \text{ м}, b = 0.5 \text{ м}, h = 0.1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2 \times 10^7 \text{ т/м}^2 \quad \mu = 0.3$
<b>Граничные условия</b>	Левая сторона закреплена
<b>Нагрузка</b>	$f = 20 \text{ т/м}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечными элементами тонкой оболочки (тип КЭ 44). Разбивка: $5 \times 100 \text{ КЭ}$

Таблица Г.14 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
Коэффициент запаса	4.1479	4.1638	0.38

Устойчивость круговой арки

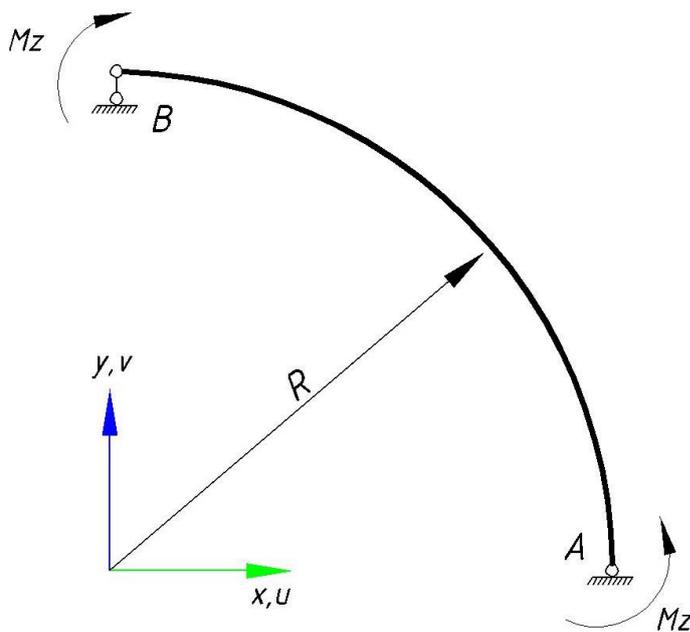


Рисунок Г.8

Таблица Г.15

<b>Источник</b>	С. П. Тимошенко, «Устойчивость упругих систем», М.: Гостехтеориздат, 1955, 576 с
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( X, Y, Z, UX, UY, UZ )
<b>Исходные данные</b>	$R = 1 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $EA = 2 \times 10^5 \text{ т}$ , $EI_y = EI_z = 166.7 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ , $GI_x = 133.3 \text{ т} \cdot \text{м}^2$
<b>Граничные условия</b>	В точке А: $u = v = w = \theta_y = 0$ . В точке В: $v = w = \theta_x = 0$
<b>Нагрузка</b>	Вар.1: $M_{Az} = -10 \text{ т}$ , $M_{Bz} = 10 \text{ т}$ . Вар.2: $M_{Az} = 10 \text{ т}$ , $M_{Bz} = -10 \text{ т}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 10)

Таблица Г.16 Результаты расчёта

Искомая величина		Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
Вар. 1	Коэффициент запаса	14.8626	14.8605	0.014
Вар. 2	Коэффициент запаса	44.8715	44.8651	0.014

## Г.4 ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ, ФИЗИЧЕСКАЯ И КОНСТРУКТИВНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ

## Собственные частоты круговой цилиндрической оболочки, закреплённой по торцам

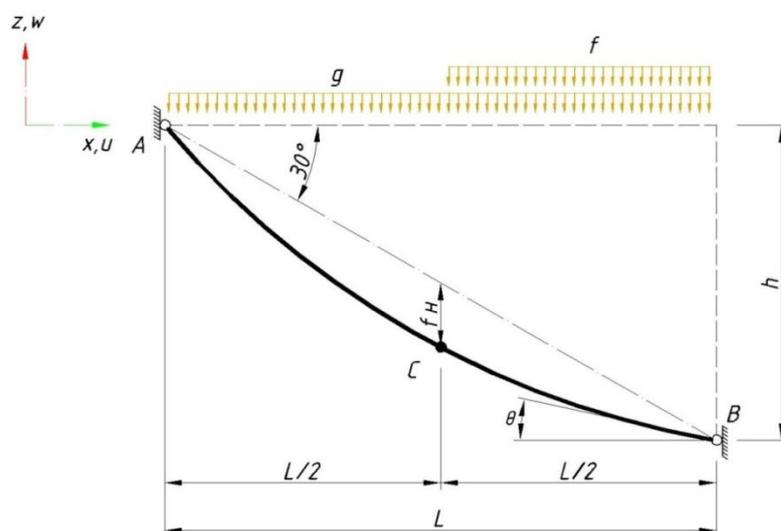


Рисунок Г.9

Таблица Г.17

<b>Источник</b>	«Справочник проектировщика расчётно-теоретический», под ред. доктора тех. наук, проф. А.А. Уманьского, – М.: «Стройиздат», 1960, стр. 325
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$L = 100 \text{ м}$ , $F = 15.96 \text{ см}^2$ . $f_n = 8.94 \text{ м}$ – стрела провеса при равномерно распределённой нагрузке, измеряется в середине пролёта от наклонной хорды АВ по направлению Z
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 1.6 \times 10^7 \text{ м/м}^2$
<b>Граничные условия</b>	Точки А и В закреплены от смещений
<b>Нагрузка</b>	$q = 0.5 \text{ т/м}$ , $f = 0.42 \text{ т/м}$
<b>Описание задачи</b>	Определяется распор, максимальное усилие в канате, угол наклона каната у опоры В и ордината линии равновесия в середине пролёта. Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 304). Для решения нелинейной задачи организован автоматический выбор шага приложения нагрузки

Таблица Г.18 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
$H$ , т	89.142	88.889	0.28
$N_{\text{пвх}}$ , т	120.93	120.61	0.26
$\theta$ , рад	1.0345	1.0358	0.13
$Z_{L/2}$ , м	-38.824	-38.785	0.1

**Сильный изгиб консоли**



Рисунок Г.10

Таблица Г.19

<b>Источник</b>	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VII. Теория упругости. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: «Наука», 1987, стр. 106
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( $X, Z, UY$ )
<b>Исходные данные</b>	$L = 10 \text{ м}$ , $A = 0.05 \text{ м}^2$ , $I = 5 \times 10^{-6} \text{ м}^4$
<b>Характеристики материала</b>	Изотропный упругий: $E = 2 \times 10^7 \text{ т/м}^2$
<b>Граничные условия</b>	Точка А закреплена
<b>Нагрузка</b>	$F = 4 \text{ т}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 309). Для решения нелинейной задачи организован автоматический выбор шага приложения нагрузки

Таблица Г.20 Результаты расчёта

Искомая величина		Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
Точка В	$u_B, \text{ м}$	- 3.29	- 3.2898	0.006
	$w_B, \text{ м}$	- 6.70	- 6.7056	0.084
Точка А	$M_A, \text{ тм}$	26.8	26.857	0.213

