

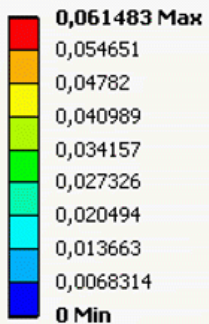


**Перспективные направления и пути решения задач
больших деформаций, ударного контактного
взаимодействия анализ контакта деталей с учетом**

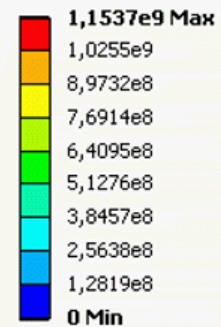
- **Динамика быстроизменяющихся процессов**
- Контакт с трением
- Задачи с большими перемещениями и деформациями
- Ударное взаимодействие

Анимация процесса резания металла $t=10^{-4}$ с

Суммарные перемещения, м



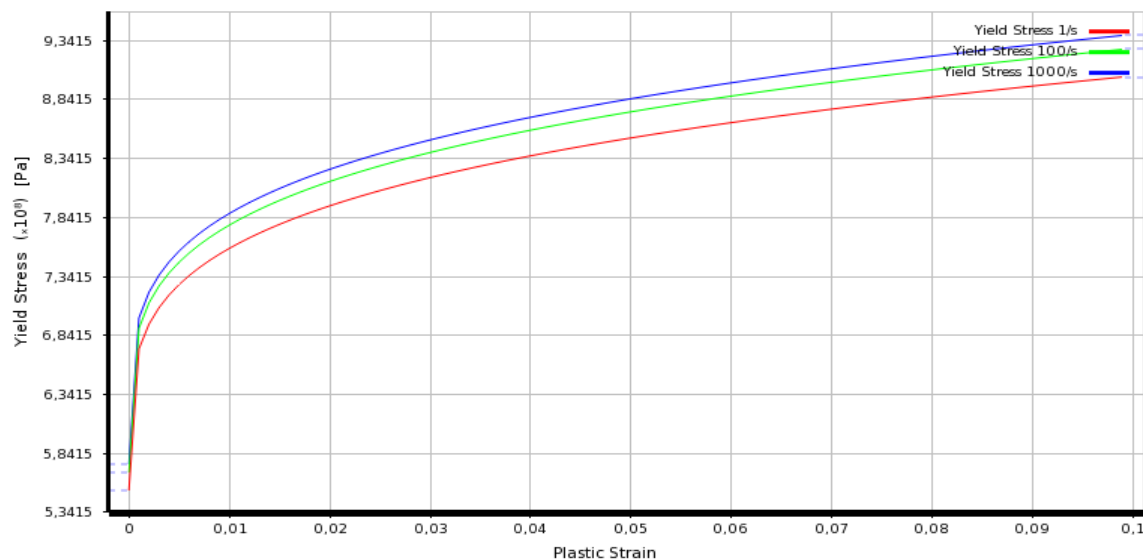
Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па



Динамическое разрушение материала

Модель пластичности Джонсона-Кука

$$\sigma = \left[A + B \left(\bar{\epsilon}^{pl} \right)^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_{rr}} \right)^m \right)$$



Модель разрушения Джонсона-Кука

$$D = \sum \frac{\Delta \bar{\epsilon}^{pl}}{\bar{\epsilon}_f^{pl}} \geq 1$$

$$\bar{\epsilon}_f^{pl} = \left[D_1 + D_2 e^{D_3 \frac{p}{\sigma_{eff}}} \right] \left[1 + D_4 \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left(1 + D_5 \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_{rr}} \right) \right)$$

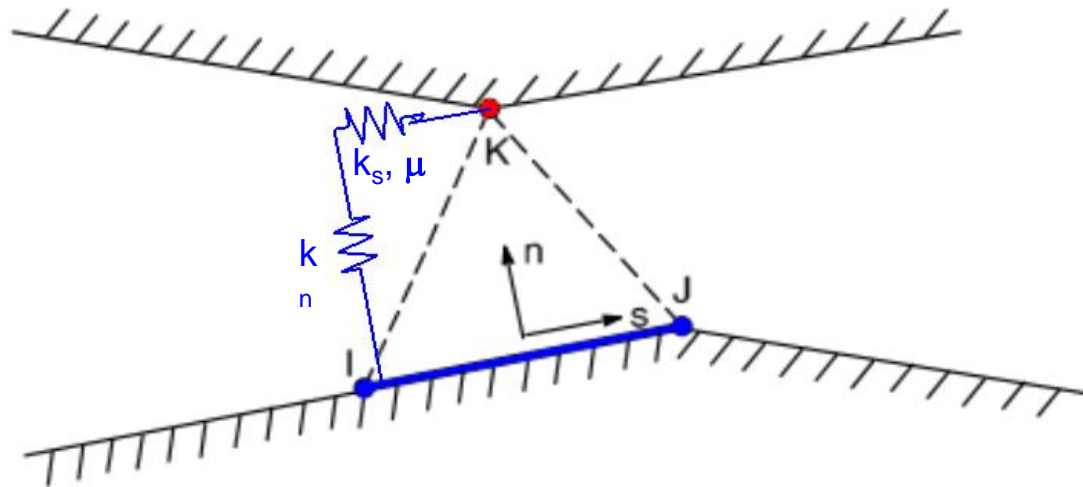
Задачи возникающие при моделировании динамических процессов

- Определение «скорости» процесса и выбор алгоритма расчета
- Моделирование контактного взаимодействия и ударных взаимодействий
- Моделирование геометрической нелинейности (большие деформации и перемещения)
- Моделирование физической нелинейности материалов
- Моделирования разрушения материалов
- Моделирование сопряженных термодинамических процессов
-

- Динамика быстроизменяющихся процессов
- **Контакт с трением**
- Задачи с большими перемещениями и деформациями
- Ударное взаимодействие

