

Применение метода дискретных элементов в задаче моделирования процесса измельчения твердого тела

Выполнил: студент С.М. Бобровников

Руководители:

проф., к.т.н. А.И. Боровков

инженер Г.В. Монаховский

Актуальность

Область применения:

- Уничтожение и переработка отходов
- Горнодобывающая отрасль
- Деревообработка
- Уничтожение документов и цифровых носителей информации



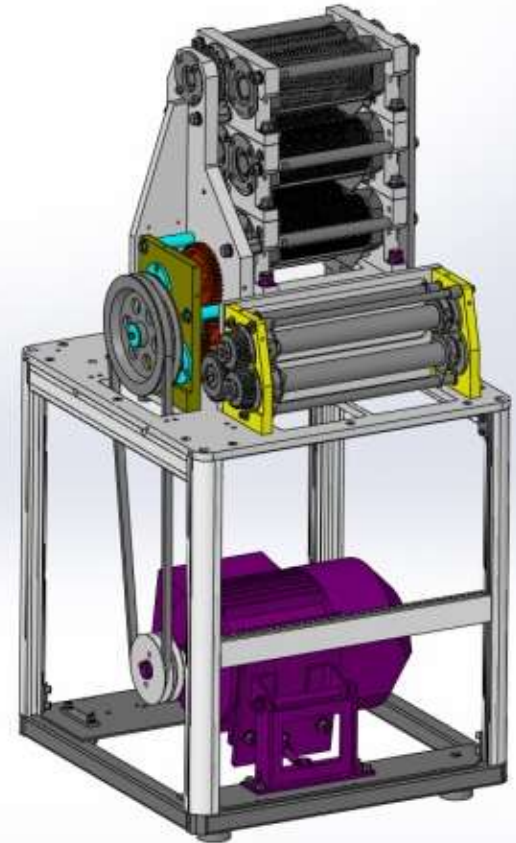
Как моделировать измельчение?

А. Метод конечных элементов

- Критерий разрушения (по деформациям, по напряжениям, интегральные)
- Удаляются элементы

Б. Метод дискретных элементов

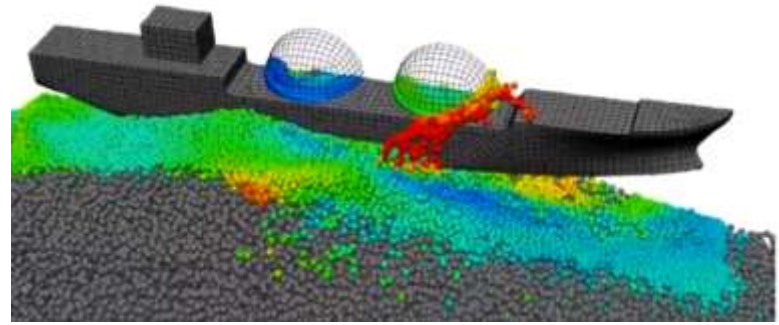
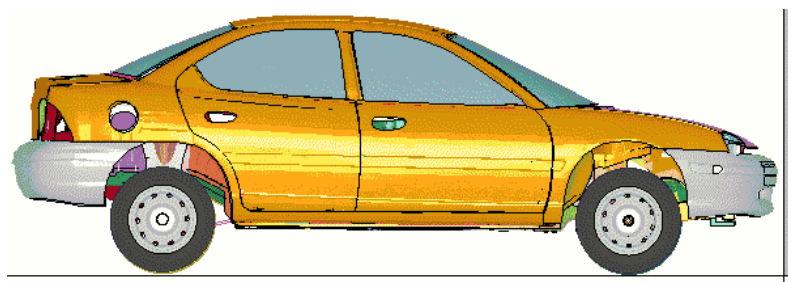
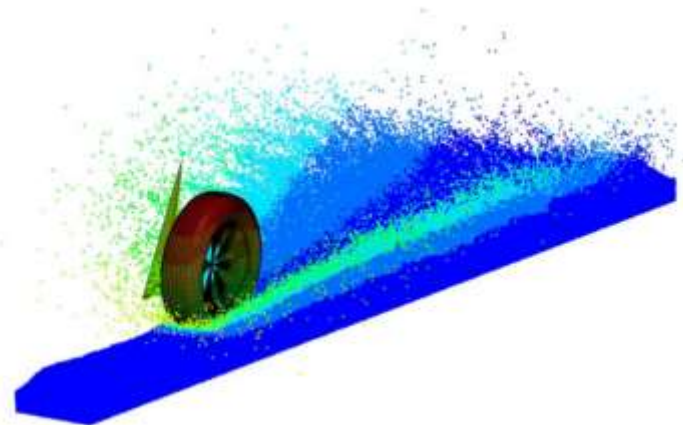
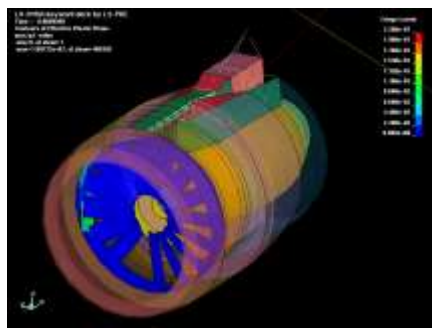
- Удаляются связи



