

# Российские CAE-системы на службе промышленности<sup>2020</sup>

## Моделирование нелинейных динамических процессов в программных продуктах АПМ

Александр Кольцов

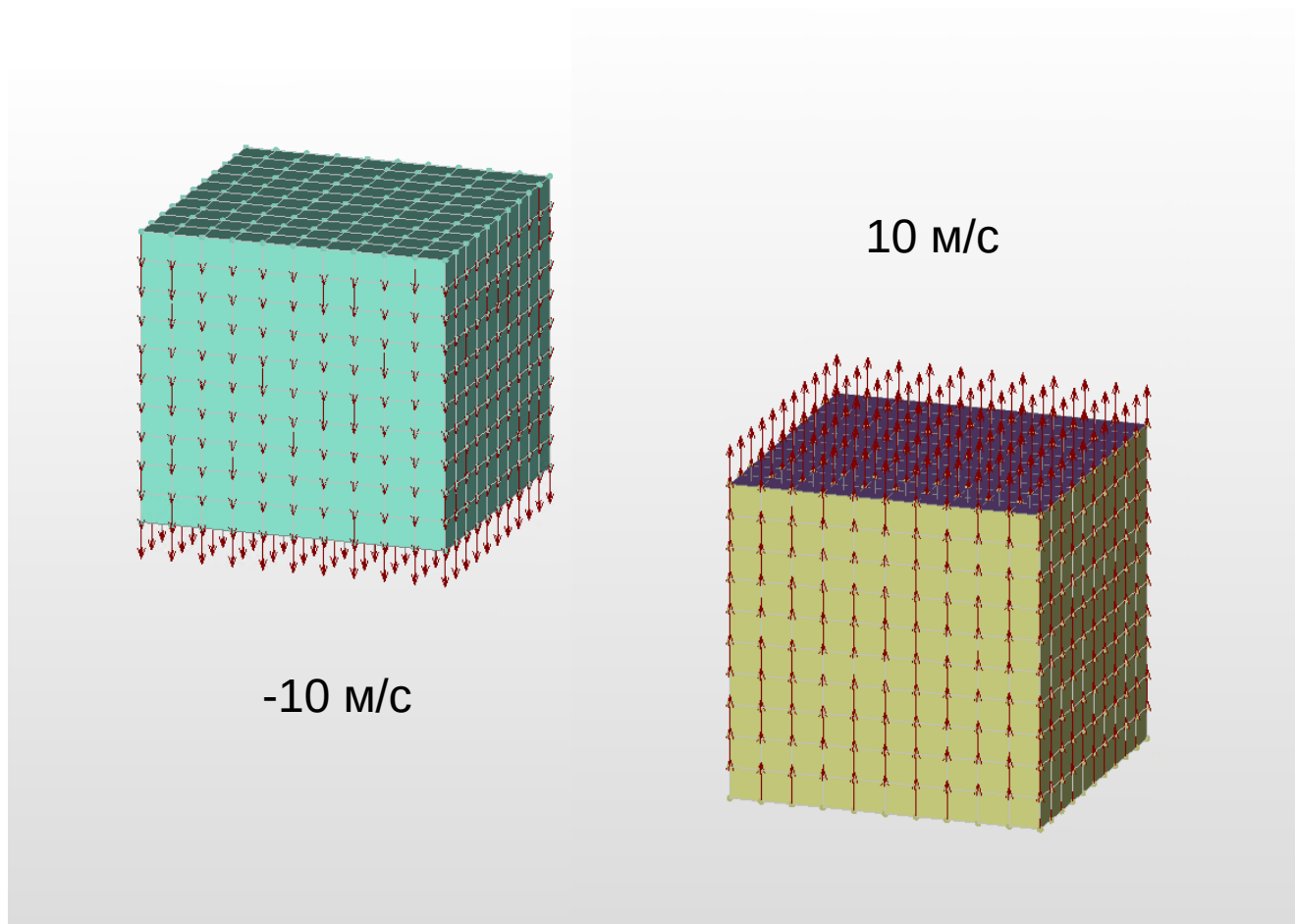


НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



## Простой удар

- Тела расположены симметрично
- Летят навстречу друг другу с одинаковой скоростью
- Разрешены только перемещения в направлении начального движения

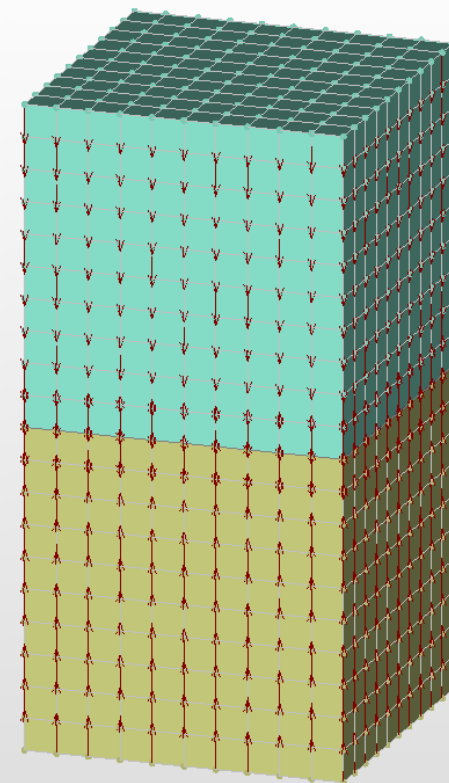
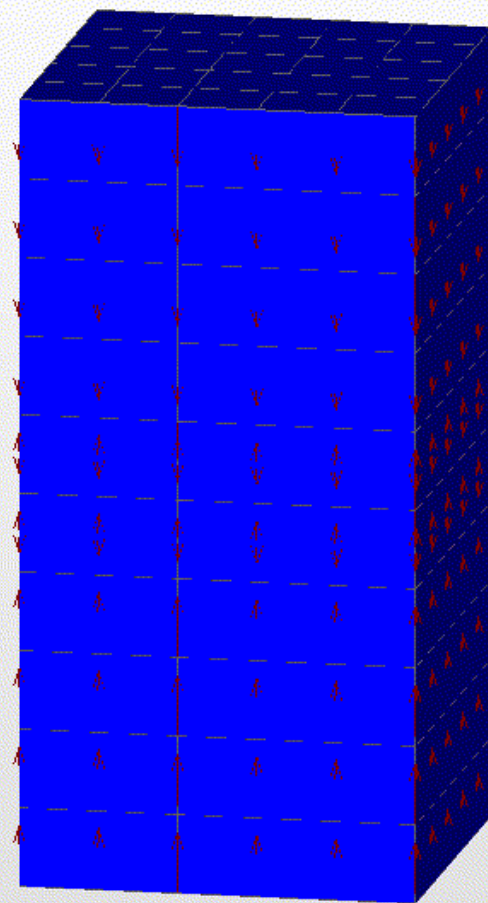




## Простой удар

### СВОЙСТВА РЕШЕНИЯ

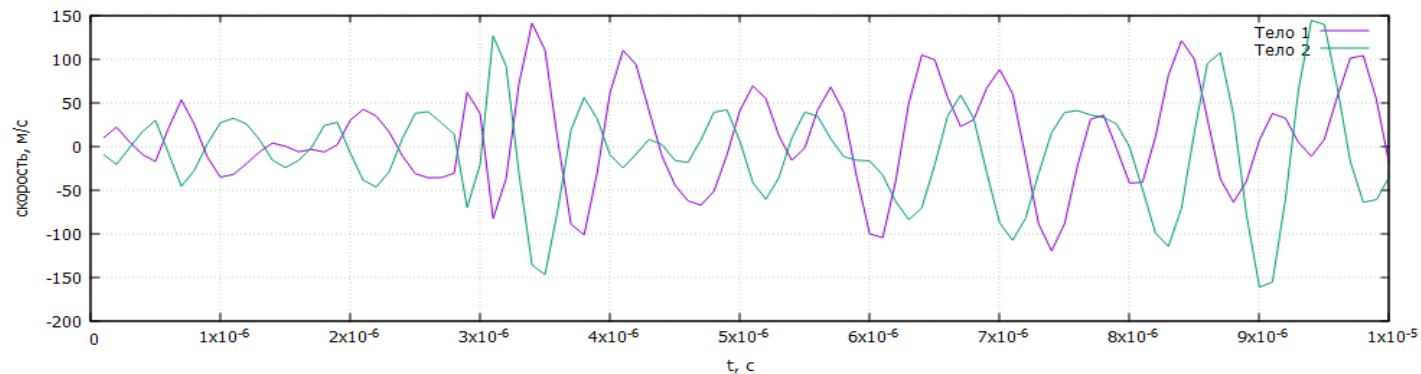
- Симметричная постановка — симметричное решение
- Сохранение импульса
- Идеально упругая среда + движение в единственном направлении