Модель контакта с трением

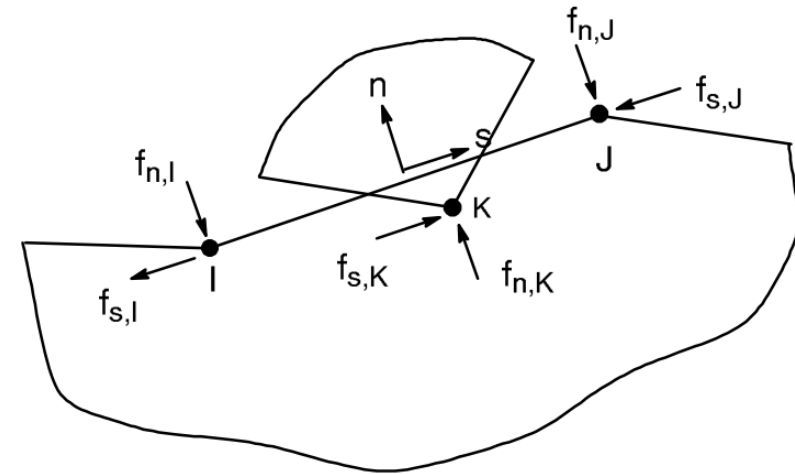
Отсутствие контакта



Линейно-упругий закон для
нормальной силы

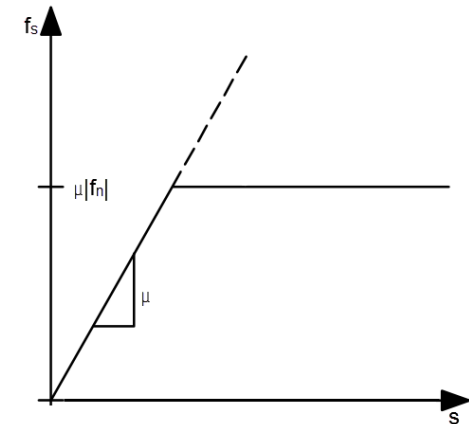
$$f_{n,K} = k_n n_K$$

Наличие контакта

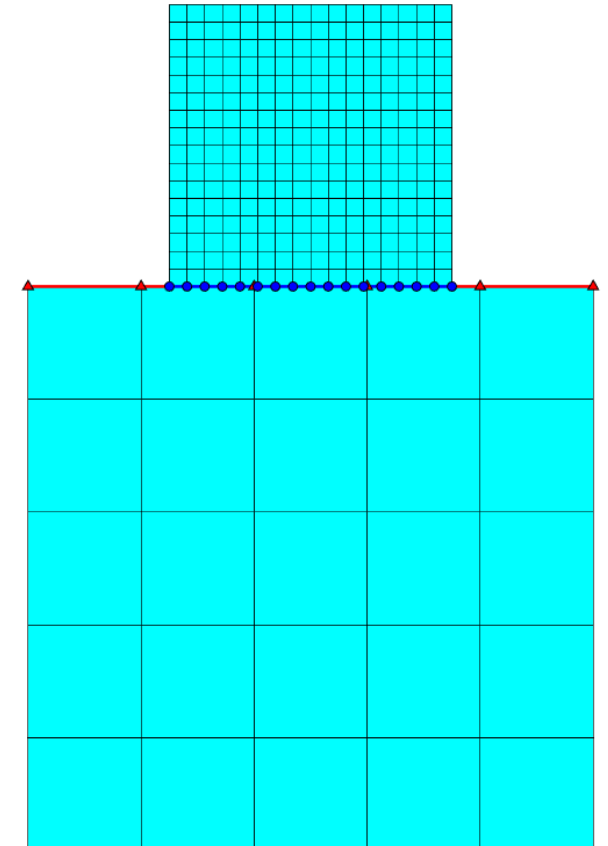
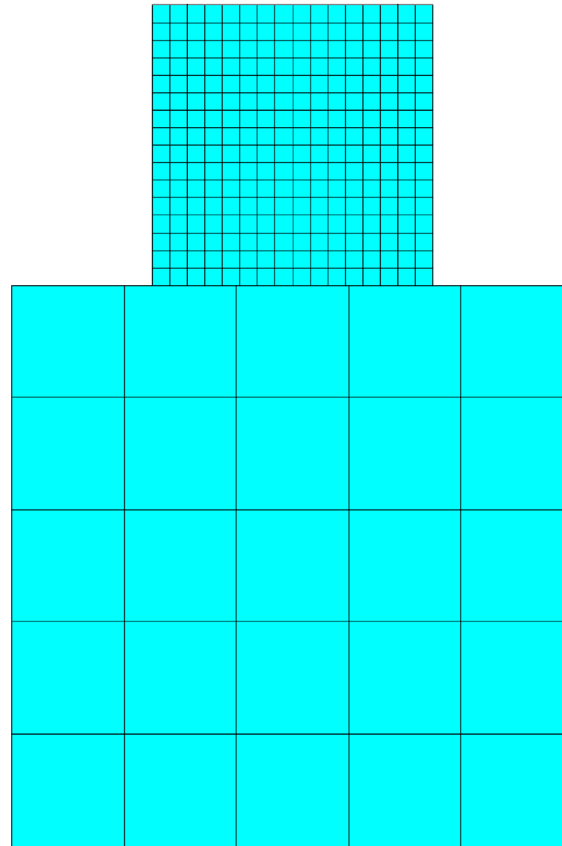
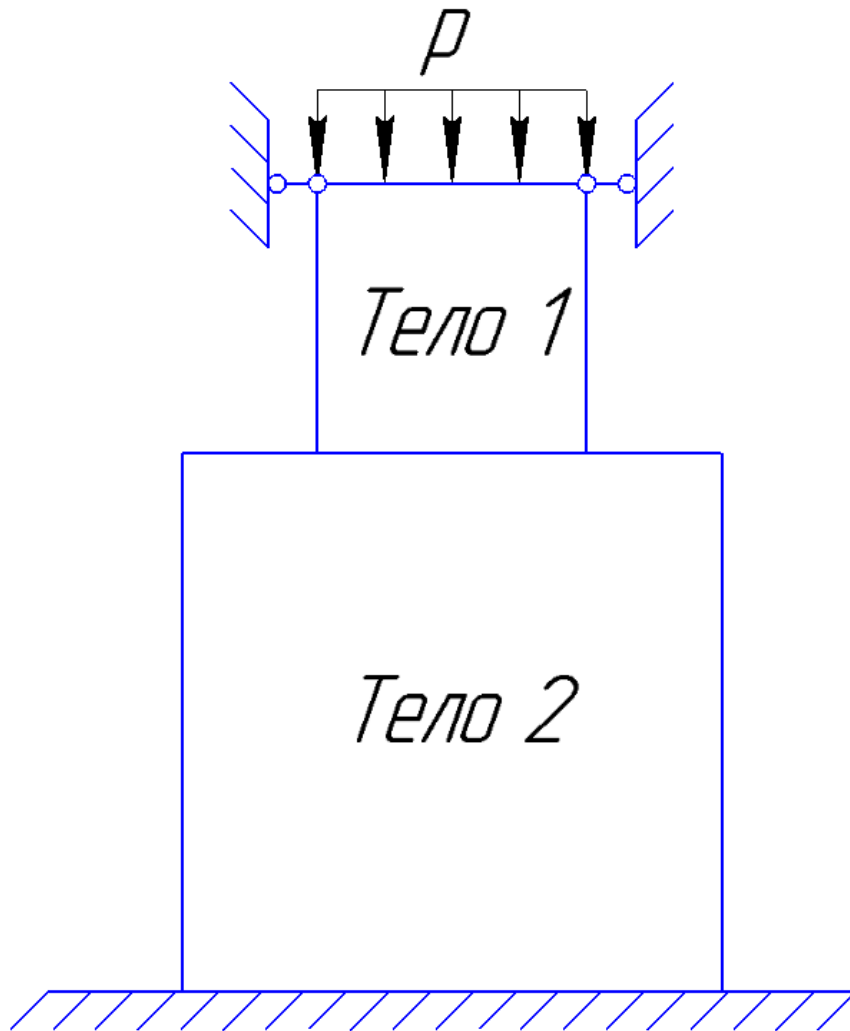


Модифицированный закон
Кулона для касательной силы

$$f_{s,K} = \begin{cases} k_s s_K, & \text{если } |f_{s,K}| < \mu |f_{n,K}| \\ \text{sign}(s_K) \mu |f_{n,K}|, & \text{иначе} \end{cases}$$



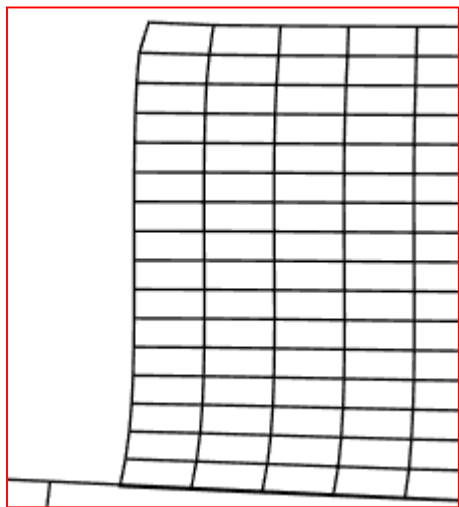
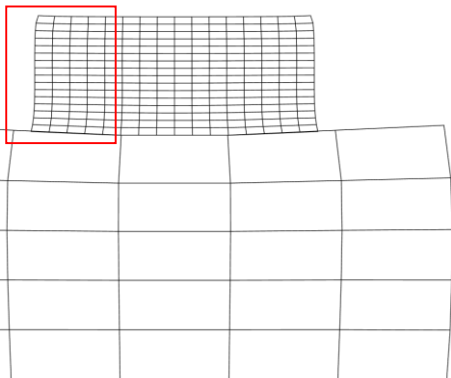
Сдавливание двух тел. Постановка задачи



Сдавливание двух тел. Деформационная картина

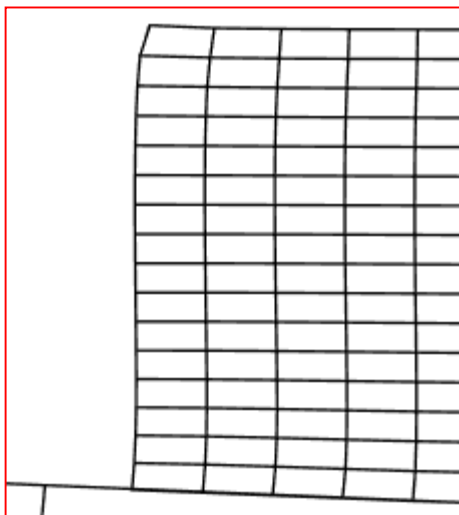
Скользящий контакт

$$k_n=0; \mu=0$$



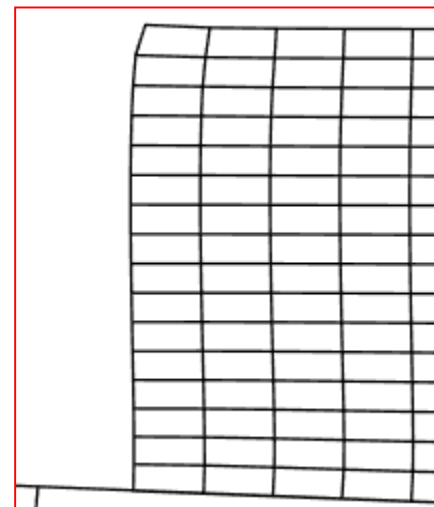
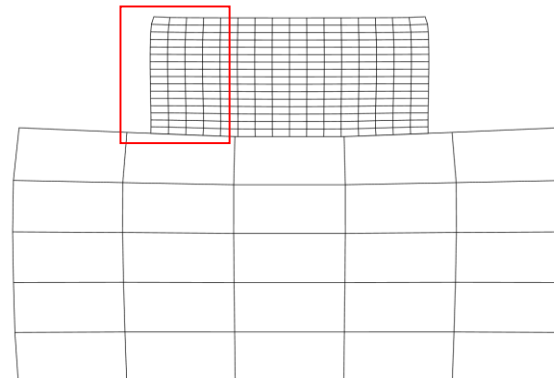
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,1$$



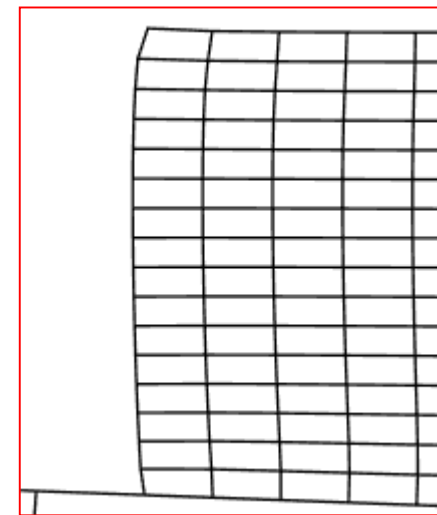
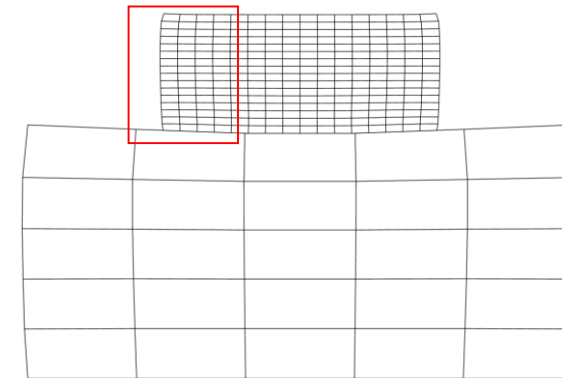
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,15$$