### Квадратная мембрана с податливым контуром

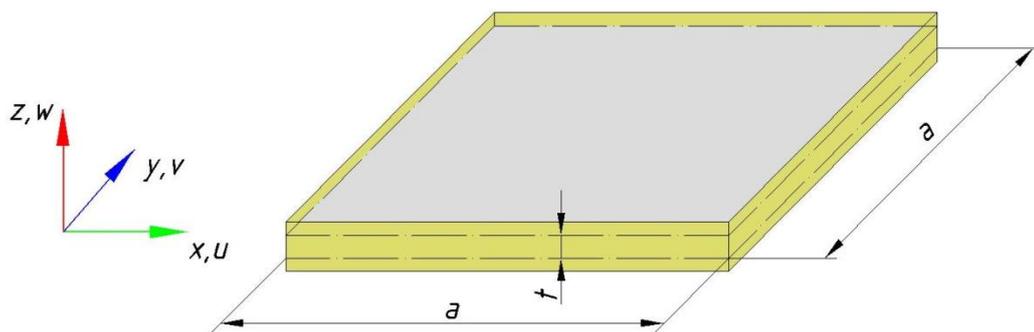


Рисунок Г.11

Таблица Г.21

<b>Источник</b>	Еремеев П.Г. Присяжной В.Б. «Экспериментальные исследования квадратных мембран с податливым контуром» // Строительная механика и расчёт сооружений, стр. 58-61
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Пространственная конструкция ( $X, Y, Z, UX, UY, UZ$ )
<b>Исходные данные</b>	$a = 1.1 \text{ м}$ , $t = 0.5 \text{ мм}$
<b>Характеристики материала</b>	Мембрана: $E = 7 \times 10^6 \text{ т/м}^2$ , $\mu = 0.3$ . Стержень опорного контура: $EA = 1280 \text{ т}$ , $EI_y = EI_z = 0.075 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ , $GI_x = 0.1 \text{ т} \cdot \text{м}^2$
<b>Граничные условия</b>	Вертикальные перемещения контура запрещены
<b>Нагрузка</b>	Равномерно распределённая нагрузка по площади мембраны: $q = 0.6 \text{ т/м}^2$
<b>Описание задачи</b>	В силу симметрии рассчитывается одна четвертая часть конструкции. Система моделировалась конечными элементами мембраны (тип КЭ 344) и стержневыми элементами (тип КЭ 309). Разбивка: $40 \times 40$ КЭ – классический расчёт, $20 \times 20$ КЭ – расчёт с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне. Для решения нелинейной задачи организован автоматический выбор шага приложения нагрузки

Таблица Г.22 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4		Отклонение, %	
		$40 \times 40$ КЭ	$20 \times 20$ КЭ	$40 \times 40$ КЭ	$20 \times 20$ КЭ
$w_{L/2}$ , мм	- 38.8	- 39.74	- 37.949	2.42	2.19
$N_{\text{max}}$ , т (в контуре)	- 1.1	- 1.1384	- 0.995	3.49	9.54

**Жёсткая балка на подвесках**

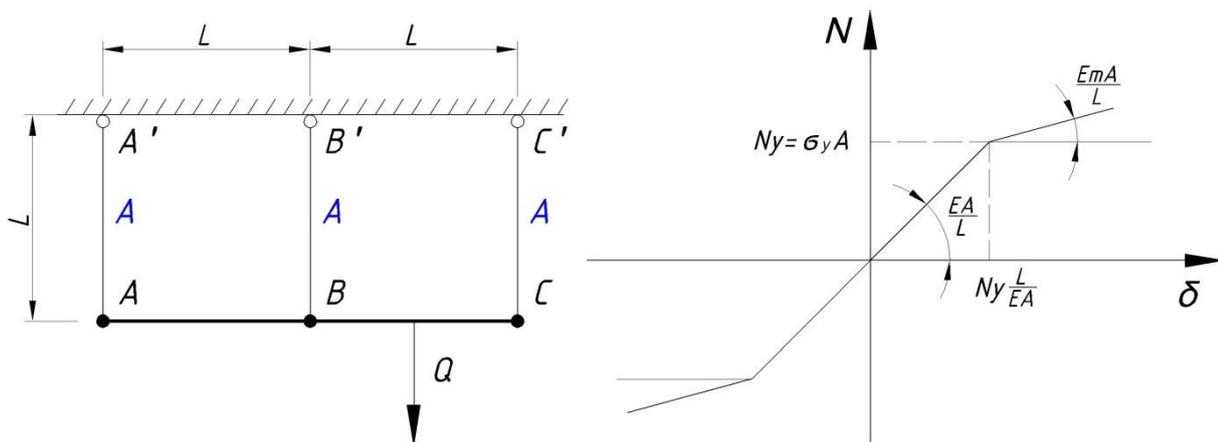


Рисунок Г.12

Таблица Г.23

<b>Источник</b>	В. Halphen et J. Salencon, Elastoplasticité, Presses de l'ENPC
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$L = 1 м, A = 1 \times 10^{-4} м^2$
<b>Характеристики материала</b>	Нелинейно упругий: $\sigma_y = 400 МПа, E = 2.1 \times 10^{11} Па, E_m = 0.25 \times 10^{11} Па.$ Стержень AC: $EA = 1 \times 10^{11} Па, EI_y = 1 \times 10^{11} Па$
<b>Граничные условия</b>	Шарниры в точках A', B', C'
<b>Нагрузка</b>	Сосредоточенная сила $Q = (13/7)\sigma_y A$ приложена в центре пролёта BC
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась стержневыми конечными элементами (тип КЭ 210) – для подвесок, (тип КЭ 10) – для балки. Для решения нелинейной задачи организован шаговый процесс приложения нагрузки (количество шагов 100)

