

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Современные проблемы прикладной механики», 2 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны решить поставленные задачи в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ расчетной схемы, выбрать метод решения, провести расчеты.

Обязательные структурные части РГЗ: задание, решение.

Оцениваемые позиции: правильность решения задачи.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), оценка составляет менее 50 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально, имеются ошибки, оценка составляет 50-75 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если все части РГЗ(Р) выполнены, но допущена несущественная ошибка, оценка составляет 76-99 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если все задания выполнены без ошибок, оценка составляет 100 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

- 4.1. Упругопластическое деформирование пластины в процессе нагружения и разгрузки
- 4.2. Решение контактных задач формообразования с помощью МКЭ
- 4.3. Расчет температурных полей в теле за пределами упругости

5. Варианты заданий РГЗ(Р)

5.1. Дана пластина (рис. 1.1), закрепленная определенным образом и нагруженная силой P (расчетная схема является индивидуальной, варианты приводятся ниже). Известны также размеры пластины, толщина и параметры материала (модуль упругости E , коэффициент Пуассона ν , предел текучести σ_T и коэффициент линейного упрочнения E_T).

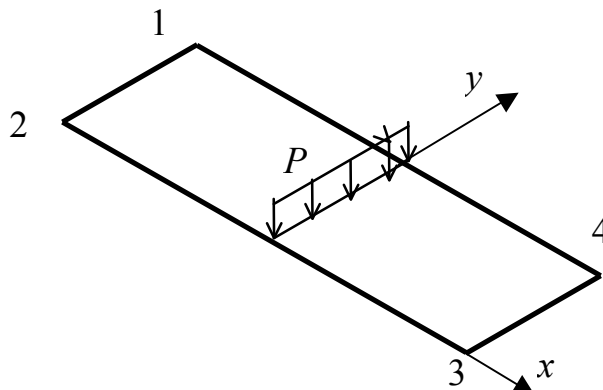


Рис.1.1 Расчетная схема

Требуется:

1. С помощью пакета COSMOS/M провести линейный расчет на статическую прочность пластины от действия единичной нагрузки $P=1$ и найти $P_T = \sigma_T / \max(\sigma_i)$, где σ_i - интенсивность напряжений по Мизесу.

2. Исследовать деформирование пластины при изменении силы P от 0 до $\sim 1.5 P_T$ и при последующей полной разгрузке.

Таблица 1.1.

Варианты исходных данных

№ варианта	Толщина h (мм)	Модуль упругости E (МПа)	Коэффиц. линейного упрочнен. E_T (МПа)	Предел текучести σ_T (МПа)	Коэффиц. Пуассона ν	Закрепление	
						Сторона 1-2	Сторона 3-4
1	4	$2,1 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	500	0,3	шарнир	шарнир
2	2	$2,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	490	0,31	заделка	шарнир
3	3	$1,1 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4$	200	0,28	шарнир	заделка
4	4	$0,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	100	0,29	заделка	заделка
5	3	$1,9 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	450	0,3	шарнир	шарнир
6	2	$2,05 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^4$	460	0,3	заделка	шарнир
7	5	$2,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	470	0,31	шарнир	заделка
8	3	$1,1 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4$	220	0,29	заделка	заделка
9	4	$0,7 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	120	0,28	шарнир	шарнир
10	2	$1,9 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	400	0,31	заделка	шарнир
11	5	$0,72 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^3$	110	0,29	шарнир	заделка
12	4	$1,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4$	230	0,28	заделка	заделка
13	2	$2,04 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	450	0,3	заделка	шарнир

Таблица 1.2.

Координаты узлов

№ варианта	x_1 (м)	y_1 (м)	x_2 (м)	y_2 (м)	x_3 (м)	y_3 (м)	x_4 (м)	y_4 (м)
1	-0,75	0,5	-0,75	0	0,75	0	0,75	0,7
2	-1	0,6	-1	-0,1	1,1	0	1,1	0,8
3	-0,8	0,55	-0,8	0	0,9	-0,2	0,9	0,65
4	-0,9	0,7	-0,9	-0,2	1	0	1	0,5
5	-1,2	0,7	-1,2	-0,1	1,4	0,1	1,4	1
6	-1,3	0,8	-1,3	0	1,2	0,2	1,2	0,9
7	-0,7	0,4	-0,7	0	0,8	0,1	0,8	0,6
8	-1,4	0,9	-1,4	-0,2	1,2	0,2	1,2	0,7
9	-1,5	0,75	-1,5	-0,3	1,35	0,1	1,35	0,95
10	-1,1	0,6	-1,1	0	1,25	0,2	1,25	0,8
11	-1,6	0,75	-1,6	0	1,4	0,4	1,4	1
12	-1,45	0,9	-1,45	0,1	1,6	-0,3	1,6	0,65
13	-1,55	0,8	-1,55	-0,2	1,45	0,3	1,45	1