Жесткий контакт

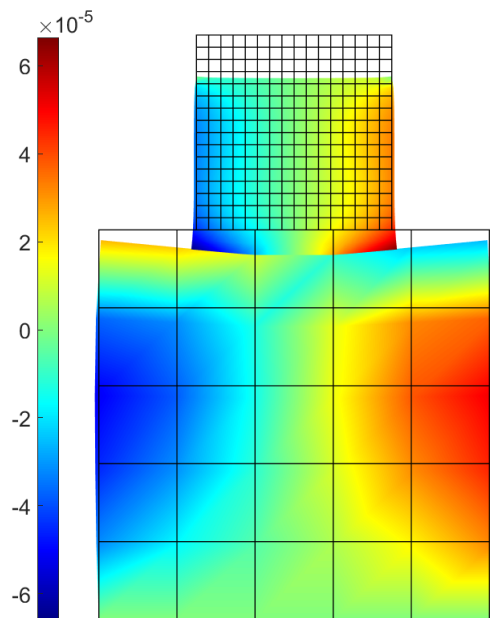
$$k_n \neq 0; \mu \rightarrow \infty$$



Сдавливание двух тел. Горизонтальные перемещения, м

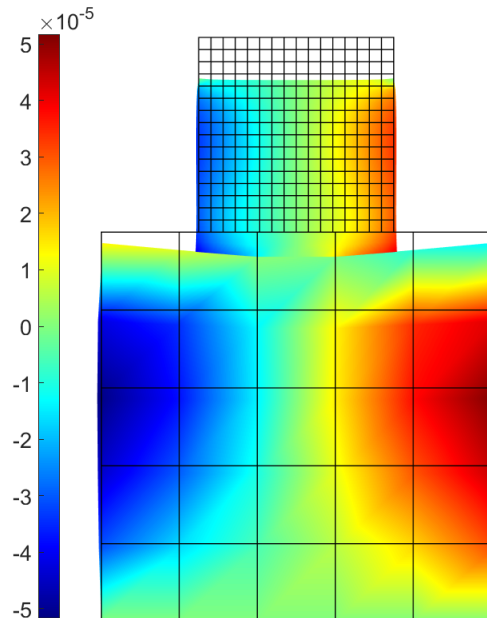
Скользящий контакт

$$k_n=0; \mu=0$$



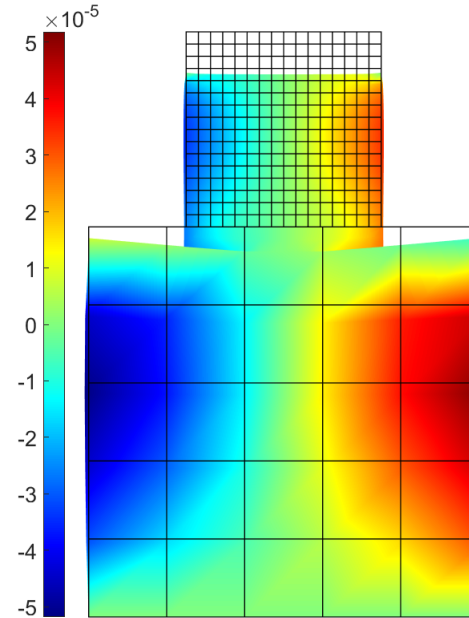
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,1$$



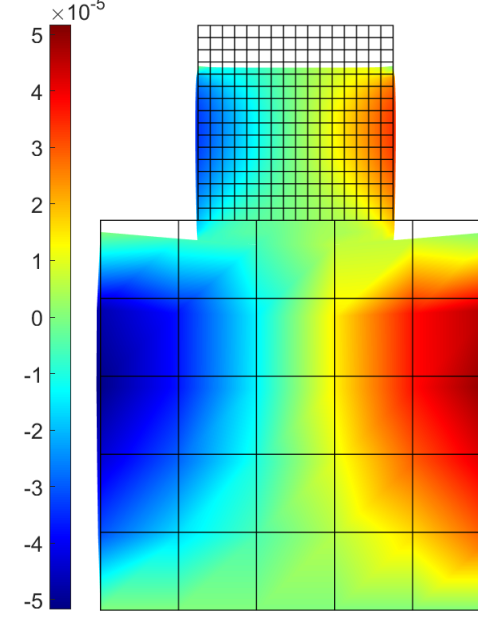
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,15$$



Жесткий контакт

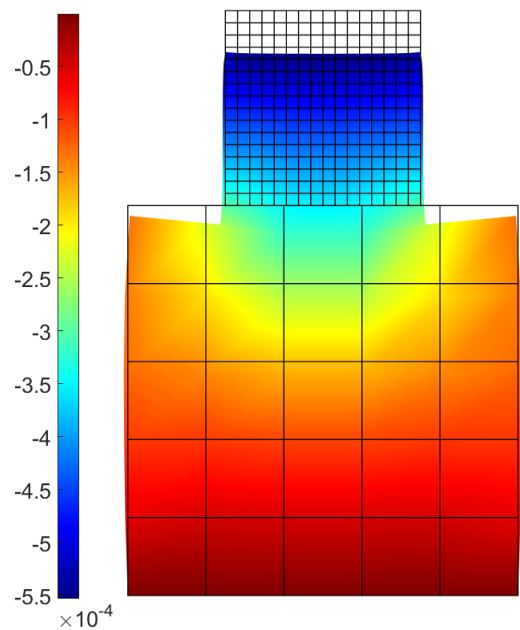
$$k_n \neq 0; \mu \rightarrow \infty$$



Сдавливание двух тел. Вертикальные перемещения, м

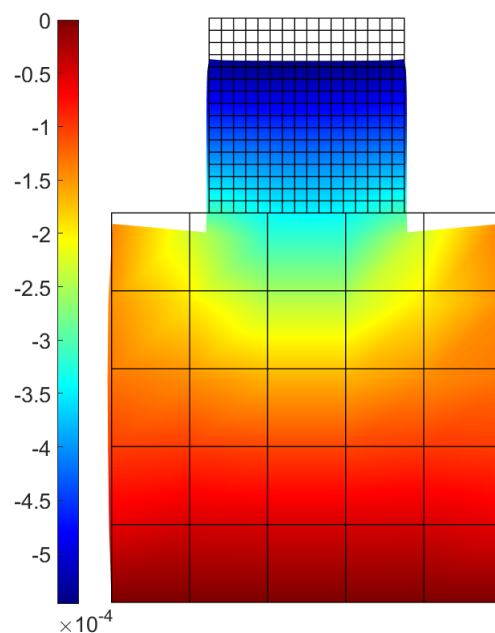
Скользящий контакт

$$k_n=0; \mu=0$$



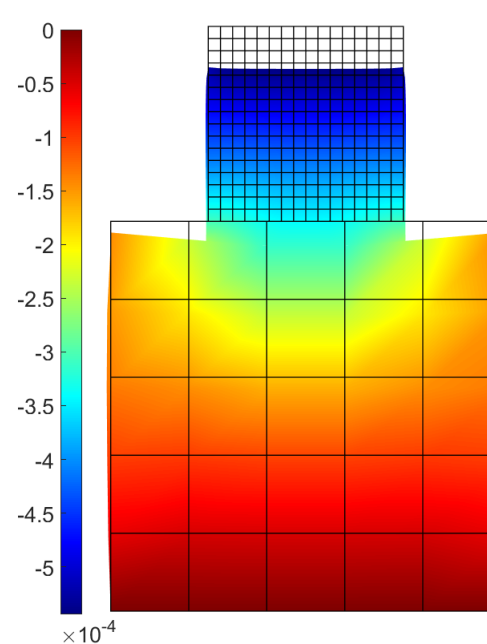
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,1$$



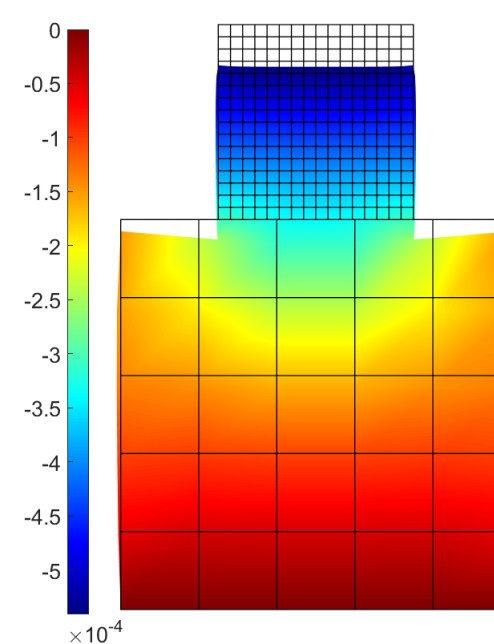
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,15$$

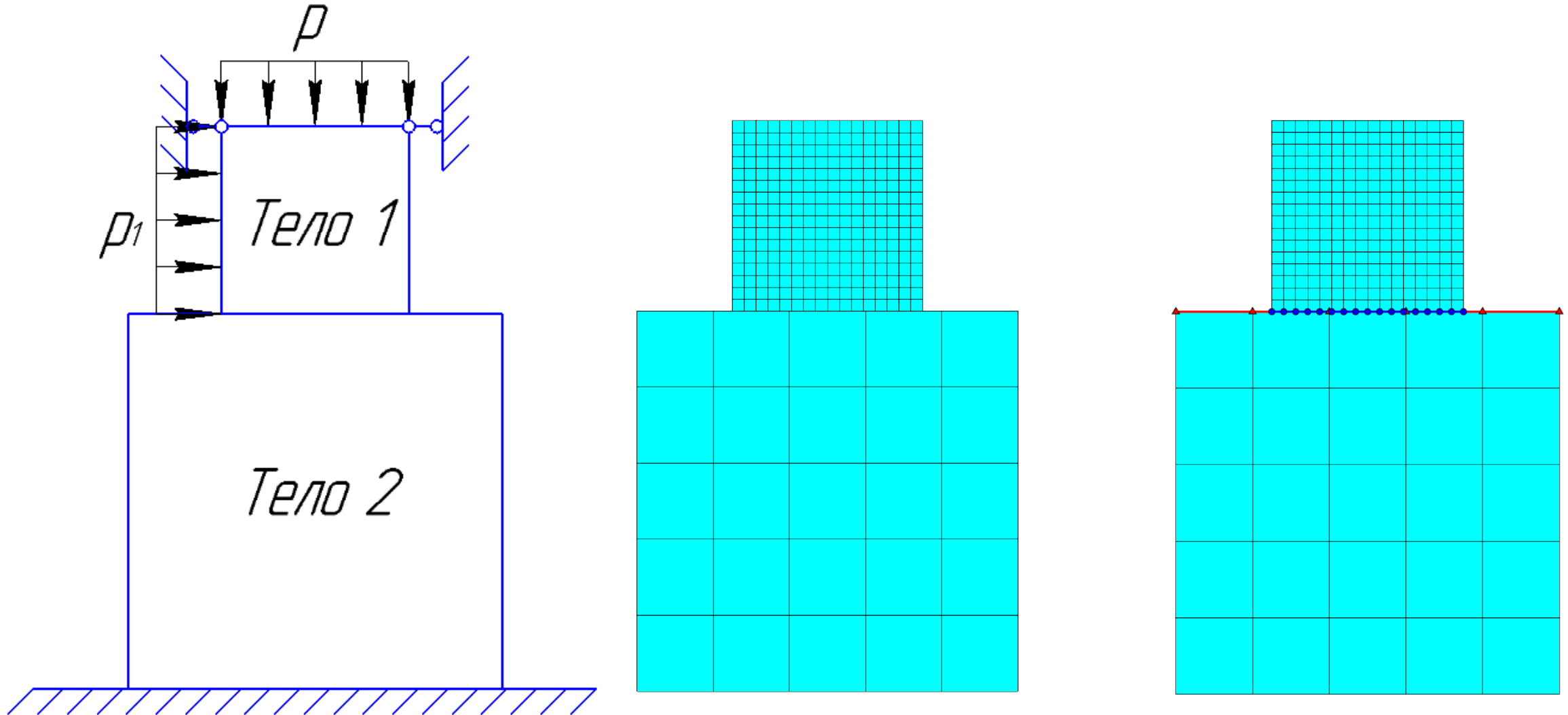


Жесткий контакт

$$k_n \neq 0; \mu \rightarrow \infty$$



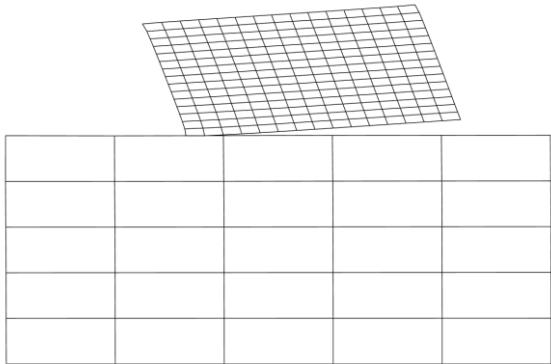
Сдавливание двух тел со сдвигом. Постановка задачи