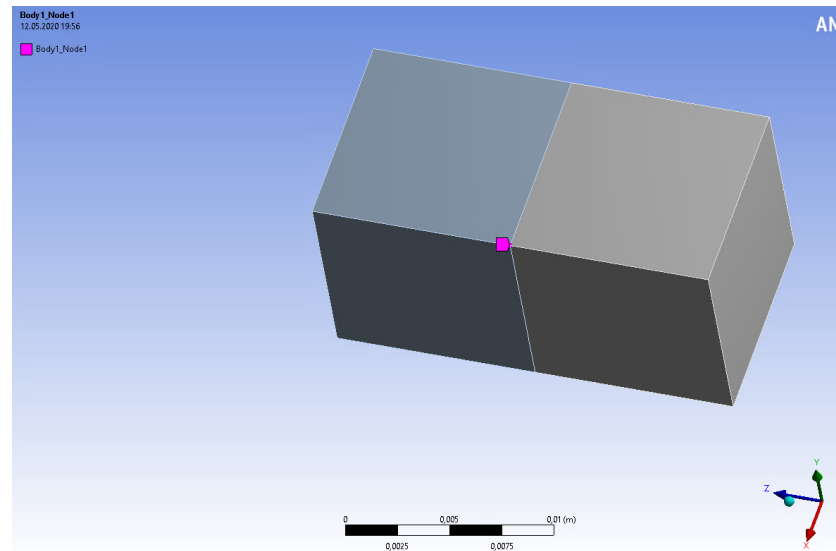
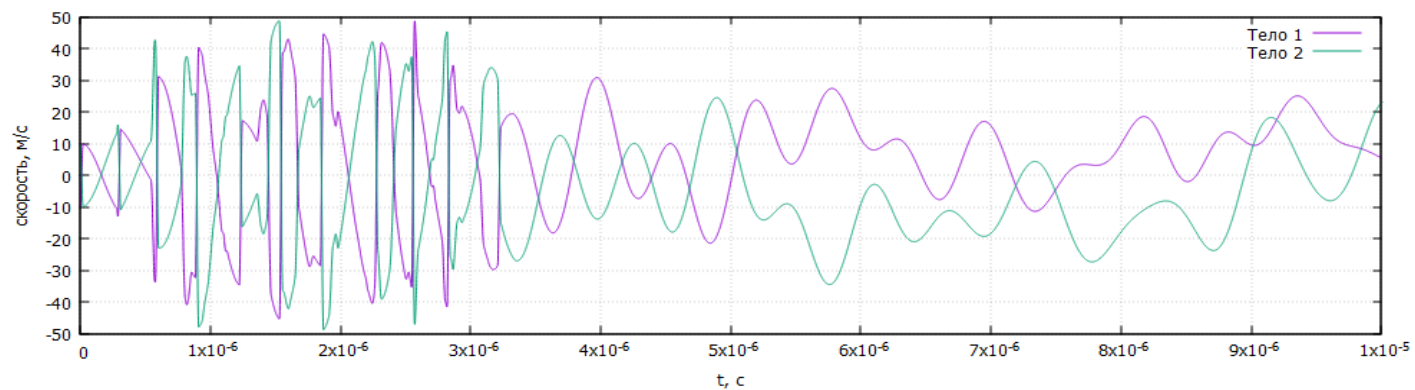


## Не такой уж и простой удар...

$dt=1e-7$



$dt=1e-9$



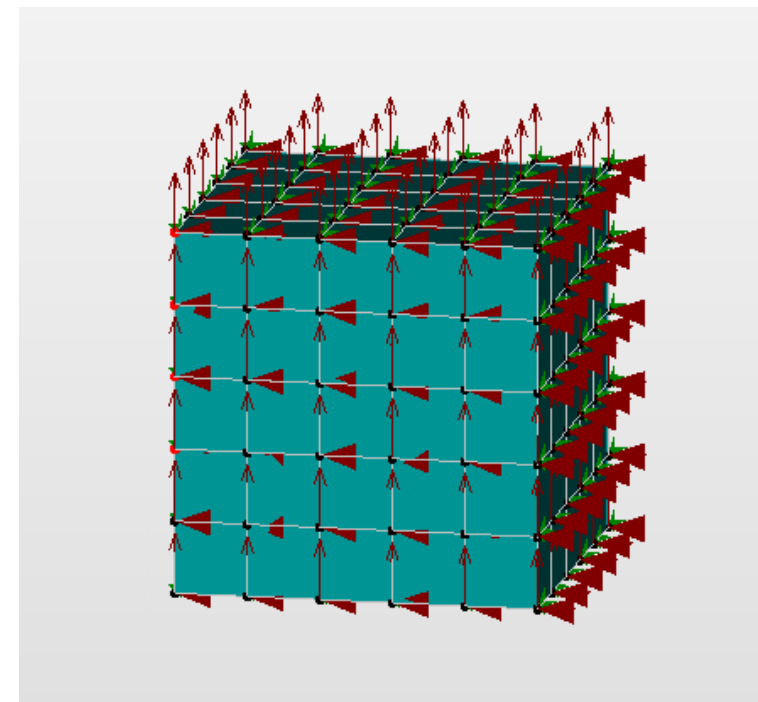
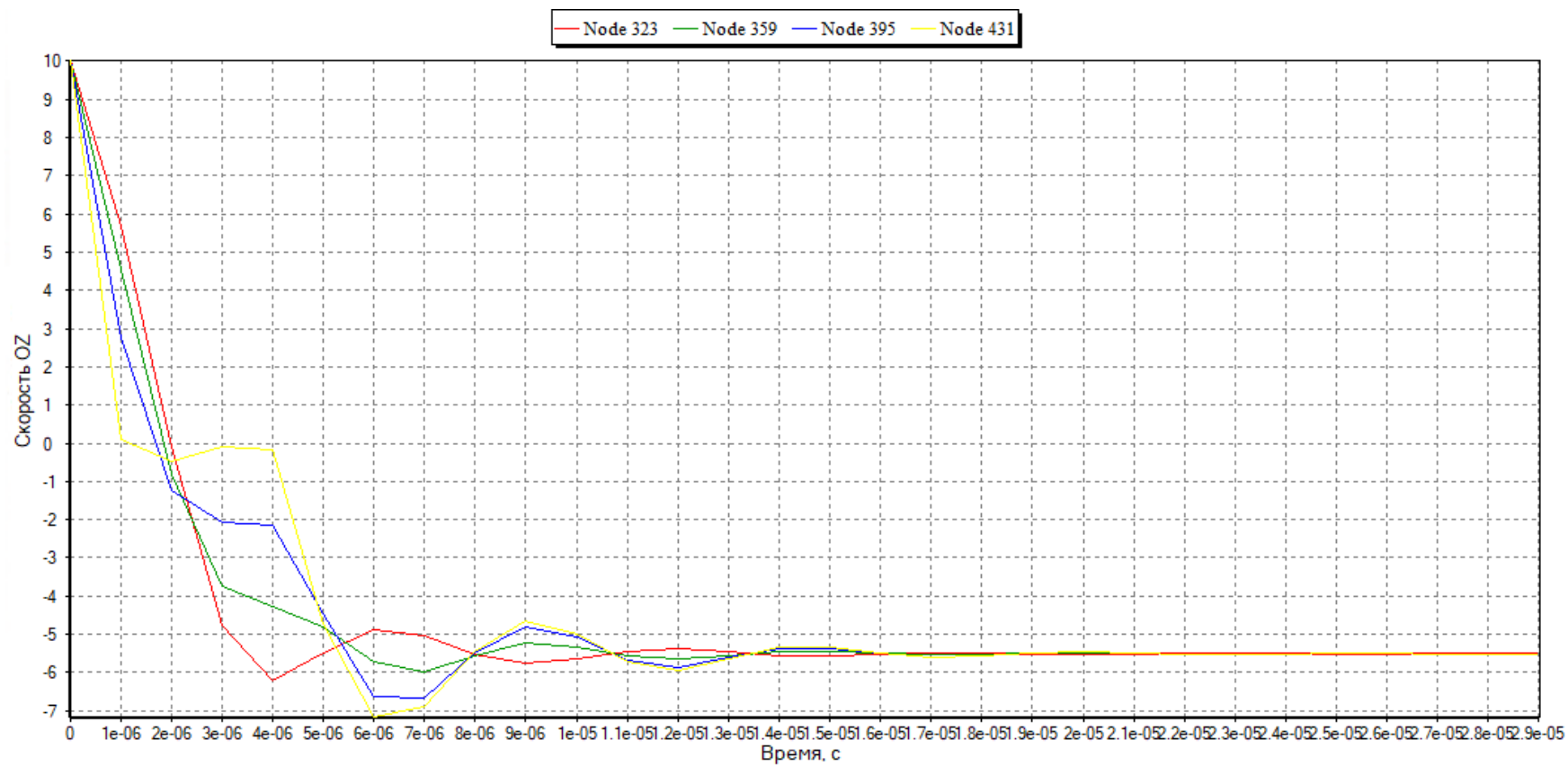
- ~~Симметричная постановка — симметричное решение~~
- Сохранение импульса — 7-10%
- Идеально упругая среда — ???