5.2. Дана шарнирно опертая балка, выполненная из материала, диаграмма деформирования которого аппроксимируется схемой идеального упругопластического материала с линейным упрочнением (рис.2.1). Известны:

- Длина ℓ и размеры прямоугольного поперечного сечения $b \times h$ балки, а также параметры материала (модуль упругости E , предел текучести σ_T и коэффициент линейного упрочнения E_T).

- Форма штампа $y(x) = (x/500)^2$. В расчетах принять, что штамп - идеально упругий с модулем упругости, в несколько порядков превышающим модуль упругости материала

балки (например, принять $E_{шт} = 10^5 \cdot E$). При моделировании штампа высоту выбрать самостоятельно (например, равной половине ширины $l_{шт}$ штампа).

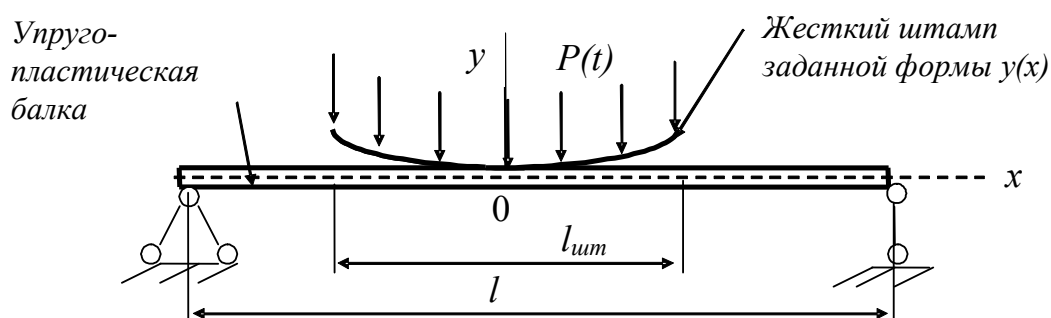


Рис. 2.1. Внедрение жесткого штампа в упругопластическую балку

Требуется решить задачу контактного внедрения жесткого штампа в балку двумя способами.

1. С применением 2-х узловых GAP- элементов. Исследовать как прямое нагружение при изменении силы P от 0 до $(1.5 \div 2)P_T$, так и процесс последующей полной разгрузки. Значение силы P_T предварительно определить на основе вспомогательного нелинейного расчета, считая материал балки упругим и задавая путь нагружения от $P = 0$ при $t = 0$ до $P = 1$ при $t = 1$. При этом $P_T = \sigma_T / \max(\sigma_i)$, где σ_i - интенсивность напряжений по Мизесу.

2. Решить задачу контактного взаимодействия жесткого штампа с упругопластической балкой с применением 1-го узловых GAP- элементов. Учесть трение штампа и балки (коэффициент трения k в этой задаче дополнительно задан). Здесь достаточно исследовать только прямое нагружение при изменении силы P от 0 до $(1.5 \div 2)P_T$ (значение P_T берется из предыдущего расчета).

Таблица 2.1.

Варианты исходных данных

№ вар.	Длина балки ℓ (м)	Размеры сечения балки $b \times h$ (мм)	Длина штампа $\ell_{шт}$	Модуль упругости E (МПа)	Коэффиц. линейного упрочнен. E_T	Предел текучести σ_T (МПа)	Коэфф. трения k
1	1,1	10x18	0,6 ℓ	2,1·10 ⁵	0,09E	500	0,2
2	1,2	15x20	0,5 ℓ	2,0·10 ⁵	0,10E	490	0,3
3	1,3	16x21	0,6 ℓ	1,1·10 ⁵	0,18E	200	0,25
4	1,0	10x22	0,5 ℓ	0,7·10 ⁵	0,17E	100	0,1
5	1,4	15x28	0,6 ℓ	1,9·10 ⁵	0,11E	450	0,35
6	1,5	25x40	0,5 ℓ	2,05·10 ⁵	0,12E	460	0,15
7	1,6	26x41	0,4 ℓ	2,0·10 ⁵	0,095E	470	0,2
8	1,7	20x45	0,6 ℓ	1,1·10 ⁵	0,105E	220	0,3
9	0,9	10x28	0,5 ℓ	0,7·10 ⁵	0,085E	120	0,25
10	1,8	25x50	0,4 ℓ	1,9·10 ⁵	0,175E	400	0,1
11	1,9	26x46	0,6 ℓ	0,72·10 ⁵	0,115E	110	0,35
12	1,0	10x30	0,5 ℓ	1,0·10 ⁵	0,125E	230	0,15
13	2,0	30x60	0,4 ℓ	2,04·10 ⁵	0,098E	450	0,35
14	1,5	20x48	0,6 ℓ	1,05·10 ⁵	0,20E	200	0,19

5.3. Дано толстостенное тело вращения конической формы, сечение которого и размеры приведены на рис. 4.1.