Сдавливание двух тел со сдвигом. Деформационная картина

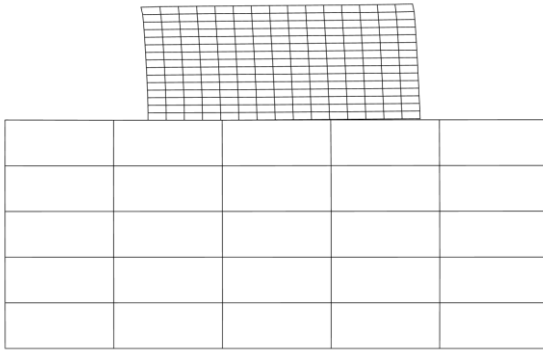
Скользящий контакт

$$k_n=0; \mu=0$$



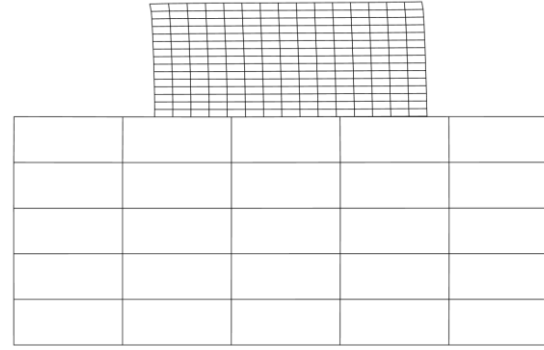
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,1$$



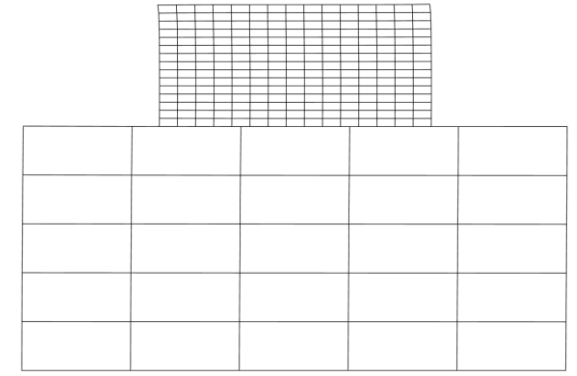
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,15$$



Жесткий контакт

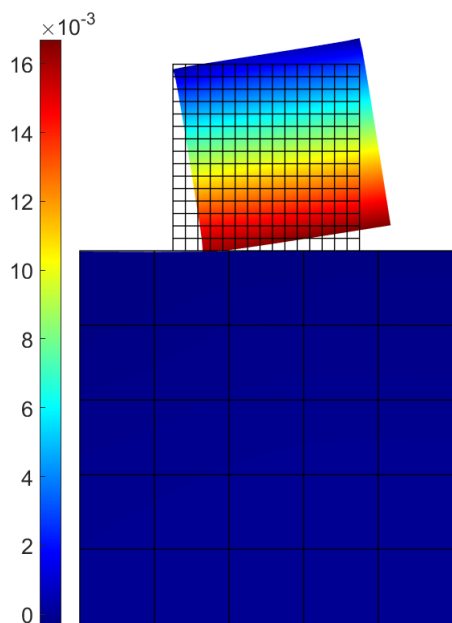
$$k_n \neq 0; \mu \rightarrow \infty$$



Сдавливание двух тел со сдвигом. Горизонтальные перемещения, м

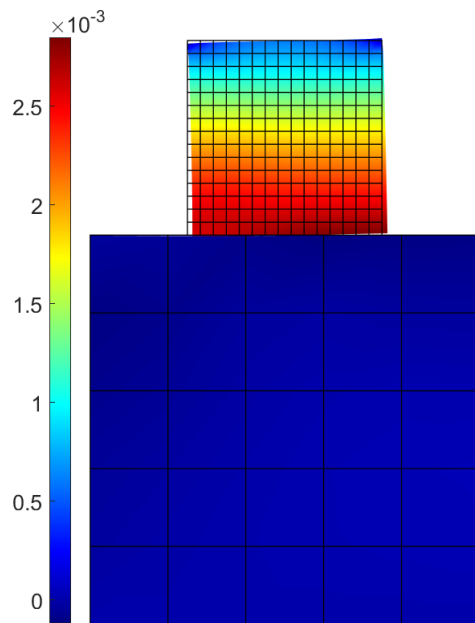
Скользящий контакт

$$k_n=0; \mu=0$$



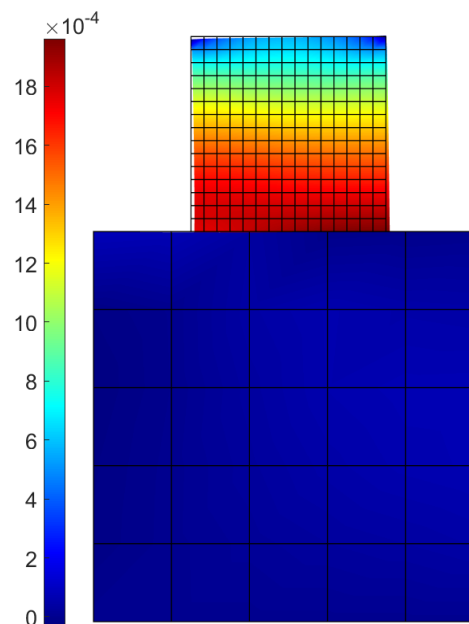
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,1$$



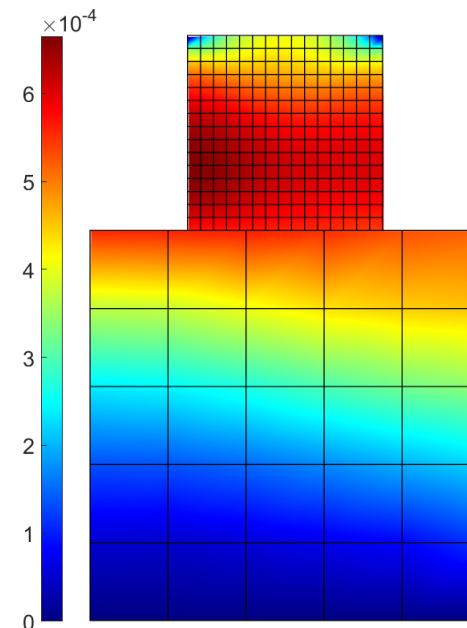
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,15$$



Жесткий контакт

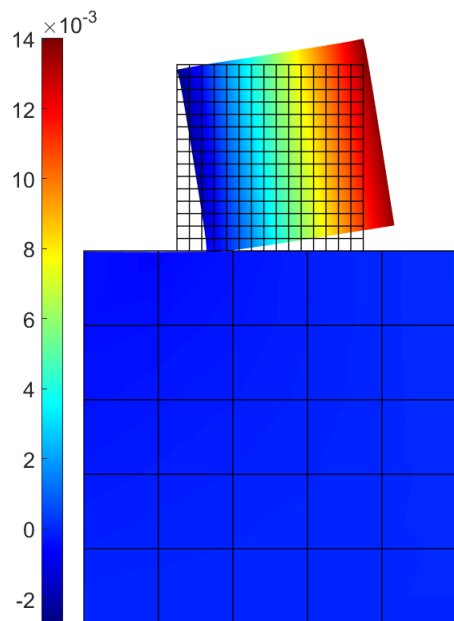
$$k_n \neq 0; \mu \rightarrow \infty$$



Сдавливание двух тел со сдвигом. Вертикальные перемещения, м

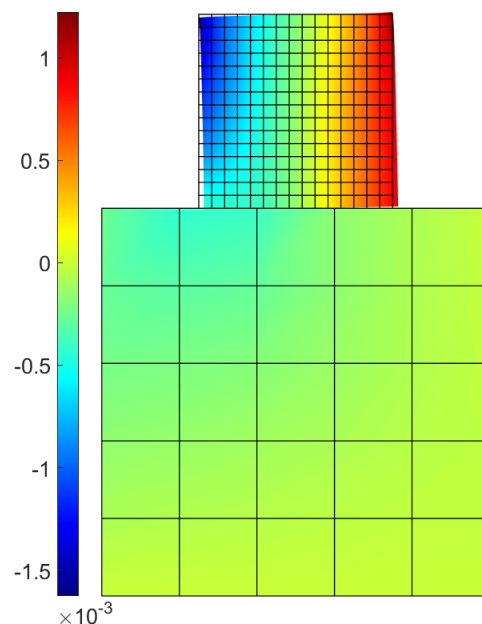
Скользящий контакт

$$k_n=0; \mu=0$$



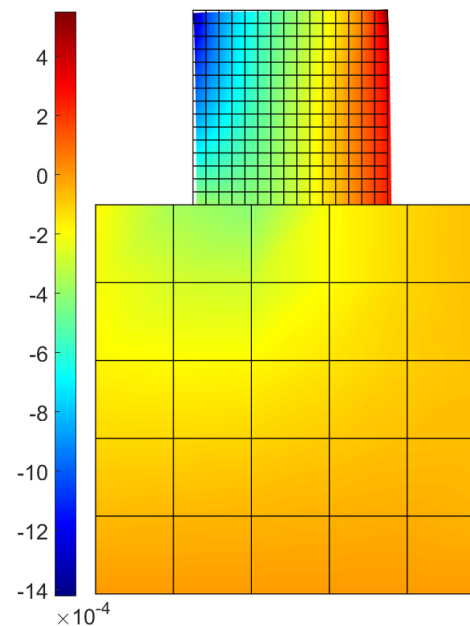
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,1$$