## Не такой уж и простой удар...

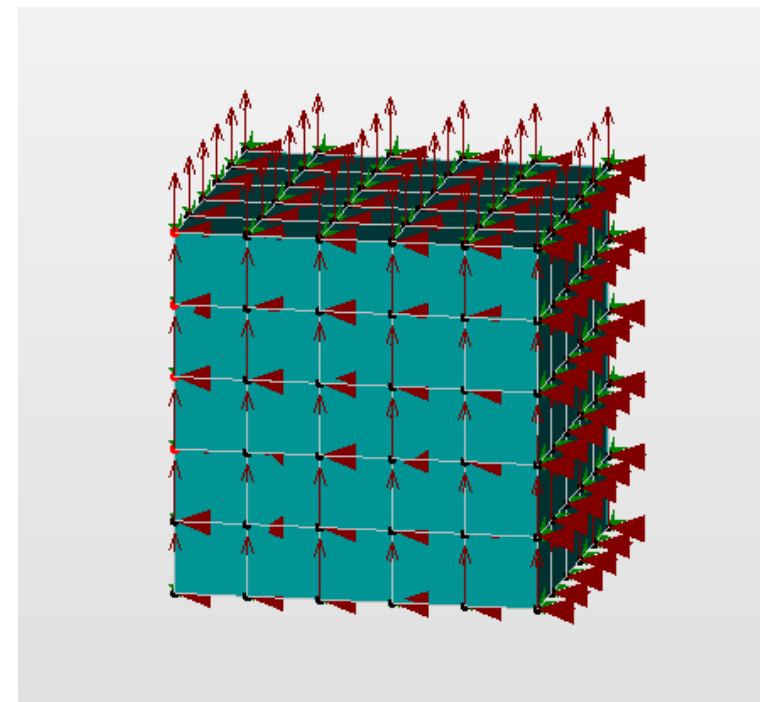
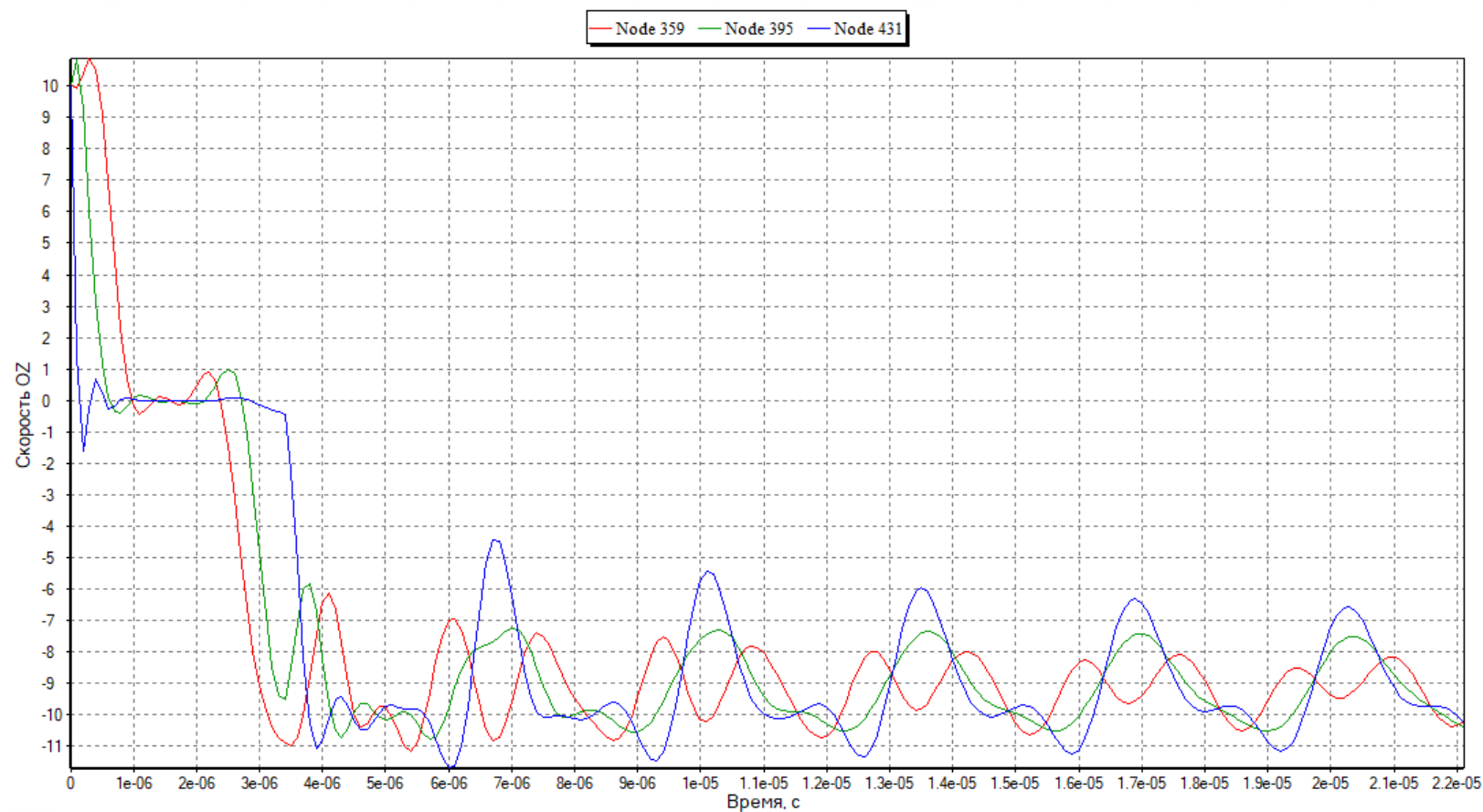
$dt=1e-6$