Программное обеспечение

Программное обеспечение:

- LS-DYNA
- LS-PrePost



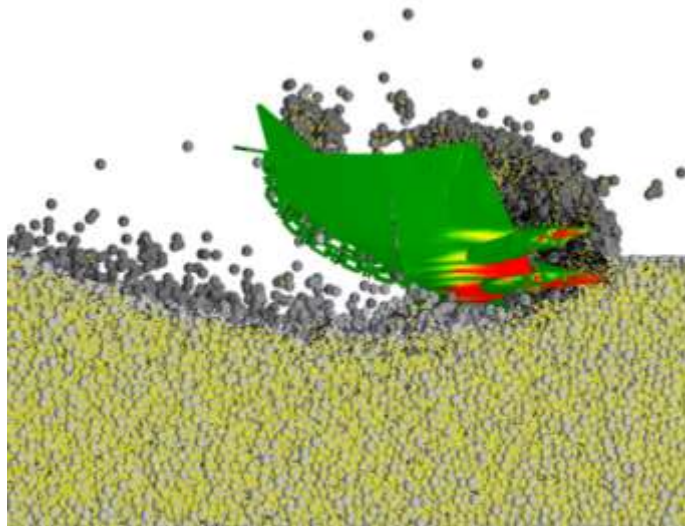
Сравнение МДЭ и МКЭ

МДЭ

- Принцип инерции Галилея
- Принцип материальной объективности
- Совокупность взаимодействующих частиц

МКЭ

- Принцип инерции Галилея
- Принцип материальной объективности
- Гипотеза сплошности