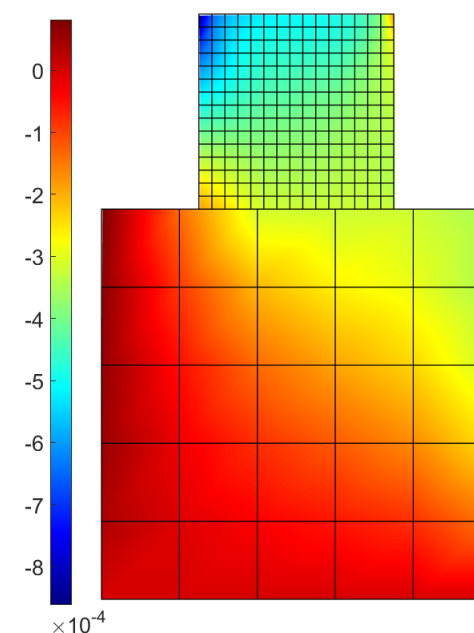
Контакт с трением

$$k_n \neq 0; \mu=0,15$$

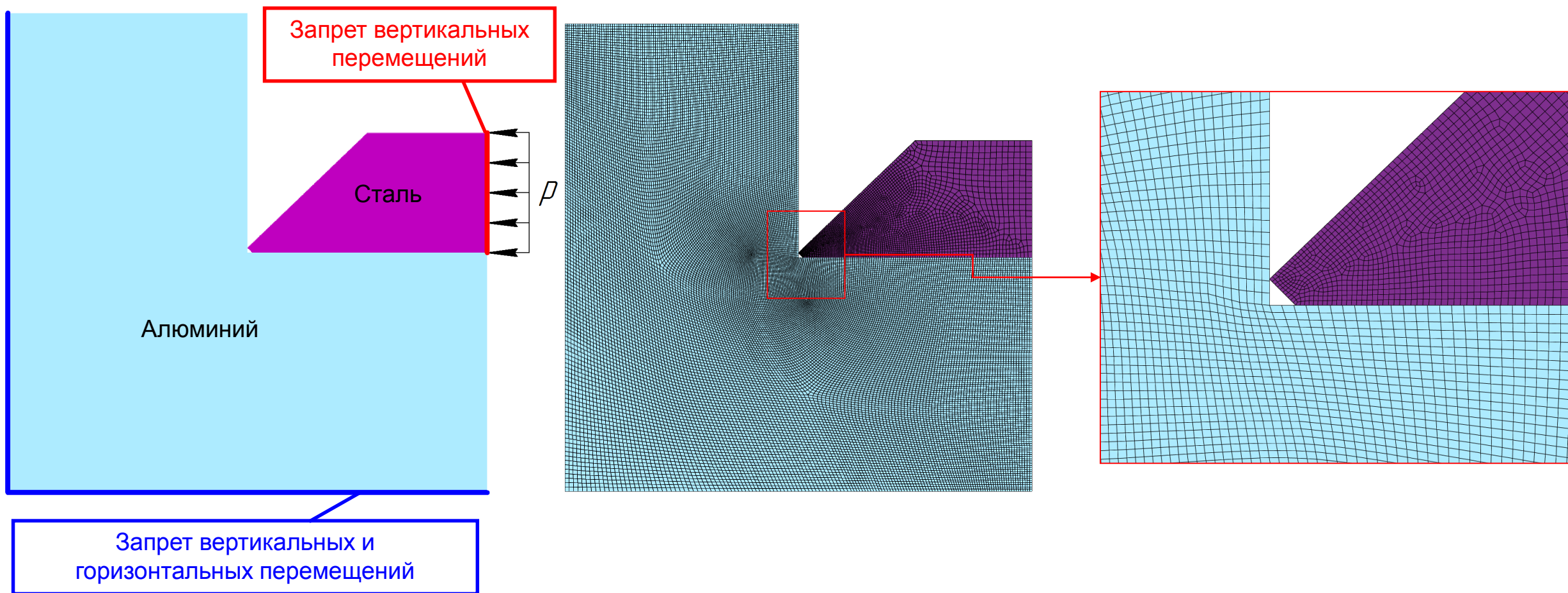


Жесткий контакт

$$k_n \neq 0; \mu \rightarrow \infty$$

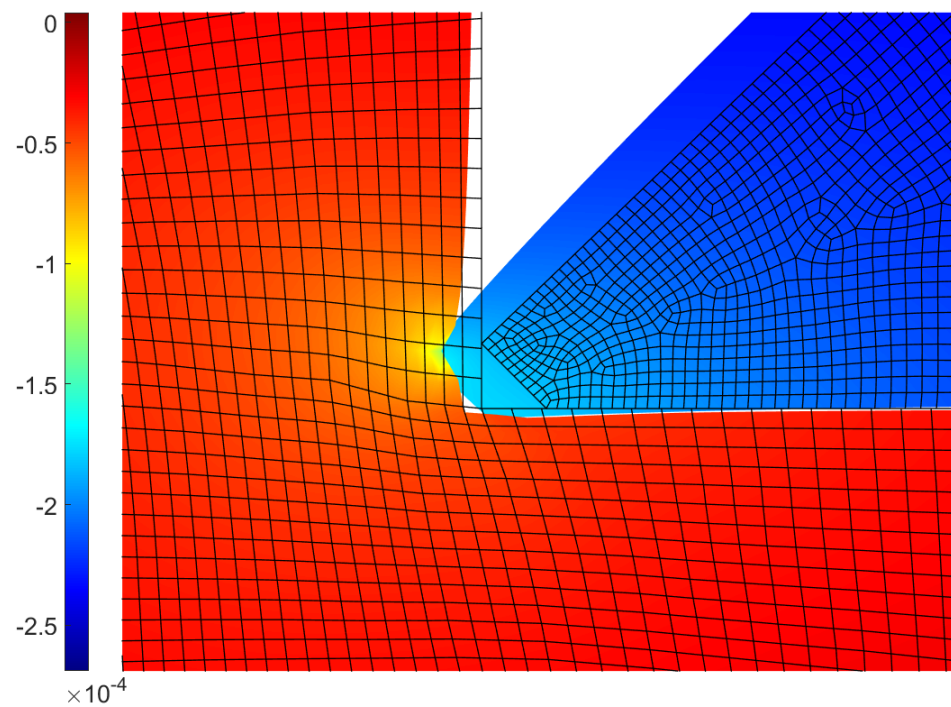


Внедрение клина. Постановка задачи

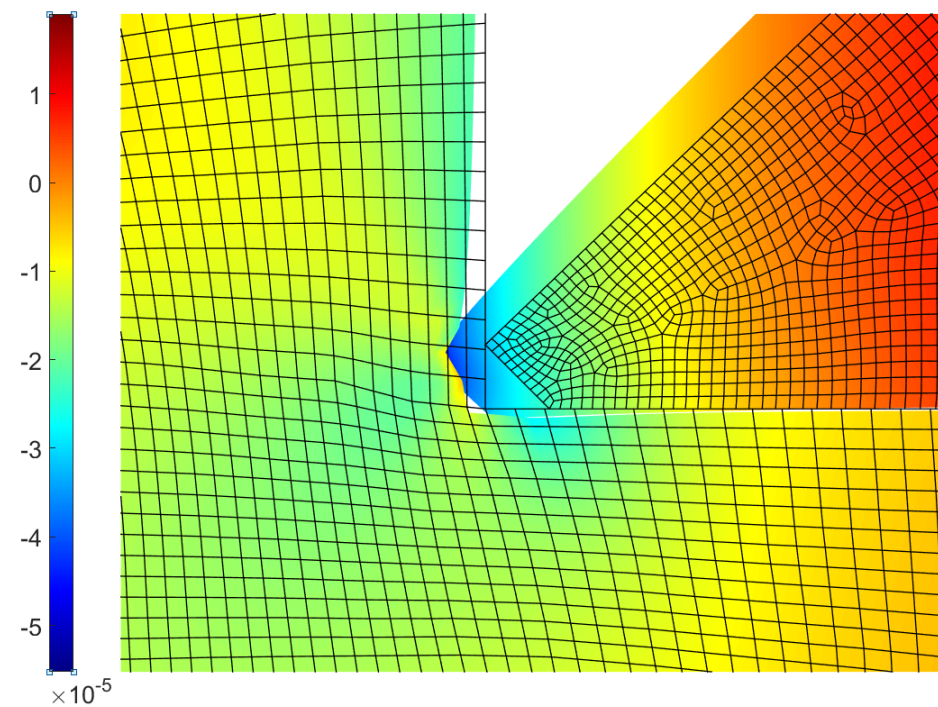


Внедрение клина. Результаты

Горизонтальные перемещения, м

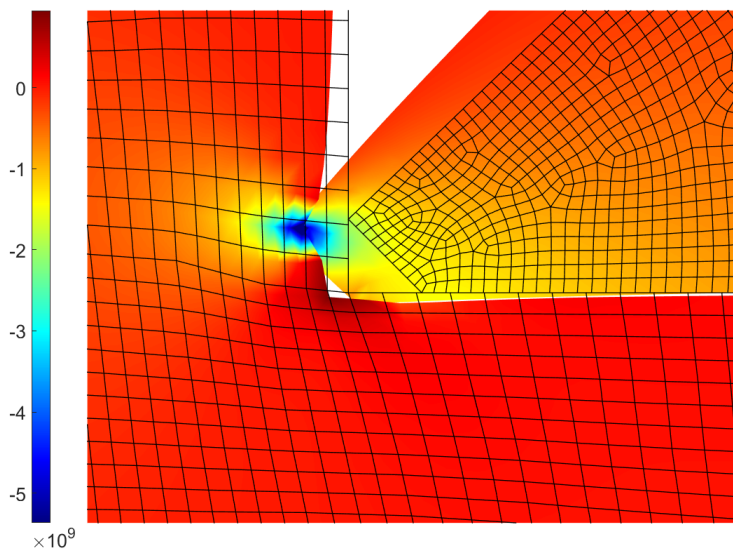


Вертикальные перемещения, м