## Не такой уж и простой удар...

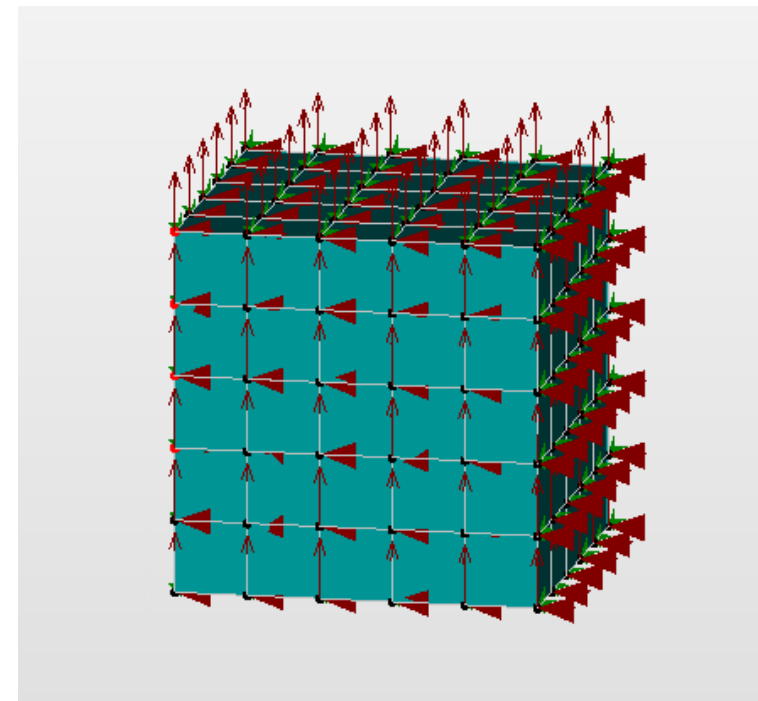
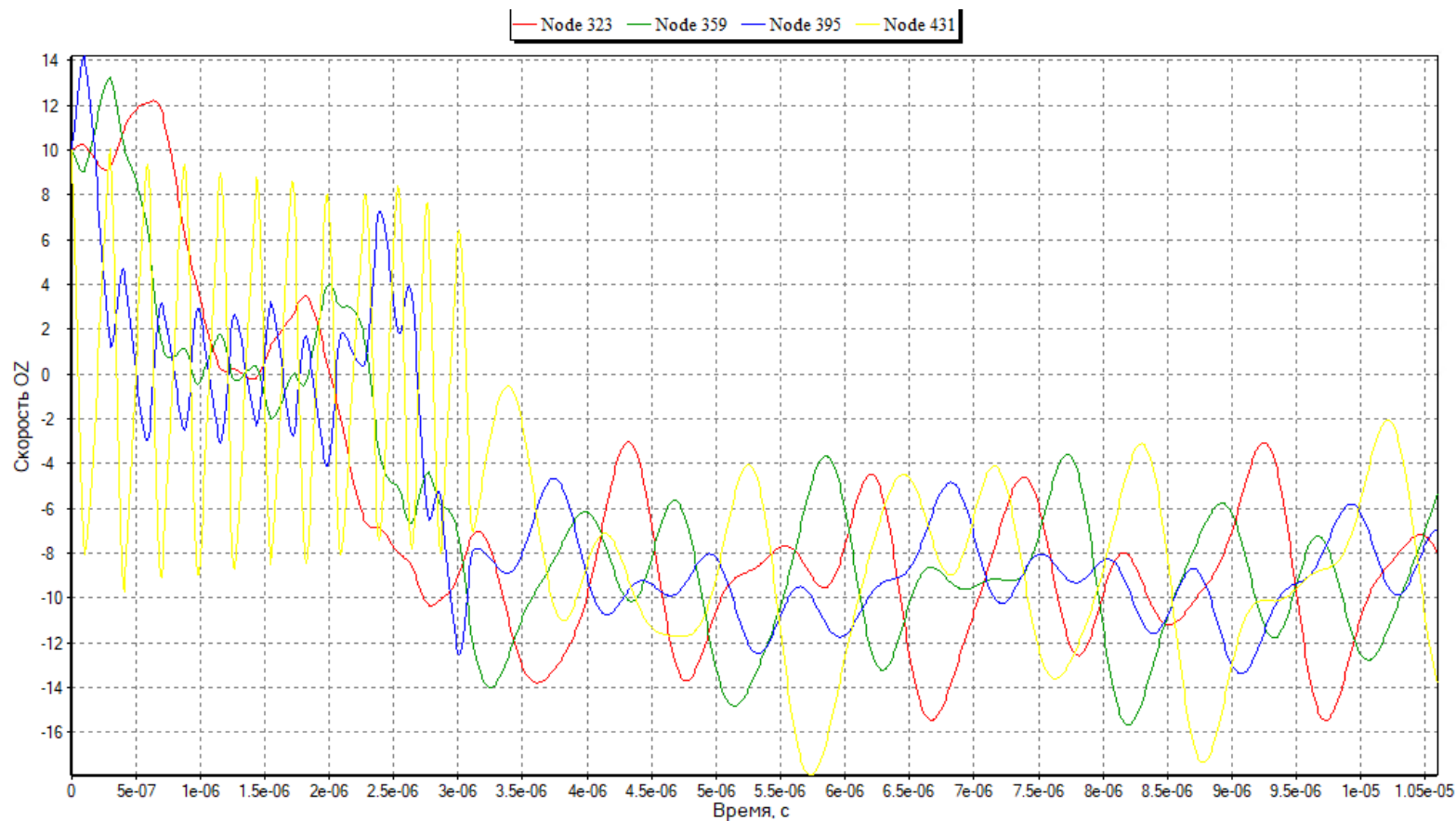
$dt=1e-7$