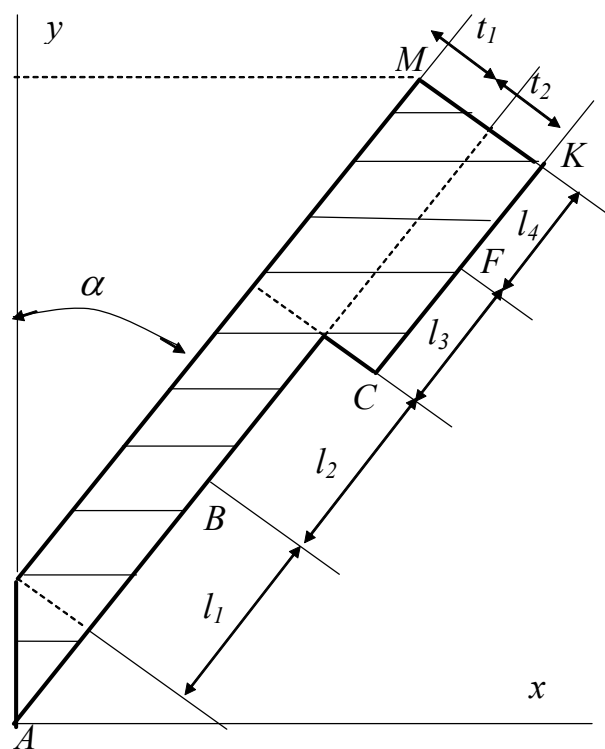


Рис. 4.1. Сечение толстостенного конического тела (ось *y* – ось вращения).

Вдоль участков *CF*, *FK*, *KM* действуют тепловые потоки q_1 , q_2 , q_3 соответственно, изменяющиеся от времени на интервале 100 сек. в соответствии с рис. 4.2. Вдоль участка *AB* осуществляется конвективный теплообмен (температура охлаждающей жидкости 20°С, коэффициент теплоотдачи от жидкости к меди принять постоянным и равным 15900 Вт/(м²·град)). Начальная температура конструкции $T_0=20^{\circ}\text{C}$.

Тело изготовлено из очищенной меди, термомеханические характеристики которой в зависимости от температуры приведены в табл.4.1.

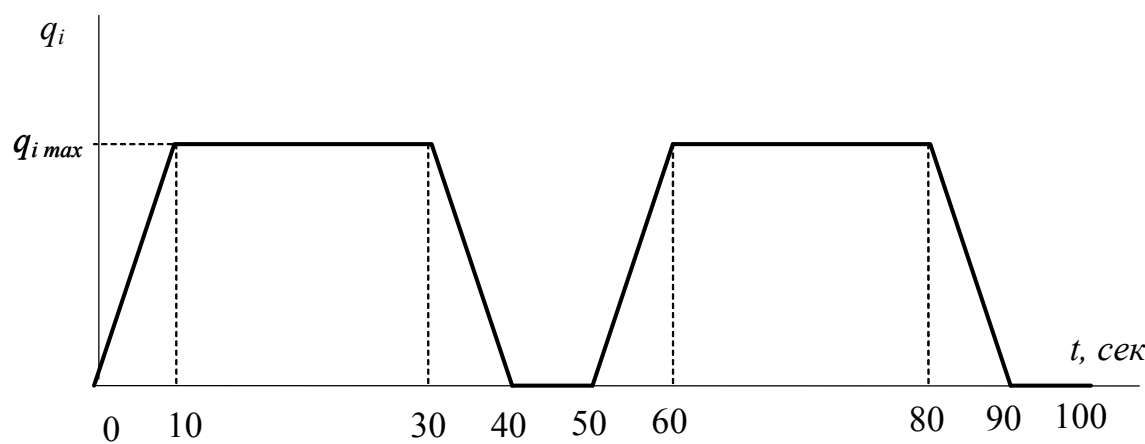


Рис. 4.2. Изменение теплового потока от времени на участках *CF*, *FK*, *KM*

Таблица 4.1.