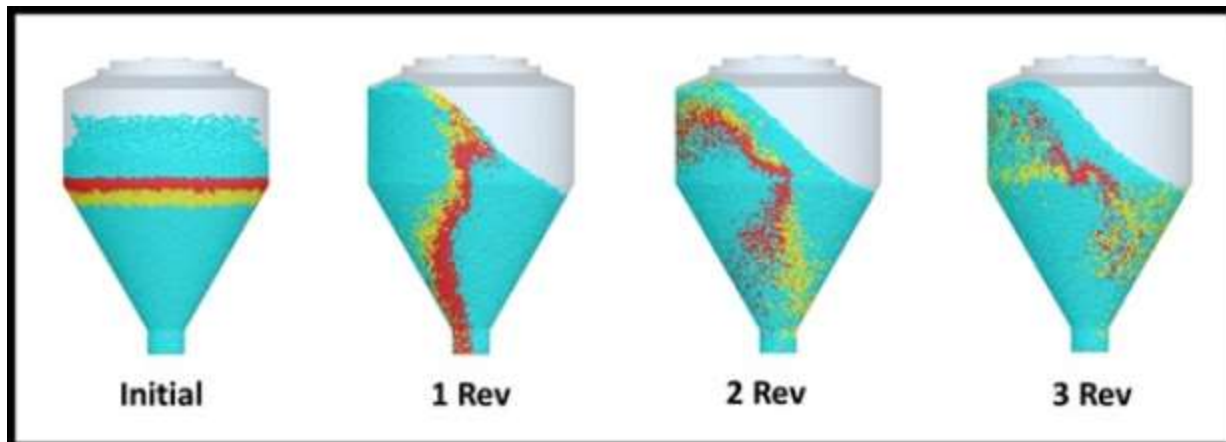
Сравнение МДЭ и МКЭ

МДЭ

- может происходить “перемешивание” частиц

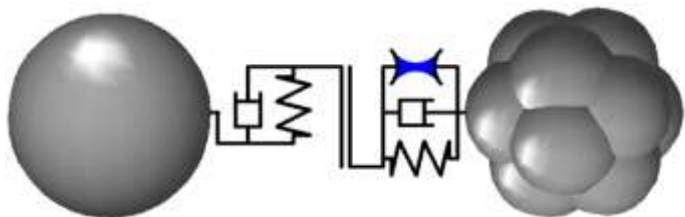
МКЭ

- неразрывность материальных линий (нет перемешивания)