Не такой уж и простой удар...

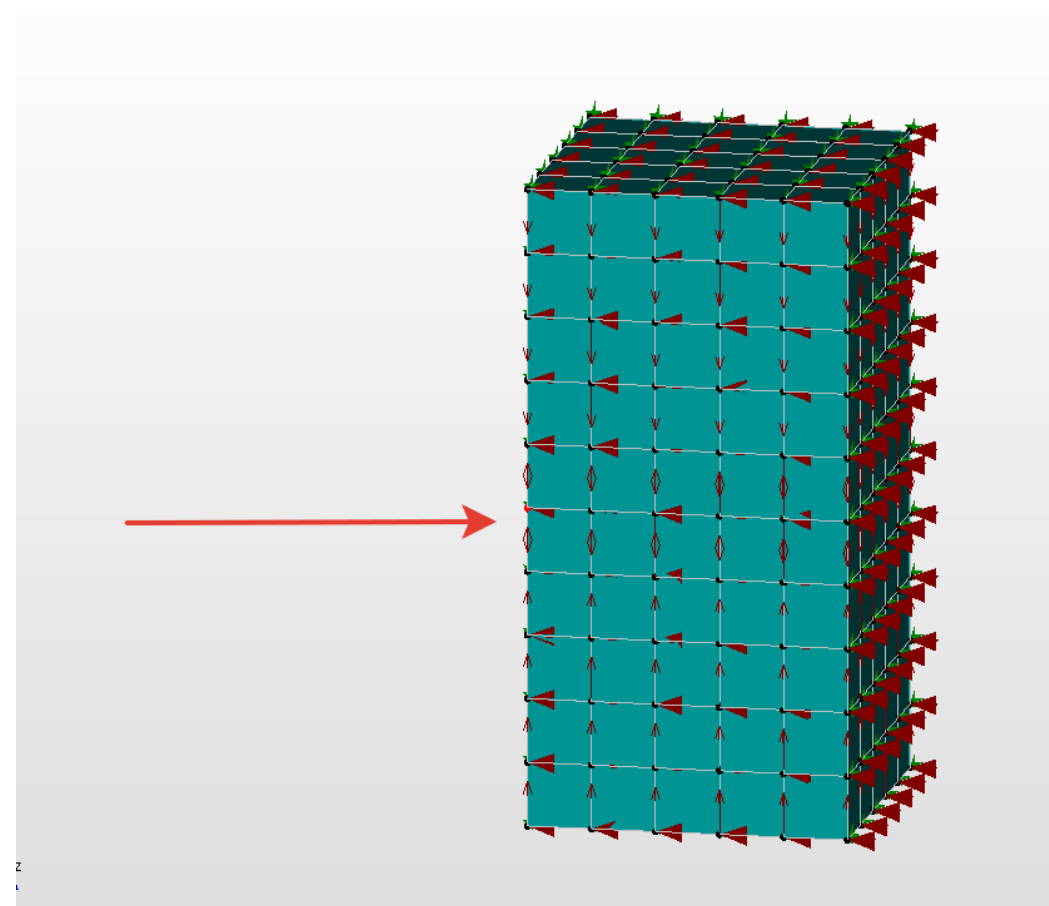
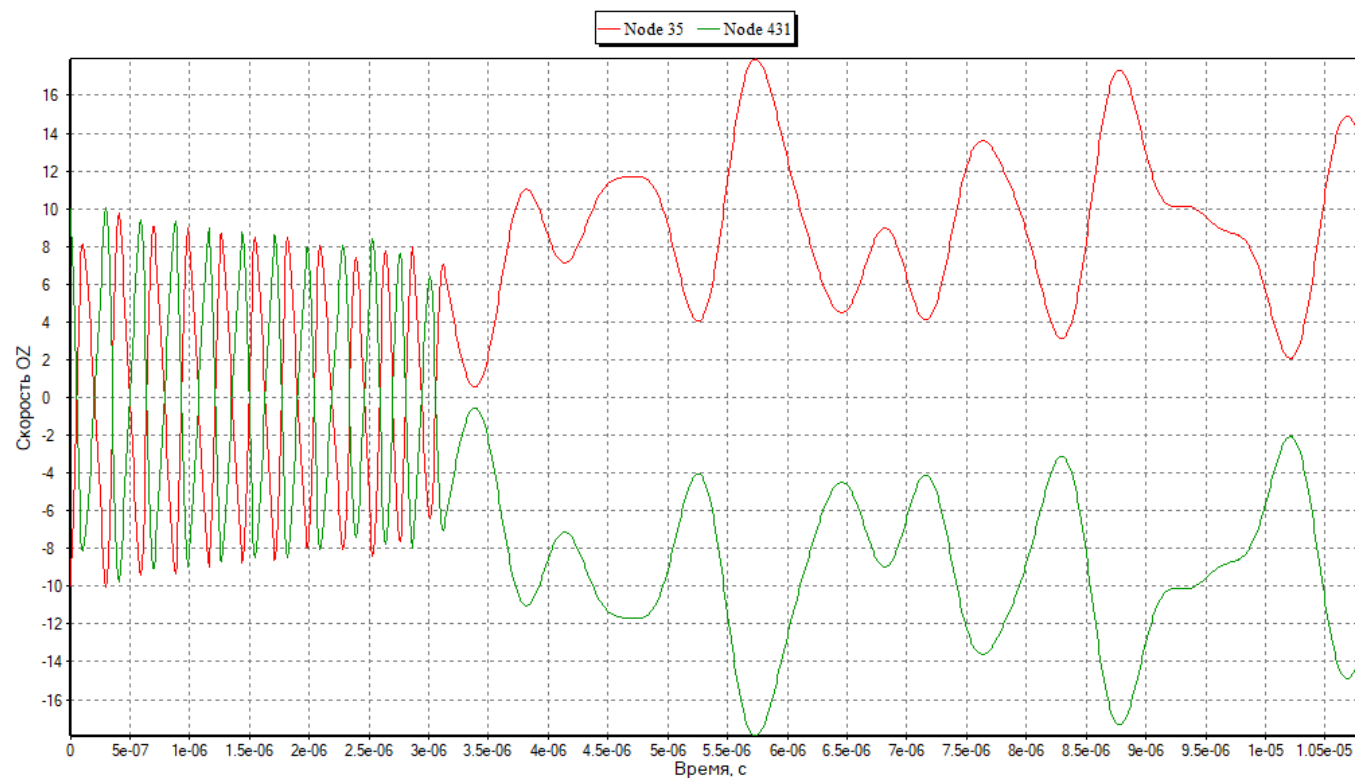
$dt=1e-8$