Термомеханические характеристики очищенной меди

Температура, С	20	100	200	300	500	577	800
Коэф.температурного расширения, *10 ⁻⁶ К ⁻¹	16,7	17	17,3	17,6	18,3	18,6	20

Коэф.теплопроводности, Вт/(м*К)	399	402	398	392	386	373	350
Модуль Юнга, (E), *10 ⁹ Па	96,6	94,2	91,8	87,3	75,9	69	20
Теплоемкость, Дж/(кг*К)	389	398	410	422	444	456	500
Предел текучести, *10 ⁶ Па	34,5	31,05	27,6	23,45	16,55	13,8	8
Коэффициент линейного упрочнения (E _T), *10 ⁹ Па	1,31	1,14	0,97	0,81	0,495	0,34	0,2
Коэф. Пуассона	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Плотность, кг/м ³	8940	8940	8940	8940	8940	8940	8940

Геометрические размеры в зависимости от вариантов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

Геометрические размеры

№ вар	l_1 (м)	l_2 (м)	l_3 (м)	l_4 (м)	t_1 (м)	t_2 (м)	α (градус)	Тип КЭ
1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,02	40	PLANE 2D
2	0,2	0,8	0,1	0,11	0,06	0,025	45	TRIANG
3	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,02	30	PLANE 2D
4	0,2	0,1	0,18	0,18	0,1	0,04	35	TRIANG
5	0,3	0,12	0,2	0,21	0,07	0,03	50	PLANE 2D
6	0,25	0,13	0,19	0,22	0,08	0,03	55	TRIANG
7	0,35	0,19	0,2	0,18	0,1	0,04	60	PLANE 2D
8	0,21	0,18	0,25	0,2	0,09	0,04	40	TRIANG
9	0,32	0,12	0,3	0,25	0,05	0,015	30	PLANE 2D
10	0,26	0,12	0,25	0,25	0,06	0,02	35	TRIANG
11	0,19	0,11	0,15	0,18	0,07	0,03	45	PLANE 2D
12	0,28	0,13	0,24	0,2	0,08	0,035	50	TRIANG
13	0,31	0,15	0,25	0,33	0,09	0,04	55	PLANE 2D
14	0,24	0,1	0,2	0,3	0,1	0,45	35	TRIANG
15	0,3	0,14	0,25	0,31	0,11	0,35	40	PLANE 2D
16	0,4	0,19	0,35	0,35	0,12	0,5	45	TRIANG
17	0,35	0,13	0,15	0,1	0,09	0,03	55	PLANE 2D
18	0,21	0,15	0,24	0,18	0,05	0,04	60	TRIANG

Исходные данные по значениям амплитуды тепловых потоков $q_{imax}=k_iQ_{max}$ приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3.

Значения амплитуды тепловых потоков $q_{imax}=k_iQ_{max}$

№ варианта	k_1	k_2	k_3	Q_{max} (МВт/м ²)
1	0,5	1	0,7	2,5
2	0,6	0,8	1	3
3	1	0,5	0,8	2,6
4	0,75	1	0,6	2,7
5	0,6	0,8	1	2,8
6	1	0,5	0,85	2,9
7	0,5	1	0,75	3,1
8	0,5	0,8	1	3,2
9	1	0,5	0,8	3,3
10	0,5	1	0,7	3,4

11	0,8	0,5	1	3,5
12	0,45	1	0,75	3,35
13	1	0,6	0,8	2,5
14	0,75	1	0,55	3
15	0,85	0,5	1	2,6
16	0,45	1	0,8	2,7
17	1	0,55	0,85	2,8
18	0,4	1	0,8	2,9

Требуется:

1. В соответствии с номером варианта провести расчет температурных полей в теле для различных моментов времени (см. рис. 4.2). Привести распределения температуры для характерных моментов времени и распределение температуры в одной из наиболее нагретых точек тела в зависимости от времени.
2. Закрепив конструкцию от смещения как жесткого целого, провести упругопластический расчет напряжений и перемещений, приняв, что материал подчиняется схеме идеального упругопластического тела с линейным упрочнением. При расчете считать, что при $T=20^{\circ}\text{C}$ температурные напряжения и деформации отсутствуют. Привести распределение интенсивности напряжений по Мизесу в одной из наиболее напряженных точек в зависимости от времени.

Указание

Если в результате расчета окажется, что максимальная температура выше 800°C , то следует уменьшить величину Q_{max} для своего варианта, согласовав это изменение с преподавателем.