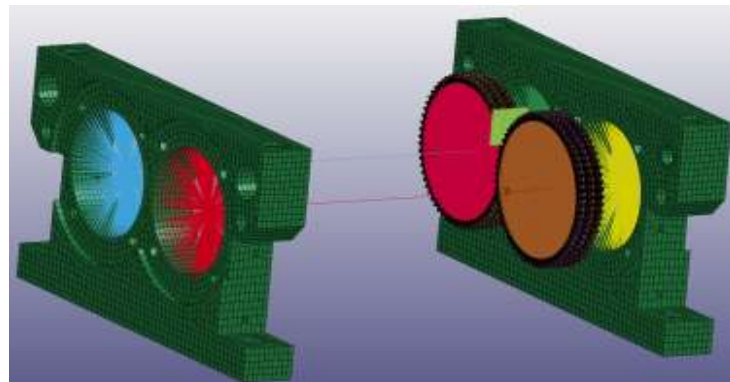


Ход работы

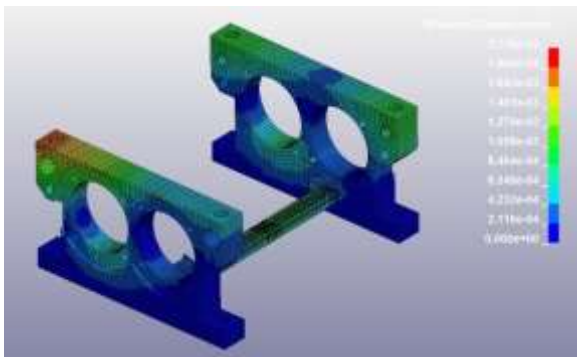
1. Исследование МДЭ



2. Моделирование процесса разрушения твердого тела в измельчителе

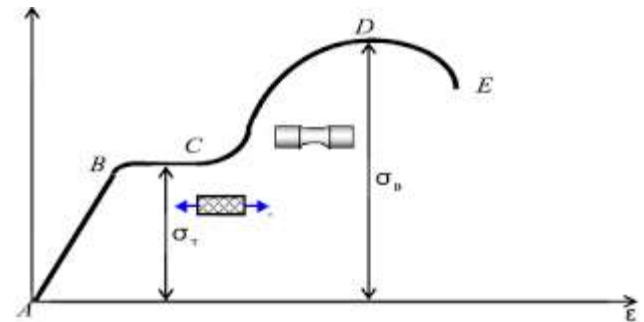


3. Оценка НДС конструкции измельчителя

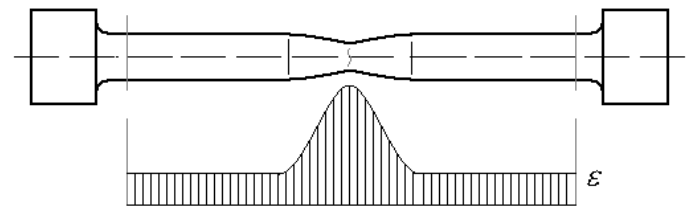
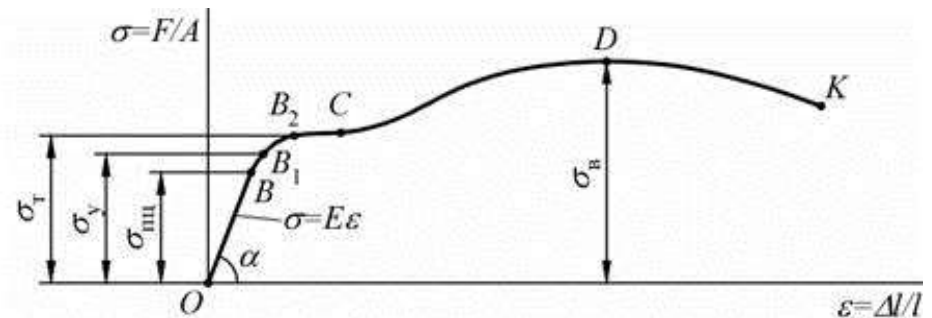


Определение механических свойств материала

FROZEN_ID	FROZEN_DELETE	DEFINED								
NO	NO	YES	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
100	2,85E-9	21,0000	0,3	0	0	0	0	0	0	0
C	P	LCSS	LCSR	VP	LCF					
0	0	1000	1							
EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8			
0	0	0	0	0	0	0	0			
ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8			
0	0	0	0	0	0	0	0			



1. MID – номер материала
2. RO – плотность
3. E – модуль Юнга
4. PR – коэффициент поперечной деформации
5. SIGY – предел текучести
6. ETAN – модуль Юнга в другом направлении
7. FAIL – метка разрушения
8. TDEL – мин время удаления элемента
9. C – параметр, определяющий деформации
10. P – параметр, определяющий деформации
11. LCSS – id кривой зависимости деформаций от напряжений
12. LCSR – id кривой зависимости напряжений от деформаций
13. VP – упругая/пластичная постановка
14. LCF – id кривой нагружения
15. EPS – кривая пластических деформаций
16. ES – кривая упругих деформаций



Определение свойств дискретной модели

DEFINE_DE_BOND**

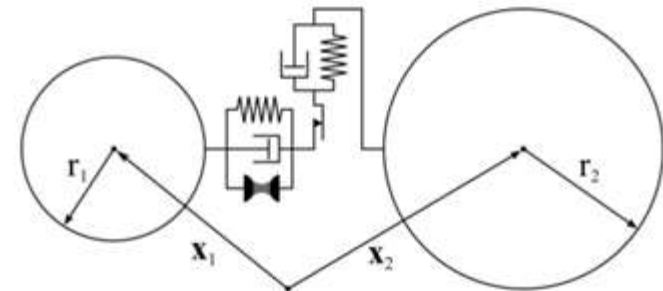
1	SID	STYPE	BDFORM					
	200	3	1					
2	PBN	PBS	PBN_S	PBS_S	SFA	ALPHA	-	MAXGAP
	600.00000	0.7000000	100.000000	10.0000000	1.0000000	0.0200000	0.0	0.0100000