## Не такой уж и простой удар...

$dt=1e-8$

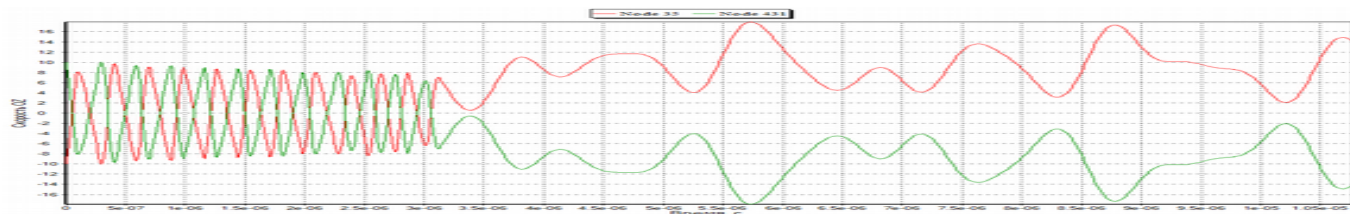




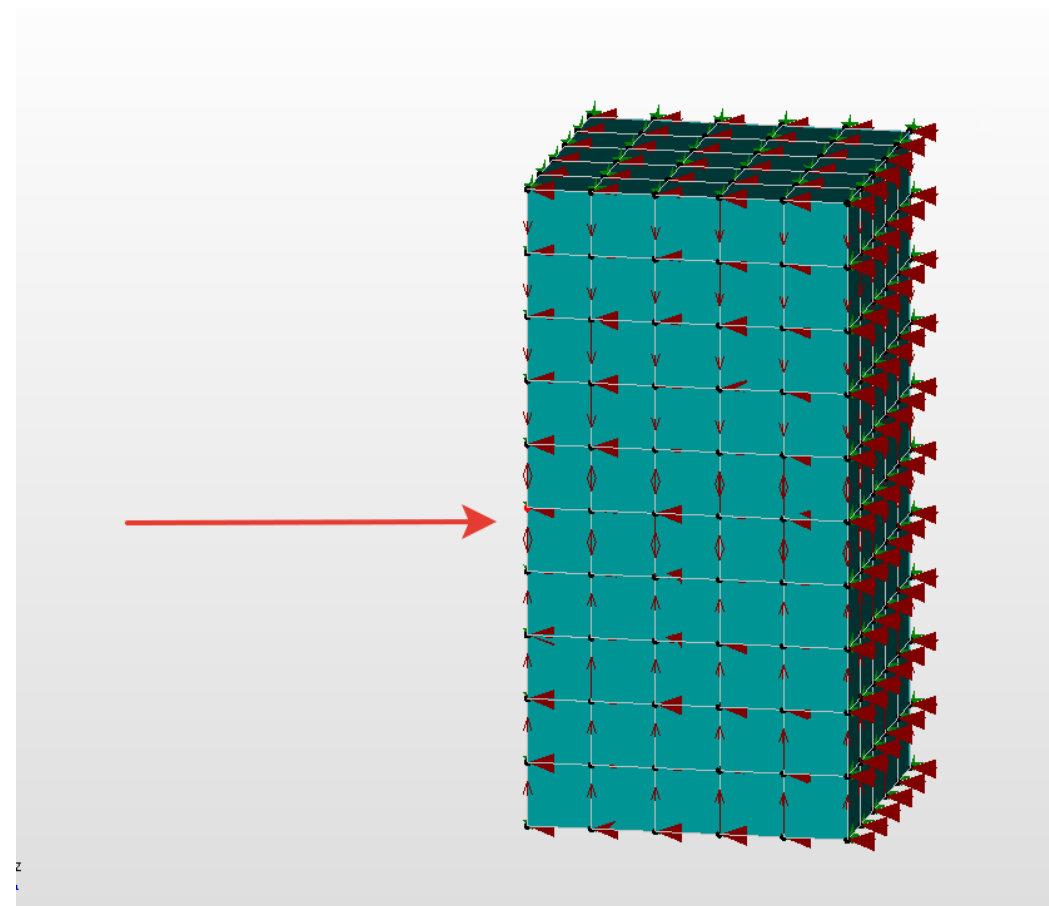


## Не такой уж и простой удар...

$dt=1e-8$



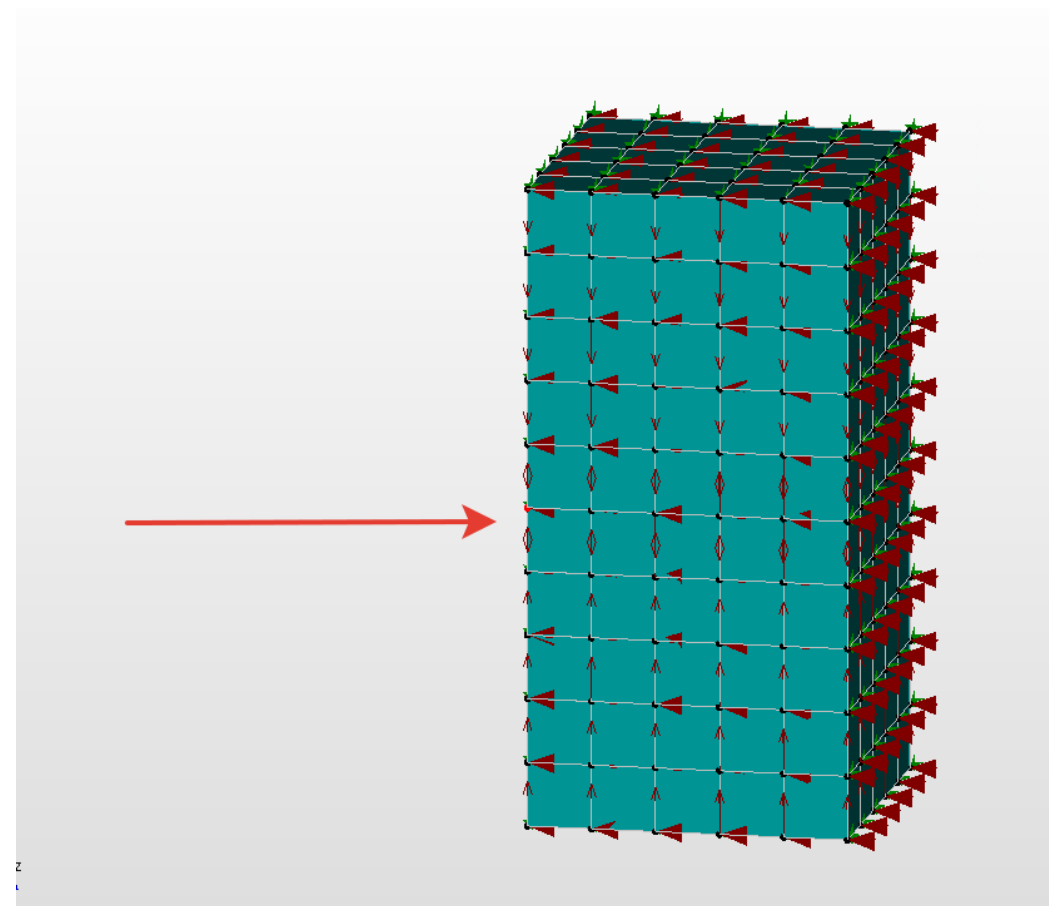
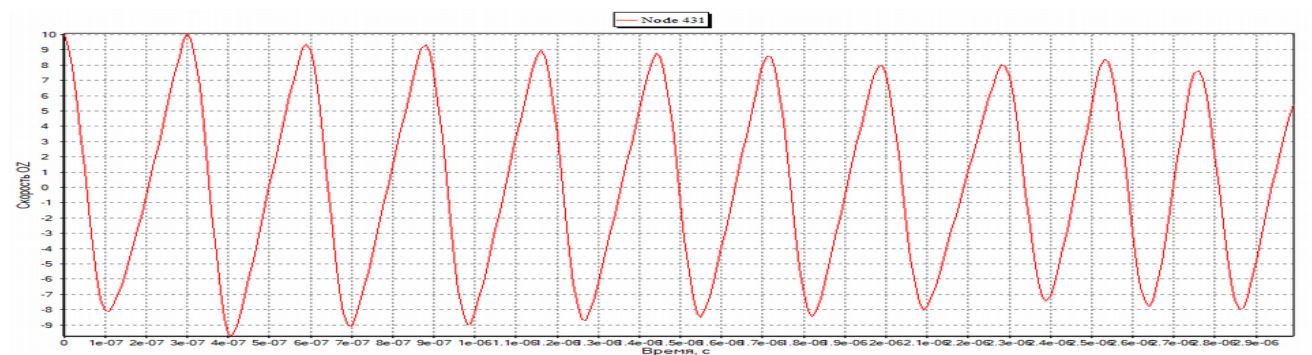
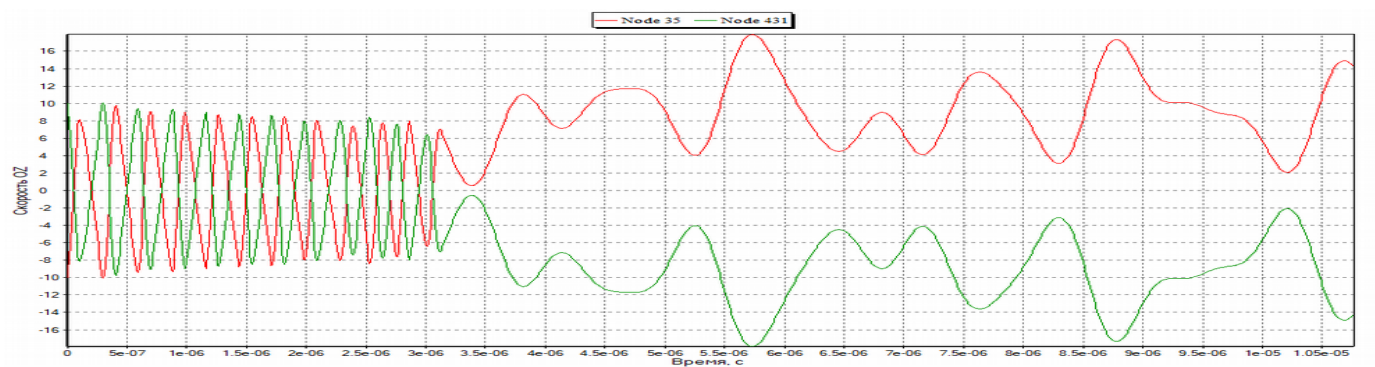
- Симметричная постановка — симметричное решение — 100%
- Сохранение импульса — 2–5%
- Идеально упругая среда + движение в единственном направлении — ???