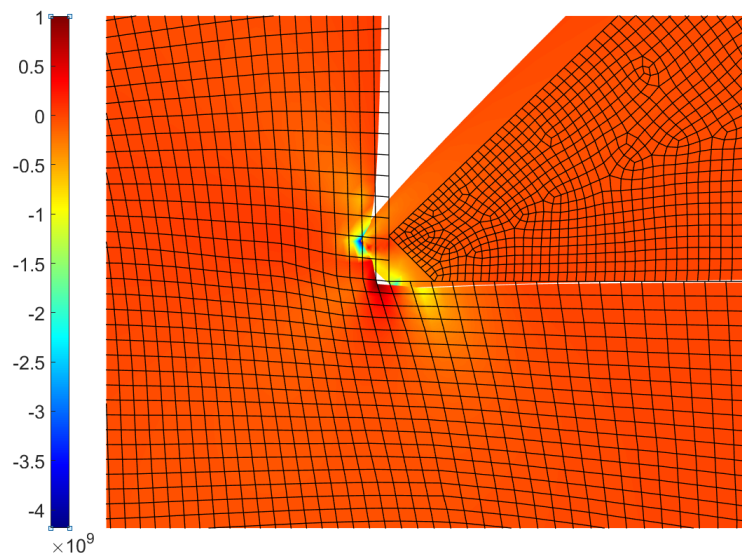


Внедрение клина. Результаты

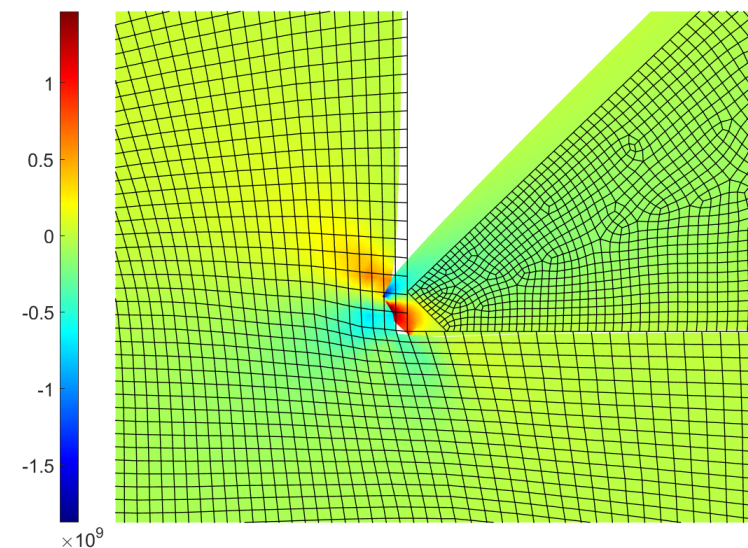
Нормальные напряжения в
горизонтальном направлении, Па



Нормальные напряжения в
вертикальном направлении, Па

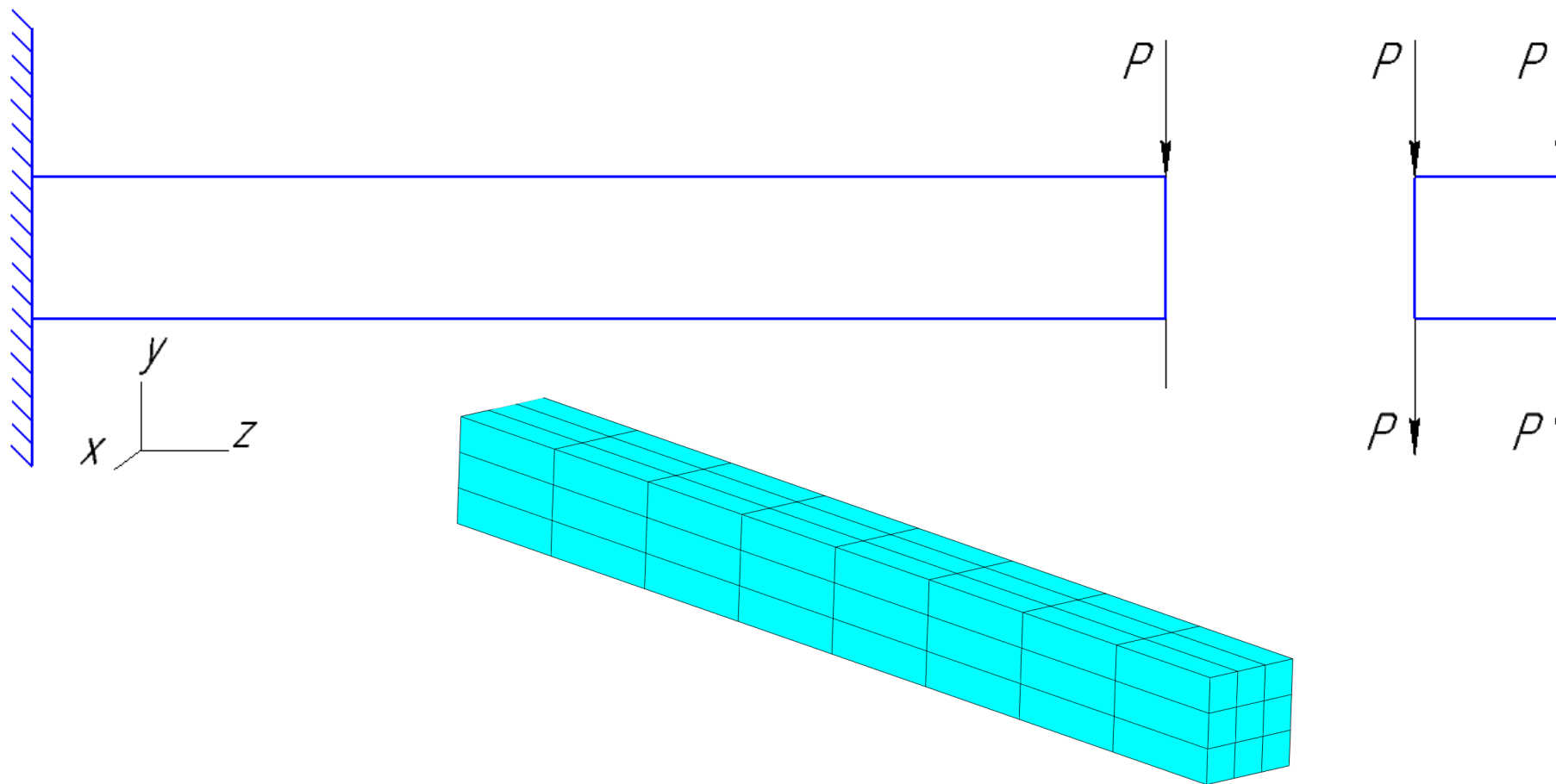


Касательные
напряжения, Па



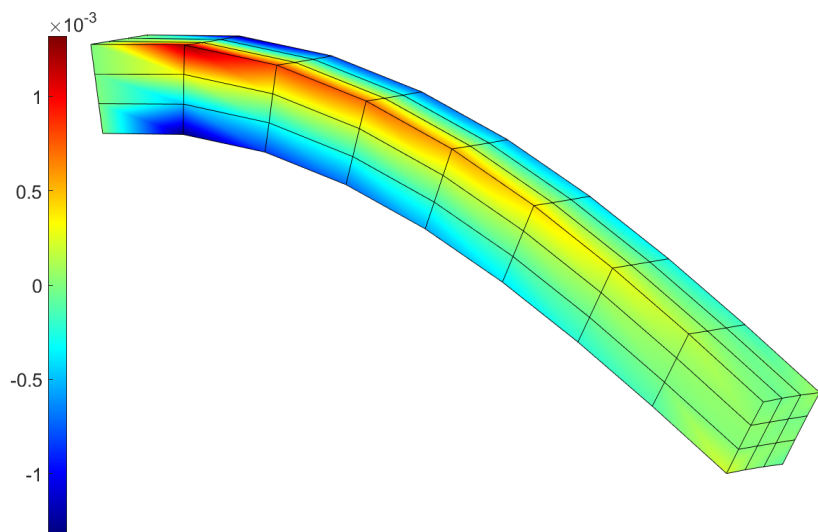
- Динамика быстроизменяющихся процессов
- Контакт с трением
- **Задачи с большими перемещениями и деформациями**
- Ударное взаимодействие