- * 1. NDAMP – нормальный коэф. демпфирования
- 2. TDAMP – тангенсальный коэф. демпфирования
- 3. Fric – коэф. трения скольжения
- 4. FricR – коэф. трения качения
- 5. NormK – масшт. коэф. нормальной упругости
- 6. ShaerK – отношение норм. и кас. коэф. упругости
- 7. CAP – капиллярный эффект
- ** 8. SID – номер сета
- 9. STYPE – тип сета
- 10. BDFORM – линейная/нелинейная формулировка
- 11. PBN – модуль продольной связи (Па)
- 12. PBS – относительная продольная жесткость
- 13. PBN_S – максимальные нормальные напряжения
- 14. PBS_S – максимальные касательные напряжения
- 15. SFA – масштабный коэффициент
- 16. ALPHA – численное демпфирование
- 17. MAXGAP – радиус действия связи

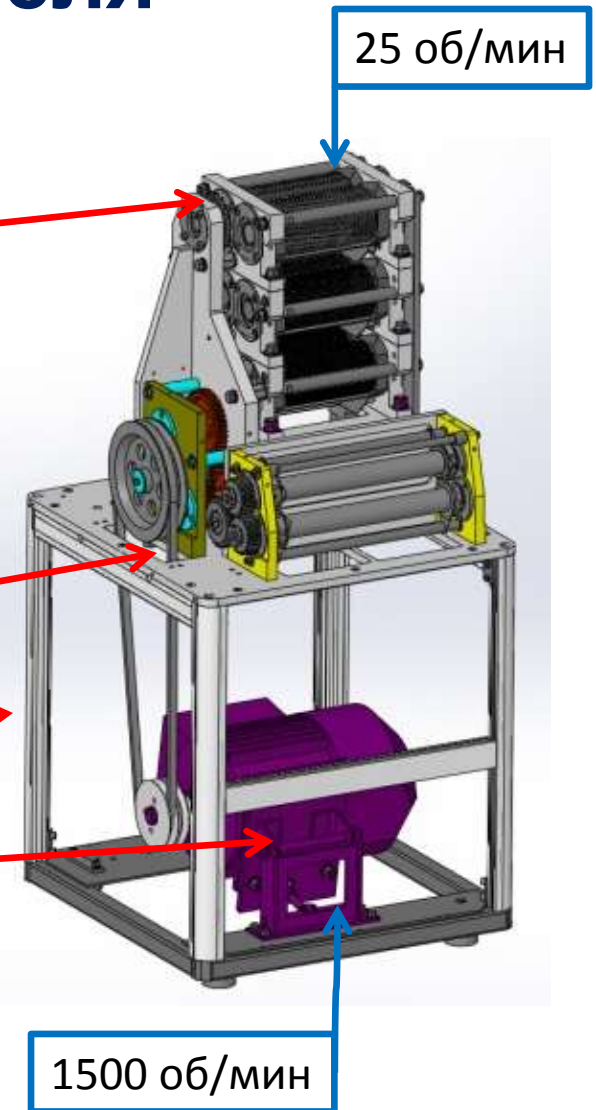
CONTROL_DESCRETE_ELEMENT*

1	NDAMP	TDAMP	Fric	FricR	NormK	ShearK	CAP
	0.7000000	0.9000000	0.3000000	0.2000000	0.0100000	0.0030000	0



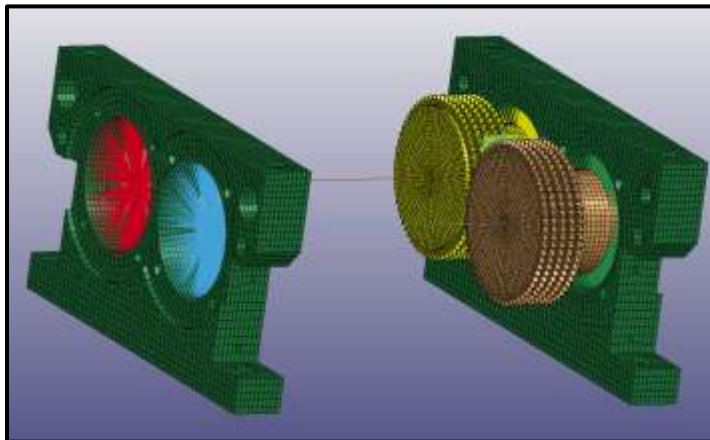
Состав измельчителя

- Измельчительный блок
 - 3 уровня режущих валов
 - Опоры
 - Редуктор и передачи
- Главный редуктор
- Опорная рама
- Двигатель