Таблица Г.24 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
$N_{AA'}, кН$	4.160	4.515	8.54
$N_{BB'}, кН$	28.762	28.113	2.26
$N_{CC'}, кН$	41,333	41.658	0.79
$w_A, см$	-0.01995	-0.02150	7.80
$w_B, см$	-0.13696	-0.133866	2.26
$w_C, см$	-0.25397	-0.246226	3.05

## Система с односторонними пружинами

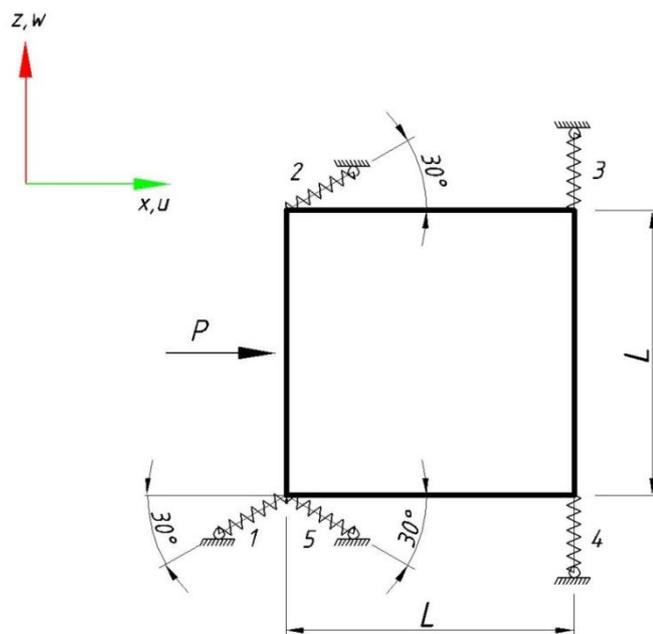


Рисунок Г.13

Таблица Г.25

<b>Источник</b>	А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа, Киев: «Сталь», 2002, стр. 123
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская ферма или балка стенка ( X, Z )
<b>Исходные данные</b>	$L = 20 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	$E = 2 \times 10^7 \text{ т/м}^2$ . Жёсткость пружины: $k = EA/L = 1 \times 10^8 \text{ т/м}$
<b>Граничные условия</b>	Балка-стенка прикреплена к опорам 5-ю пружинами, работающими только на растяжение
<b>Нагрузка</b>	$P = 10 \text{ т}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась одним конечным элементом типа КЭ 24 – Плоского напряжения «балка-стенка» и 5-ю стержневыми конечными элементами типа КЭ 265. Для решения нелинейной задачи организован шаговый итерационный процесс (количество шагов 1, минимальное число итераций 300)

Таблица Г.26 Результаты расчёта

Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
$R_1, \text{ т}$	12.44	12.4407	0.006
$R_2, \text{ т}$	0.893	0.8934	0.045
$R_3, \text{ т}$	5.77	5.7738	0.066
$R_4 = R_5, \text{ т}$	0.00	0.0000	0.000