Нелинейный изгиб длинной балки. Постановка задачи

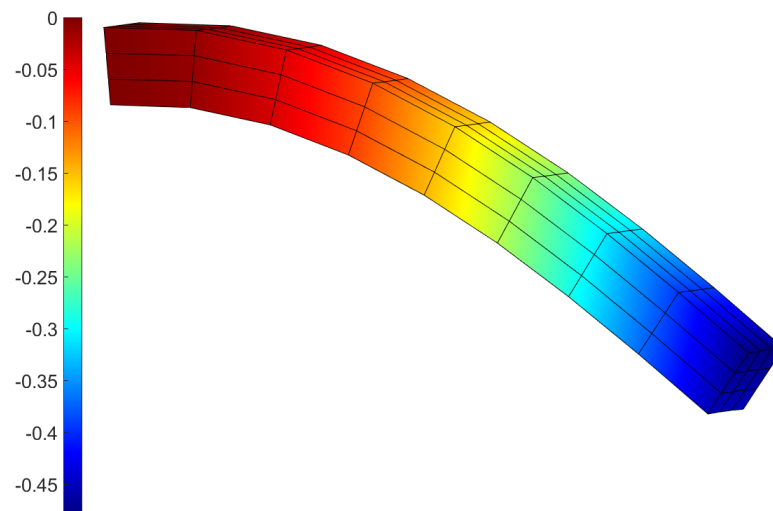


Нелинейный изгиб длинной балки. Результаты

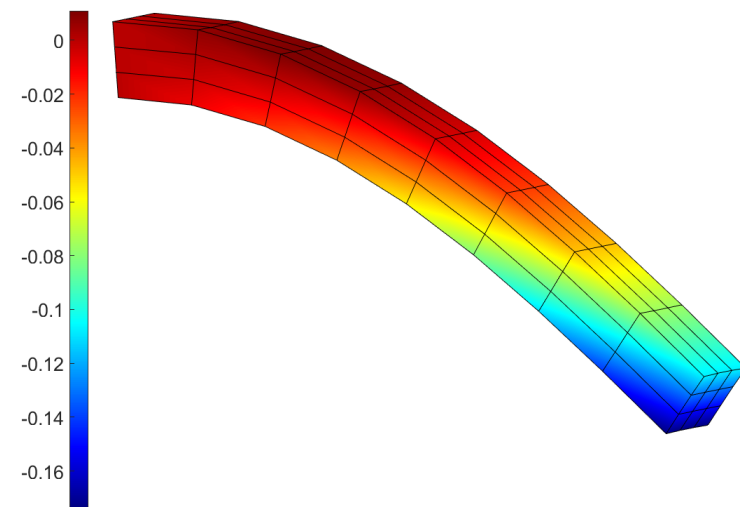
Перемещения вдоль оси x, м



Перемещения вдоль оси y, м

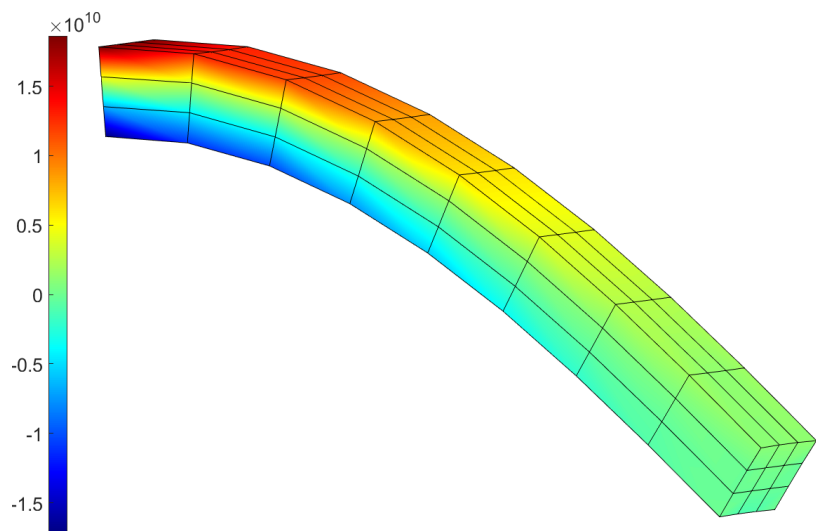


Перемещения вдоль оси z, м

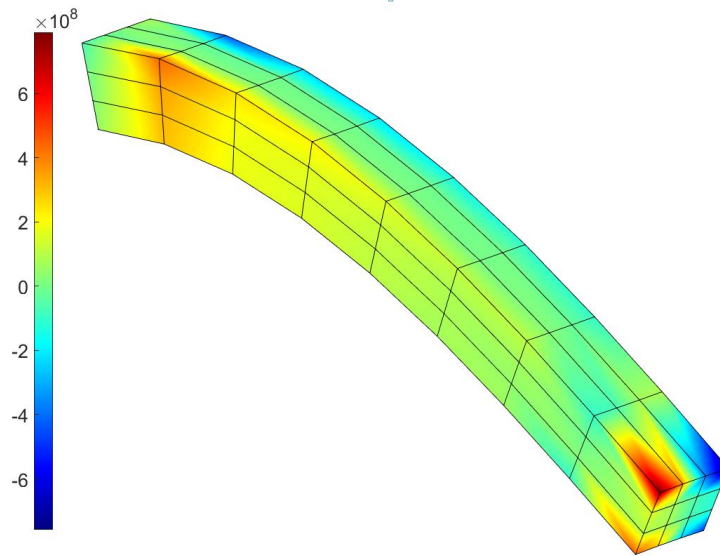


Нелинейный изгиб длинной балки. Результаты

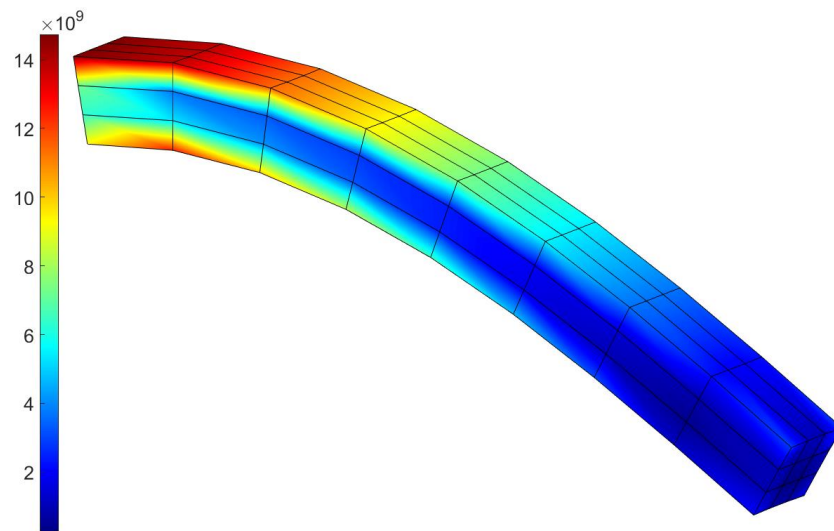
Нормальные напряжения
вдоль оси z , Па



Касательные напряжения
в плоскости xu , Па

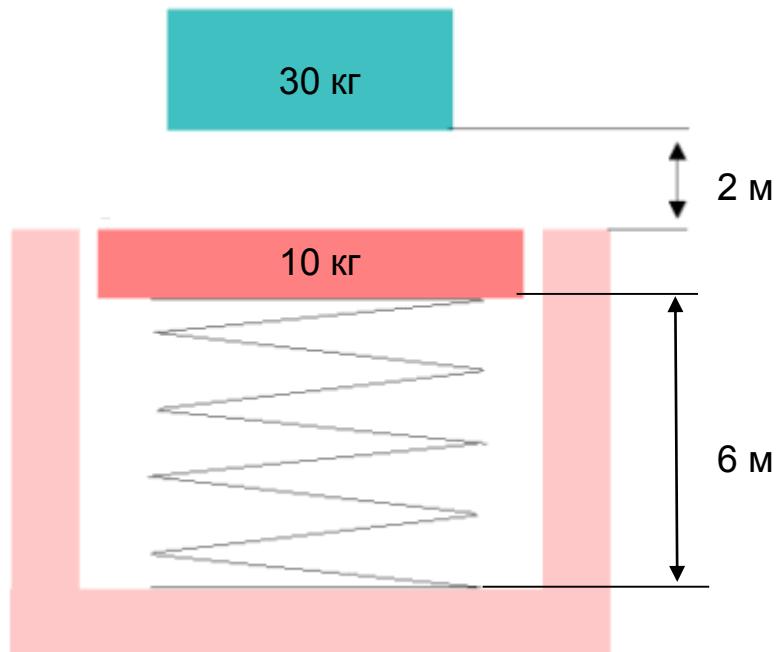


Эквивалентные напряжения
по Мизесу, Па

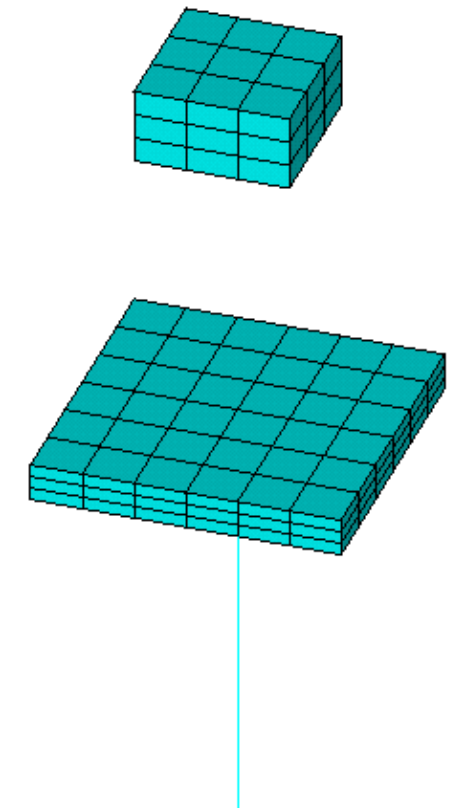


- Динамика быстроизменяющихся процессов
- Контакт с трением
- Задачи с большими перемещениями и деформациями
- **Ударное взаимодействие**

Падение груза на плиту с упругим основанием. Постановка задачи

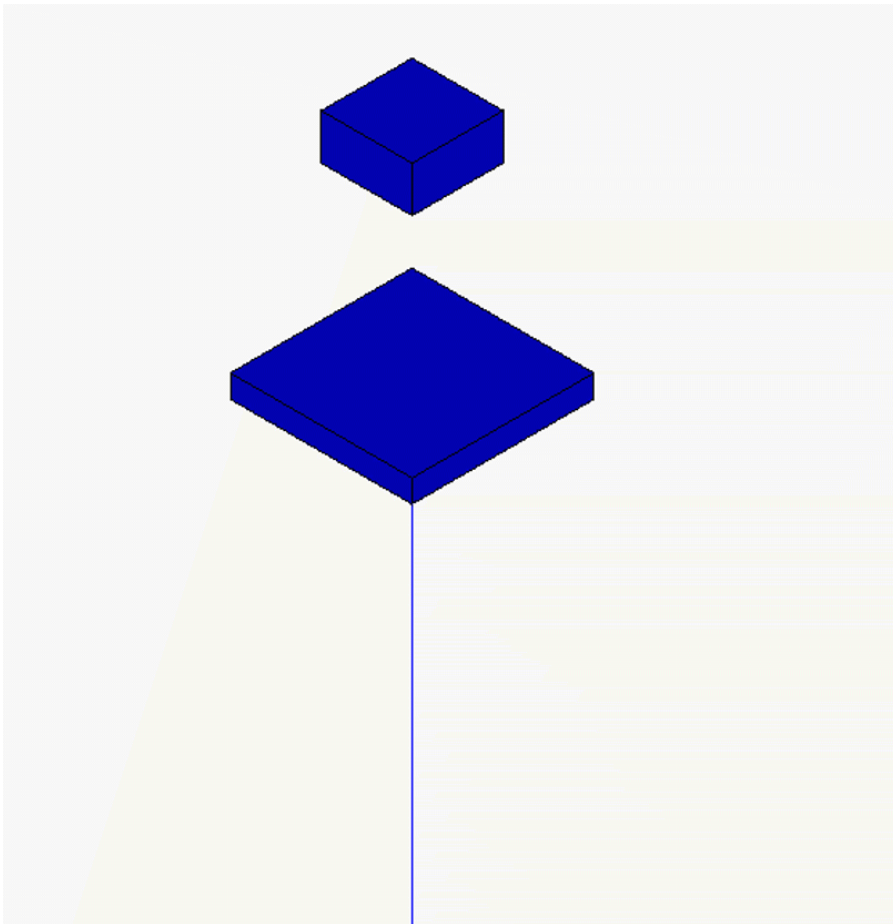


Свойства		Геометрия	
<i>Груз</i>		<i>Груз</i>	
Модуль Юнга, МПа	$2,07 \cdot 10^6$	Ширина, м	1
Коэффициент Пуассона	0,29	Длина, м	1
Плотность, кг/м ³	60	Высота, м	0,5
<i>Плита</i>		<i>Плита</i>	
Модуль Юнга, МПа	$2,07 \cdot 10^6$	Ширина, м	2
Коэффициент Пуассона	0,29	Длина, м	2
Плотность, кг/м ³	10	Высота, м	0,25
<i>Пружина</i>		<i>Пружина</i>	
Жесткость, кН/м	20	Длина, м	6