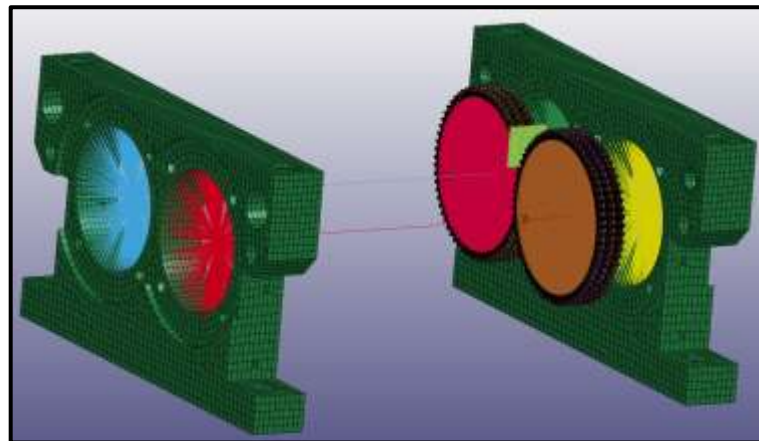


Модели измельчителя

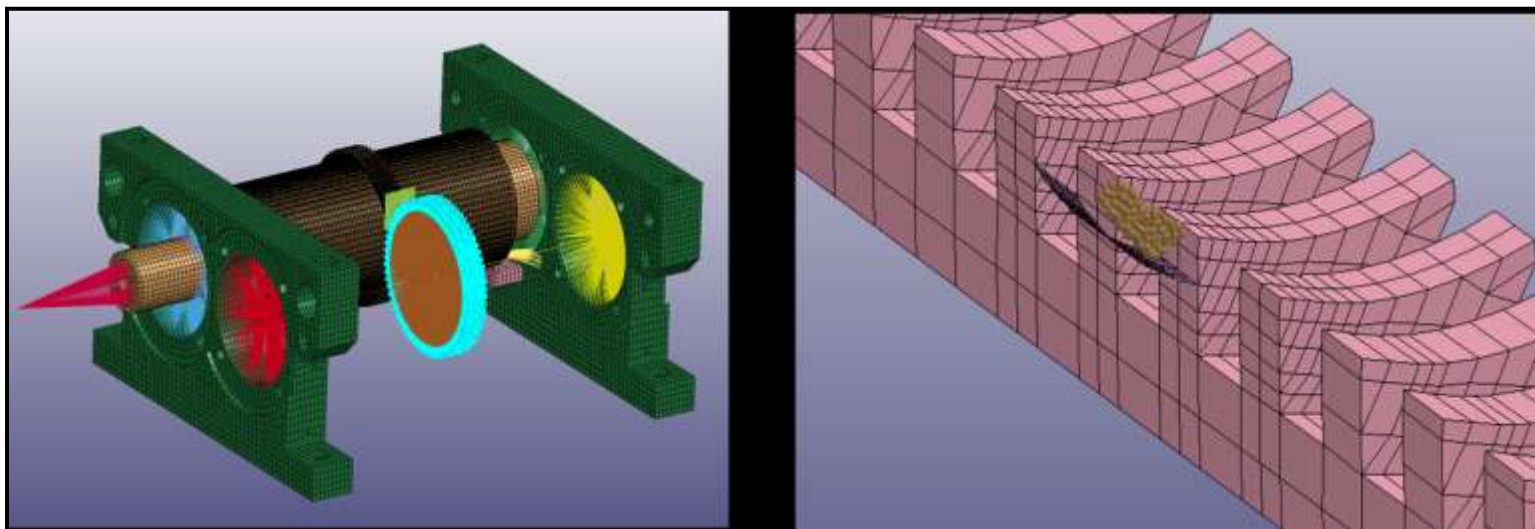
1. Валидация материала