**Квадратная плита на одностороннем жёстком основании**

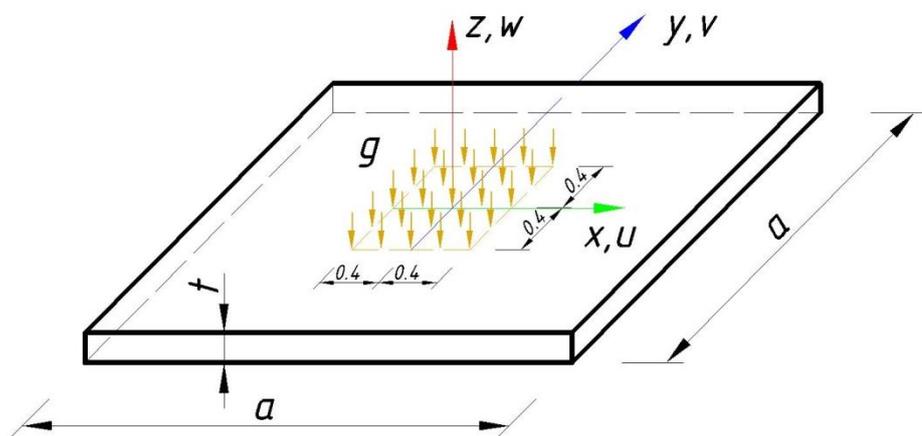


Рисунок Г.14

Таблица Г.27

<b>Источник</b>	П. Панагиотопулос. Неравенства в механике и их приложения, Москва: «Мир», 1989, стр. 367
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская плита или ростверк ( Z, UX, UY )
<b>Исходные данные</b>	$a = 3 \text{ м}, t = 0.05 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	$E = 4.5 \times 10^6 \text{ т/м}^2, \mu = 0.2$
<b>Граничные условия</b>	Одностороннее жёсткое основание
<b>Нагрузка</b>	В центре плиты по квадрату со стороной 0.8 м приложена нагрузка $g = 50 \text{ т/м}^2$
<b>Описание задачи</b>	В силу симметрии рассчитывается одна четвертая часть конструкции. Система моделировалась плитными конечными элементами (тип КЭ 19). Разбивка: $30 \times 30$ КЭ – классический расчёт, $15 \times 15$ КЭ – расчёта с использованием конечных элементов с дополнительными узлами на стороне. Для решения нелинейной задачи организован шаговый итерационный процесс (количество шагов 1, минимальное число итераций 2334)

Таблица Г.28 Результаты расчёта

Искомая величина	Численное решение	Результаты расчёта Лира 10.4		Отклонение, %	
		30×30 КЭ	15×15 КЭ	30×30 КЭ	15×15 КЭ
область контакта	квадрат со стороной 0.9 м	квадрат со стороной 0.9 м	квадрат со стороной 0.9 м	0	0

## Г.5 ДИНАМИКА ПЛЮС. ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

## Динамическая задача при импульсном воздействии

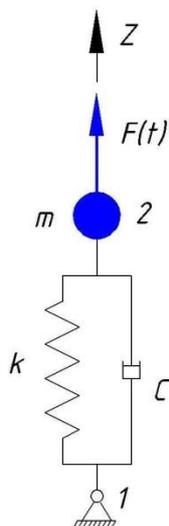


Рисунок Г.15 Схема

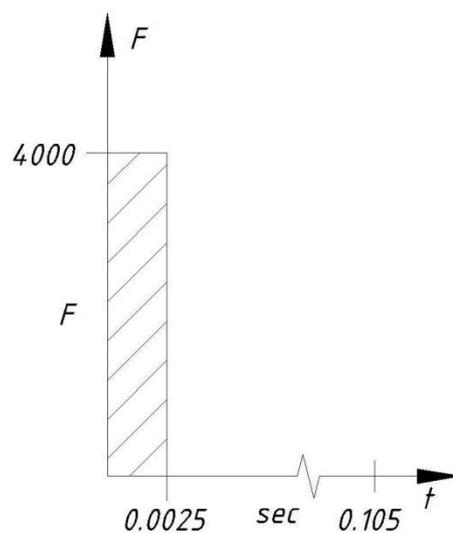


Рисунок Г.16 Нагрузка

Таблица Г.29

<b>Источник</b>	W. T. Thomson, Vibration Theory and Applications, 2nd Printing, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1965, pg. 99, article 4.1
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$a = 3 \text{ м}$ , $t = 0.05 \text{ м}$
<b>Характеристики материала</b>	$k = EA/L = 200 \text{ т/м}$ , $m = 0.5 \text{ т} \cdot \text{с}^2 / \text{м}$
<b>Граничные условия</b>	Точка 1: $u_1 = w_1 = 0$ ; Точка 2: $u_2 = 0$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечным элементом типа КЭ 10. Для решения задачи выполнен расчёт динамики во времени (шаг интегрирования $2e-07 \text{ с}$ )