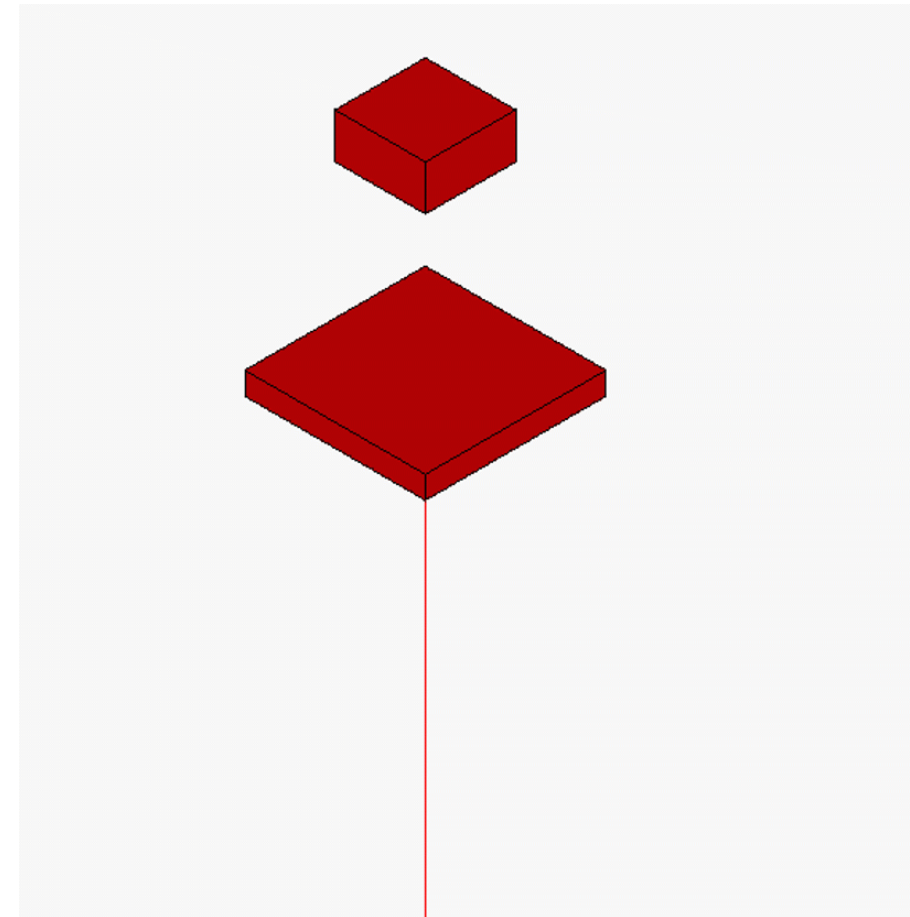


Падение груза на плиту с упругим основанием. Анимация

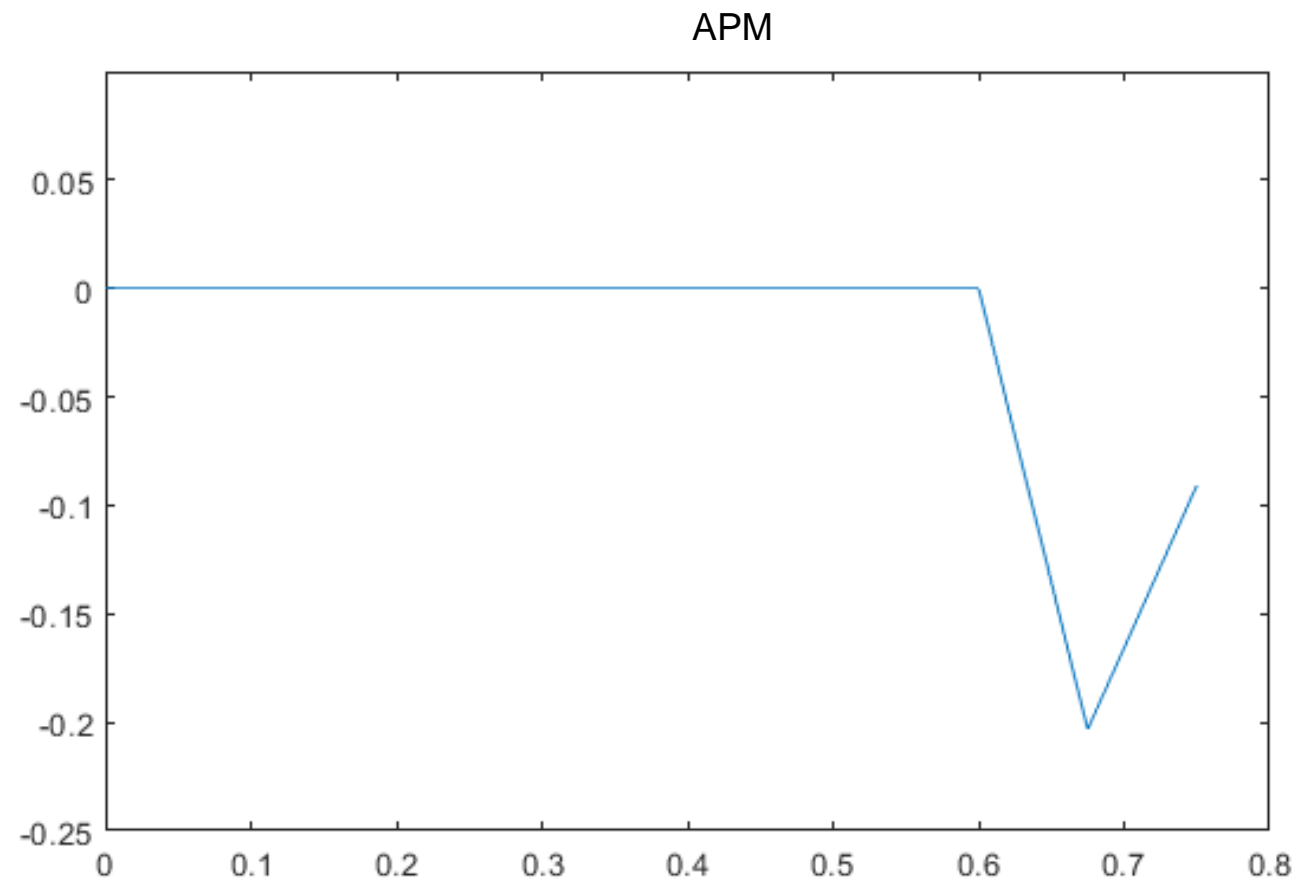
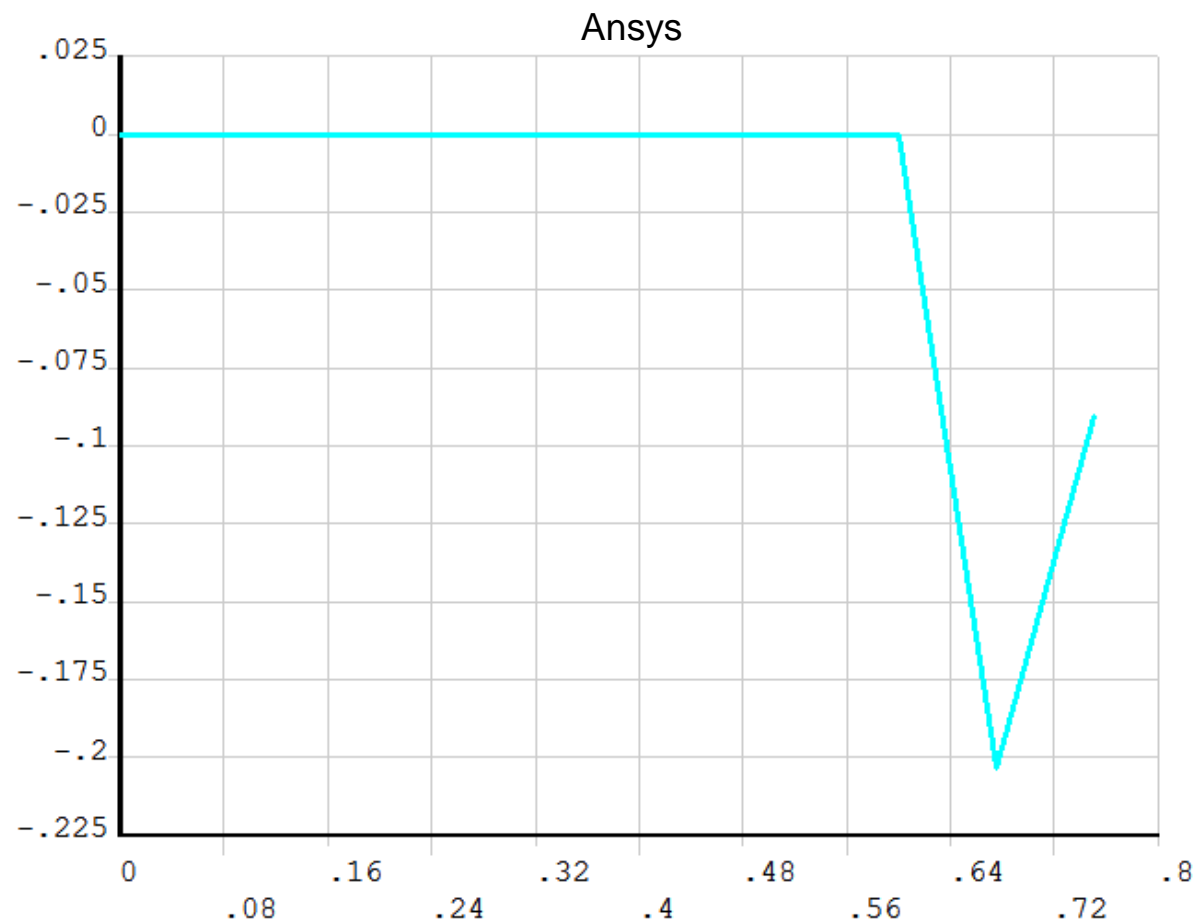
Перемещения



Эквивалентные напряжения по Мизесу



Падение груза на плиту с упругим основанием. Динамика перемещения плиты



Спасибо за внимание!

**Компания НТЦ «АПМ»
(научно-технический центр)
Московская область, г. Королев
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6
Тел.: (498) 600-25-10, (495) 514-84-19
Internet: www.apm.ru, www.cae.apm.ru
E-mail: com@apm.ru**