2. Поиск напряжений в зубьях валов

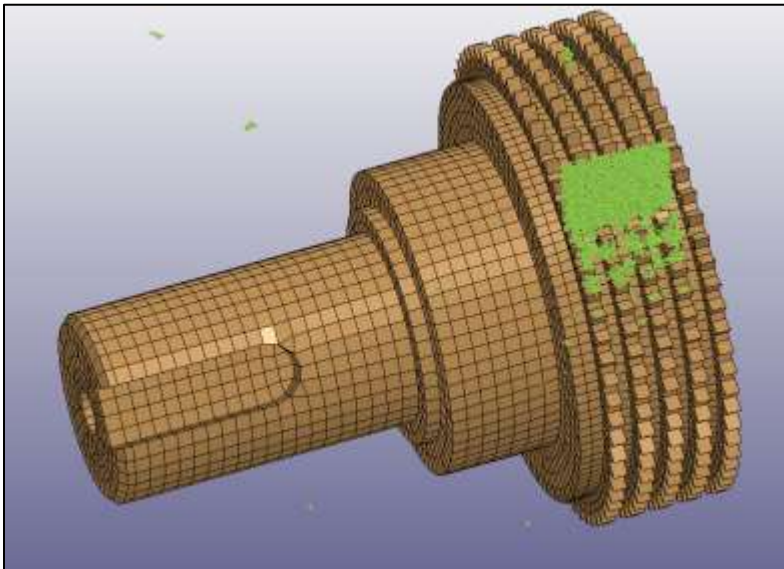
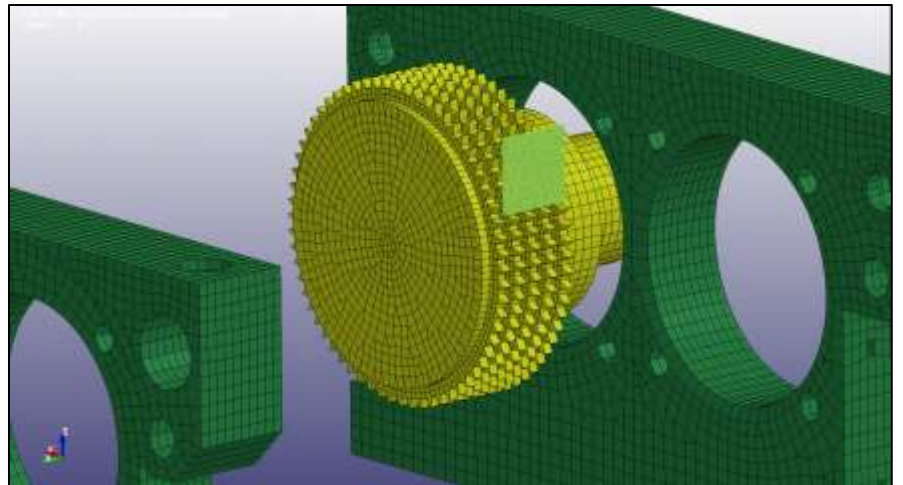
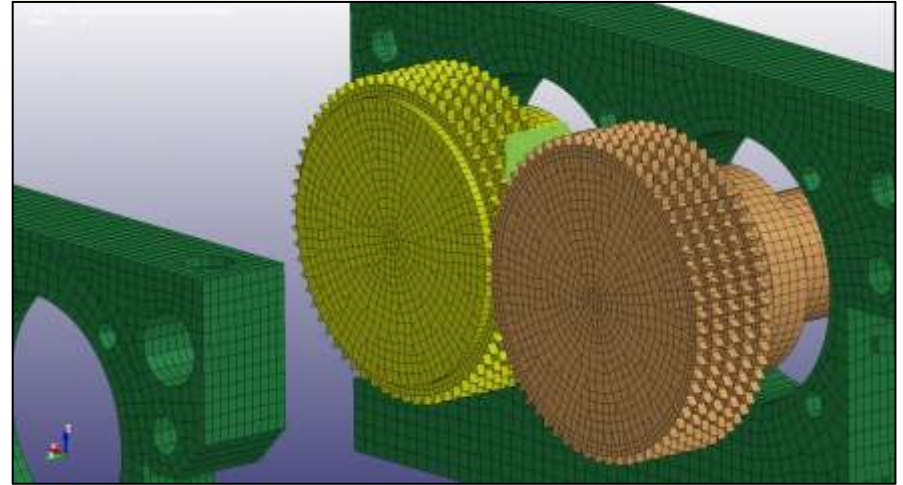