Таблица Г.30 Результаты расчёта

Время	Искомая величина	Аналитическое решение	Результаты расчёта Лири 10.4	Отклонение, %
$T = 0.0025 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0$ )	$w$ , м	0.024995	0.025	0.02
$T = 0.08 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0$ )	$w_{max}$ , м	0.999896	0.999888	0.001
$T = 0.1 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0$ )	$w$ , м	0.91932	0.919315	0.001
$T = 0.1 \text{ с}$ (парам. затухания $\xi = 0.7$ )	$w$ , м	0.34180	0.346883	1.49

Динамическая задача при действии гармонической возмущающей силы

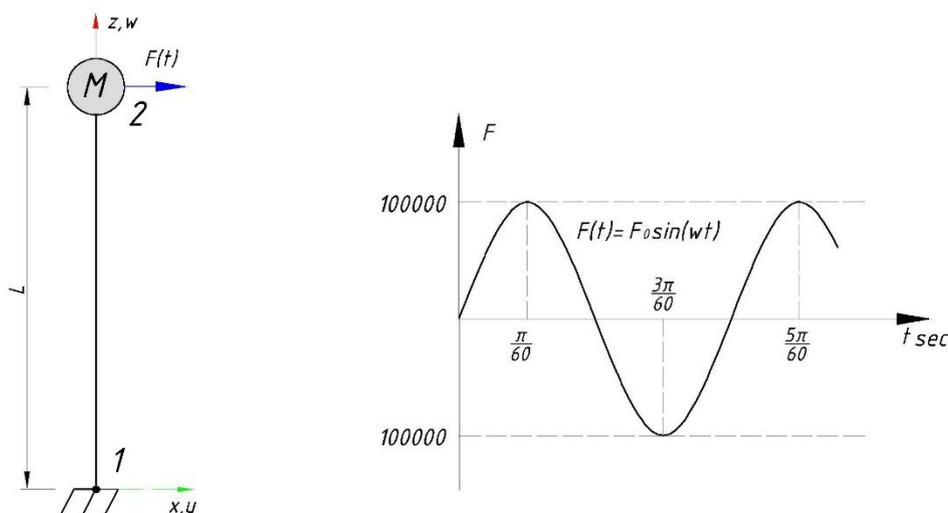


Рисунок Г.17

Таблица Г.31

<b>Источник</b>	Paz, Mario, Structural Dynamics; Theory and Computation, 3rd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991, pp. 84~87, EX. 4-5, 4-6
<b>Тип создаваемой задачи</b>	Плоская рама ( X, Z, UY )
<b>Исходные данные</b>	$L = 100 \text{ in}$ , $I_y = 1666.667 \text{ in}^4$
<b>Характеристики материала</b>	$E = 2 \times 10^7 \text{ lb/in}^2$ , $M = 100 \text{ lb} \cdot \text{sec}^2 / \text{in}$
<b>Граничные условия</b>	Точка 1: $u_1 = w_1 = \theta_{y1} = 0$ ; Точка 2: $w_2 = 0$
<b>Нагрузка</b>	$F(t) = 100000 \cdot \sin(30t) \text{ lb} \cdot \text{sec}$ , $\omega = 30 \text{ rad/sec}$
<b>Описание задачи</b>	Система моделировалась конечным элементом типа КЭ 10. Для решения задачи выполнен расчёт динамики во времени (время интегрирования 0.3 sec , шаг интегрирования 0.001 sec )

Таблица Г.32 Результаты расчёта

Искомая величина		Аналитическое решение	Результаты расчёта Лира 10.4	Отклонение, %
$t = 0.1 \text{ sec}$	u, in	1.608	1.6097	0.106
$t = 0.2 \text{ sec}$		- 3.187	- 3.1968	0.307
$t = 0.3 \text{ sec}$		4.742	4.7334	0.18