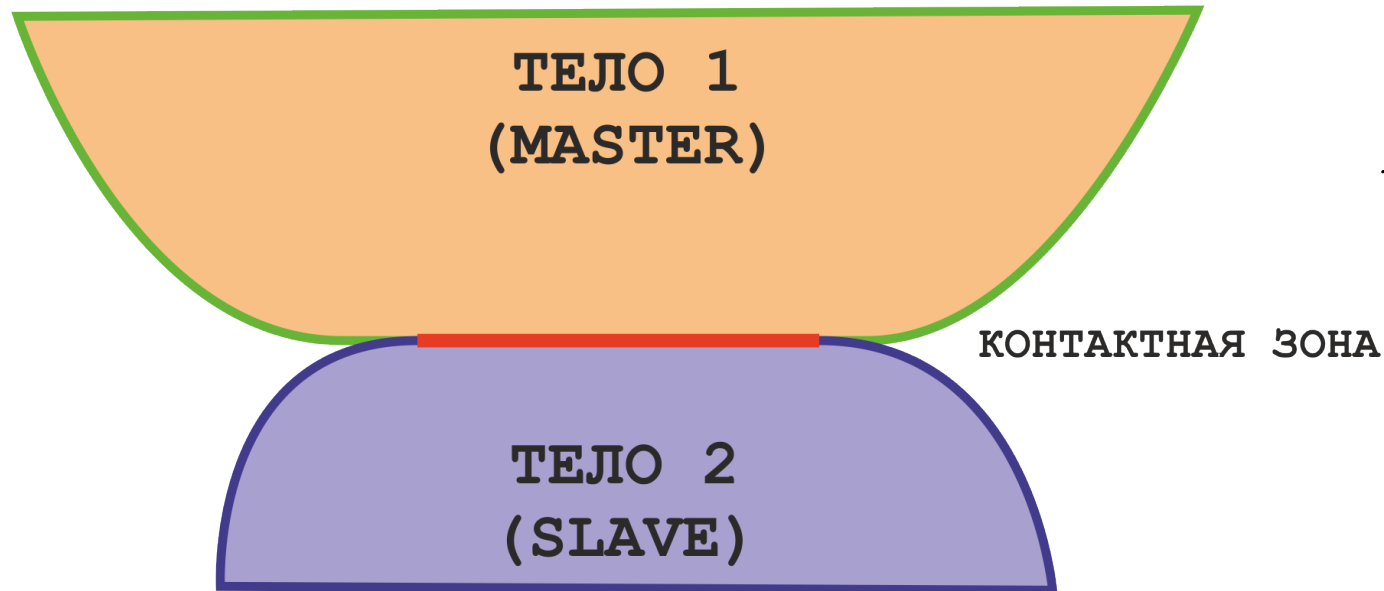
## Влияние контакта

$dt=1e-8$





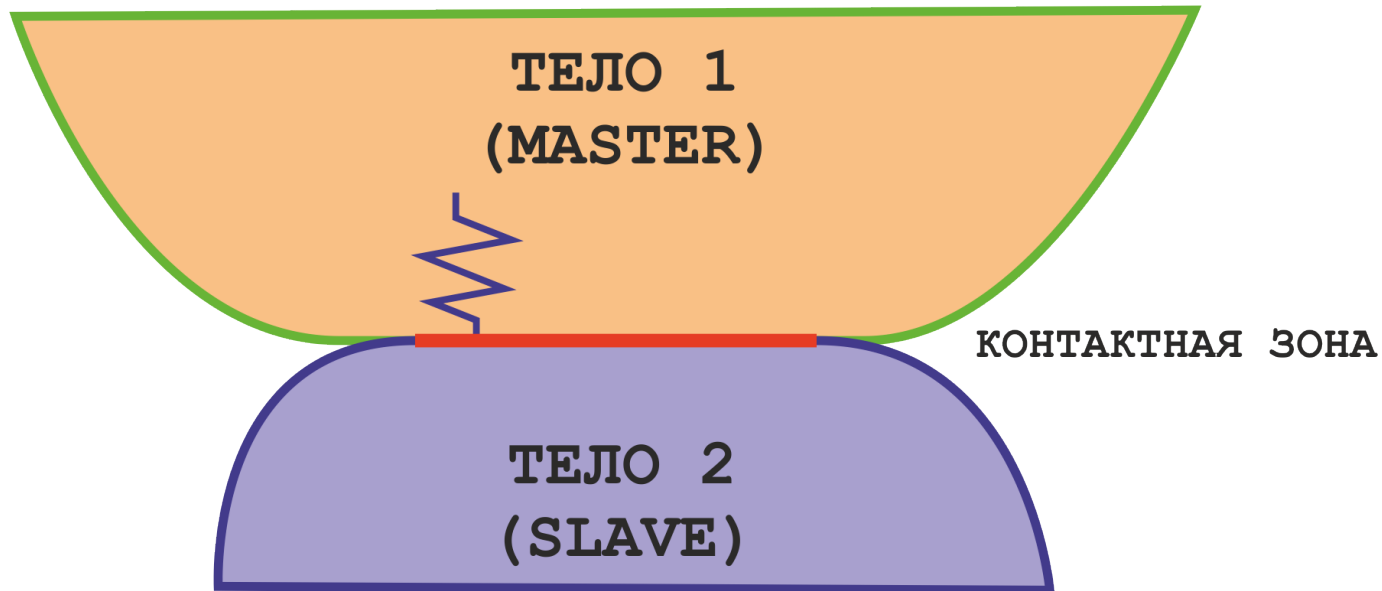
## Влияние контакта



$$F = E^{(1)} + E^{(2)} \rightarrow \min$$



## Влияние контакта

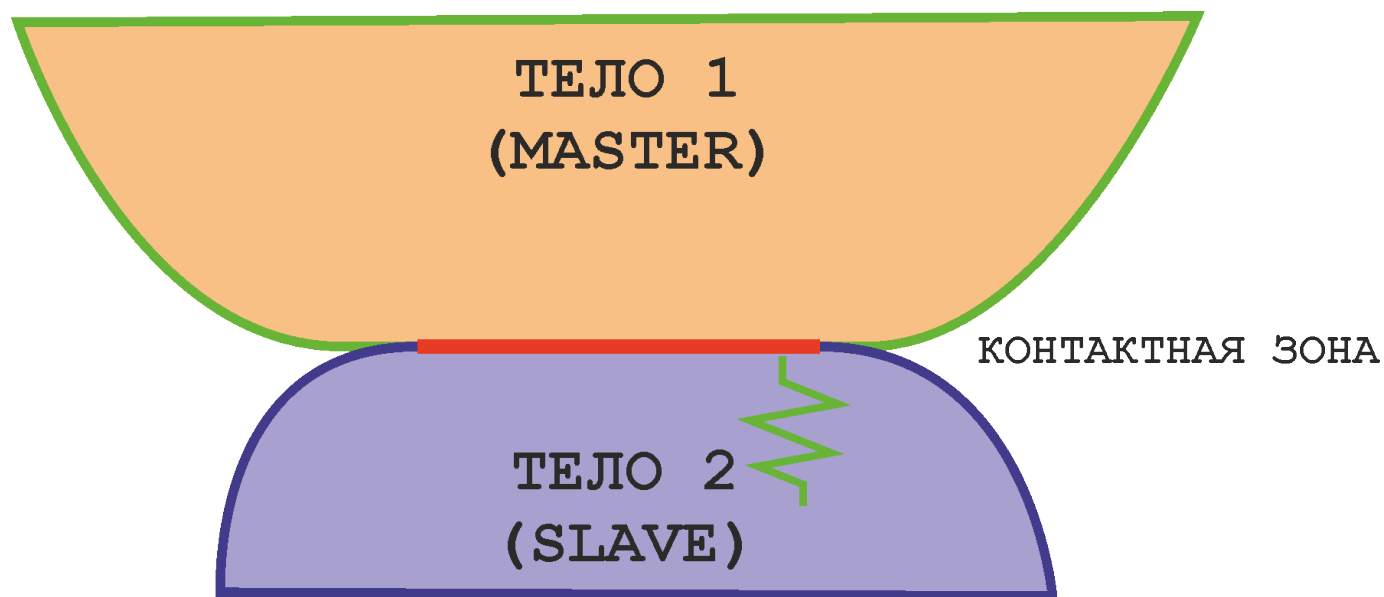


$$F = E^{(1)} + E^{(2)} + k^{(1)} \frac{g_N^2}{2} \rightarrow \min$$
$$k^{(1)} \rightarrow \infty$$





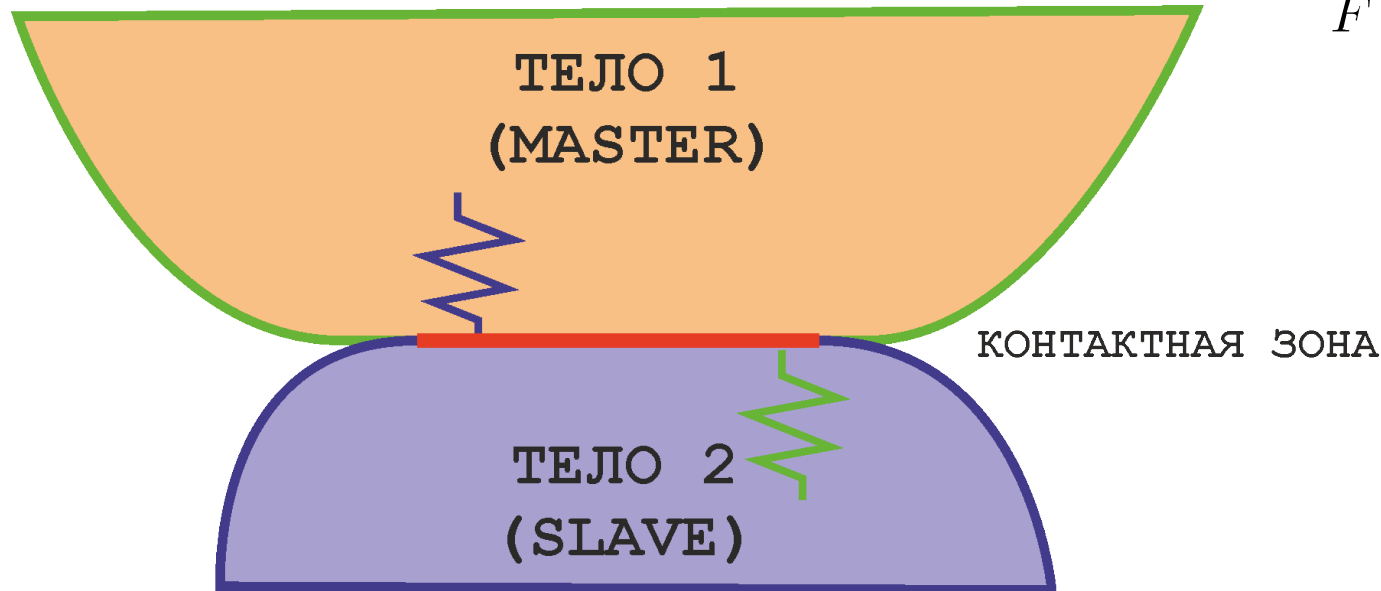
## Влияние контакта



$$F = E^{(1)} + E^{(2)} + k^{(2)} \frac{g_N^2}{2} \rightarrow \min$$
$$k^{(2)} \rightarrow \infty$$



## Влияние контакта



$$F = E^{(1)} + E^{(2)} + k^{(1)} \frac{g_N^2}{2} + k^{(2)} \frac{g_N^2}{2} \rightarrow \min$$
$$k^{(1)} \rightarrow \infty, \quad k^{(2)} \rightarrow \infty$$

**КОНТАКТНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ЗАВИСИТ  
ОТ ДЕФОРМАЦИЙ И СКОРОСТЕЙ  
ДЕФОРМАЦИЙ ТЕЛ**

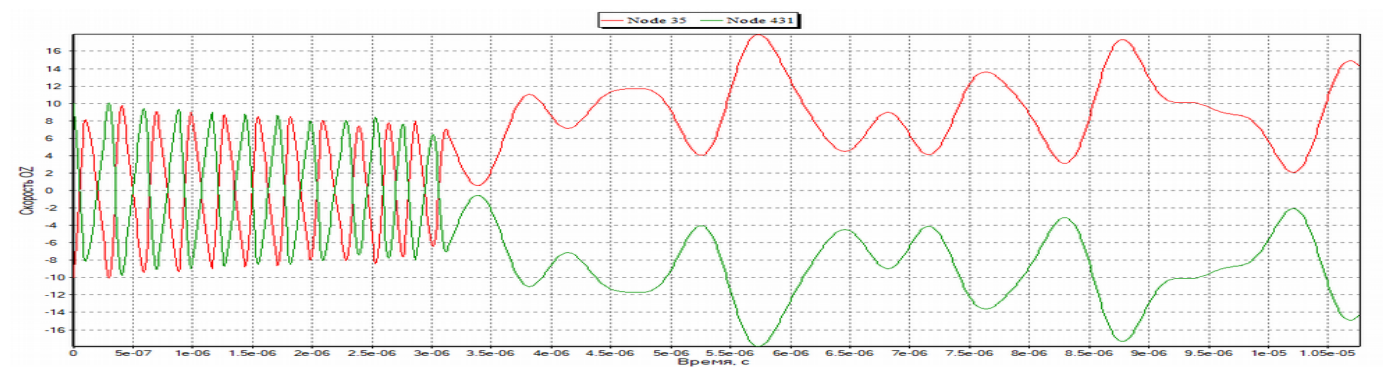
**СТАТИКА - ЖЕЛАТЕЛЬНО**

**ДИНАМИКА - НЕОБХОДИМО**

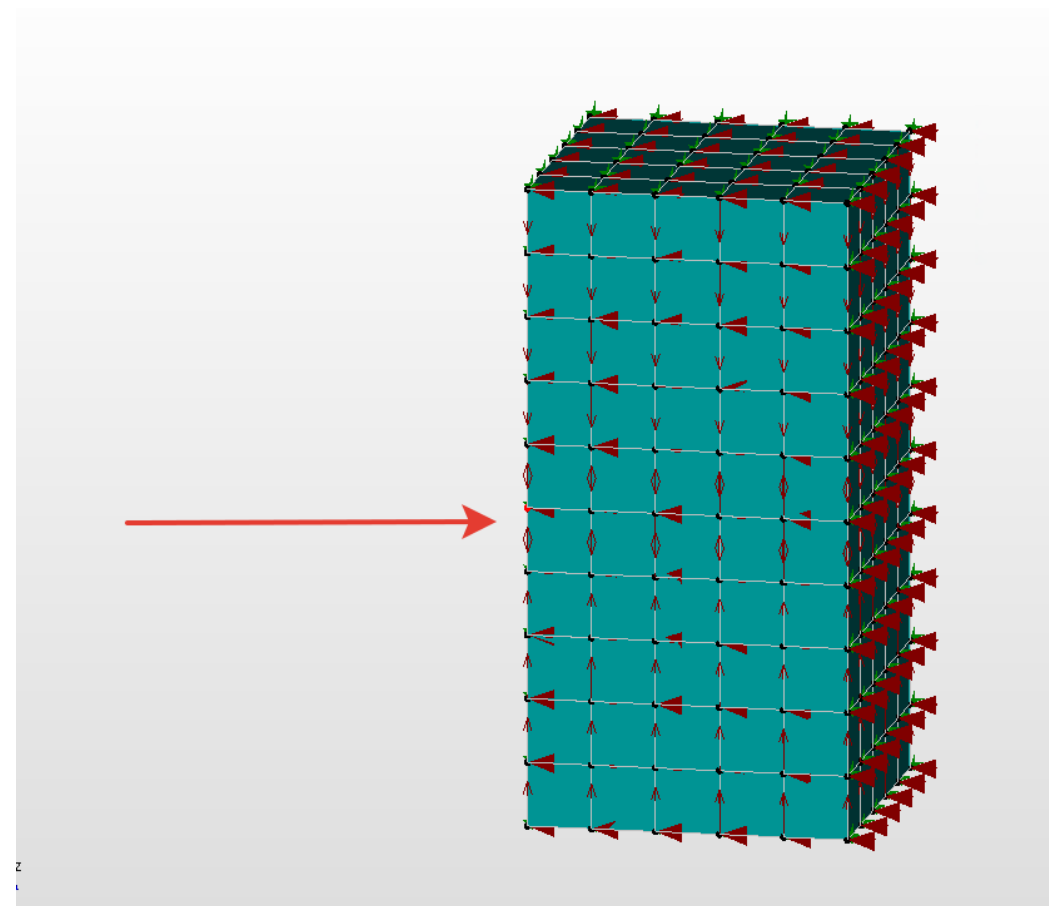
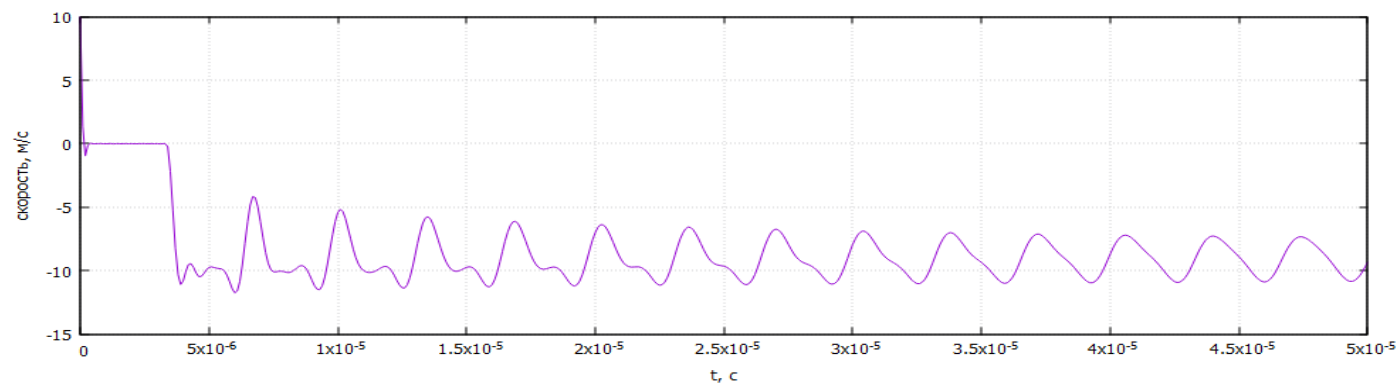


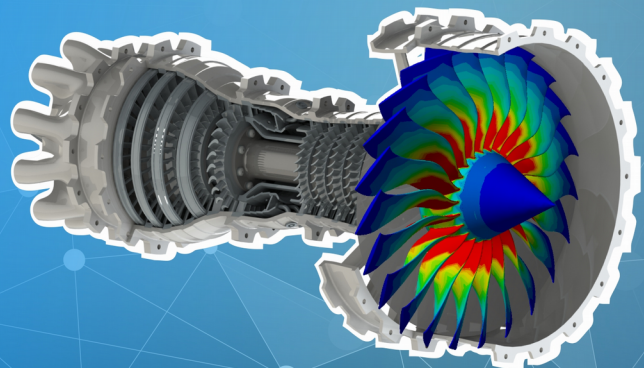
## Минимизируем влияние контакта

v17



v18





Российские САЕ-системы  
на службе промышленности<sup>2020</sup>

# Моделирование динамических процессов в Structure3D v17

Александр Кольцов



НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



An abstract background graphic in the top right corner consisting of a network of interconnected nodes and lines, with some nodes highlighted in blue and green, suggesting a complex system or data structure.

## ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ...

- Отдельный модуль для динамического анализа
- Инструменты для задания динамических нагрузок и граничных условий
- Конечные элементы высоких порядков
- Ручной и автоматизированный выбор метода интегрирования
- Явная динамика
- Улучшенные алгоритмы контактного взаимодействия с учетом вопросов динамики
- Улучшение производительности
- Методы динамической релаксации

*Моделирование динамики - **очень ресурсоемкий процесс**, и мы активно работаем над тем, чтобы сделать алгоритмы максимально эффективными за счет использования возможностей современного железа и реализации современных эффективных численных алгоритмов.*