3. Поиск напряжений в валу измельчителя и сбрасывателя



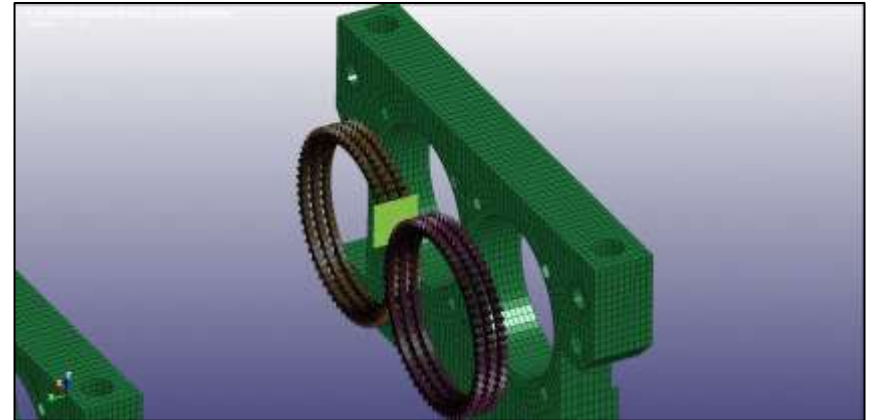
Валидация материала

- Тип КЭМ: гексагональная
- Количество конечных элементов >50000
- 3 материала :
 - Алюминий
 - Сталь
 - Поликарбонат

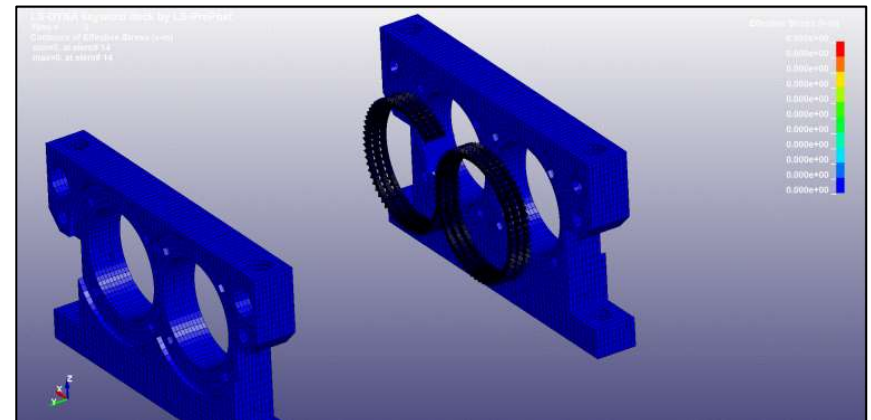
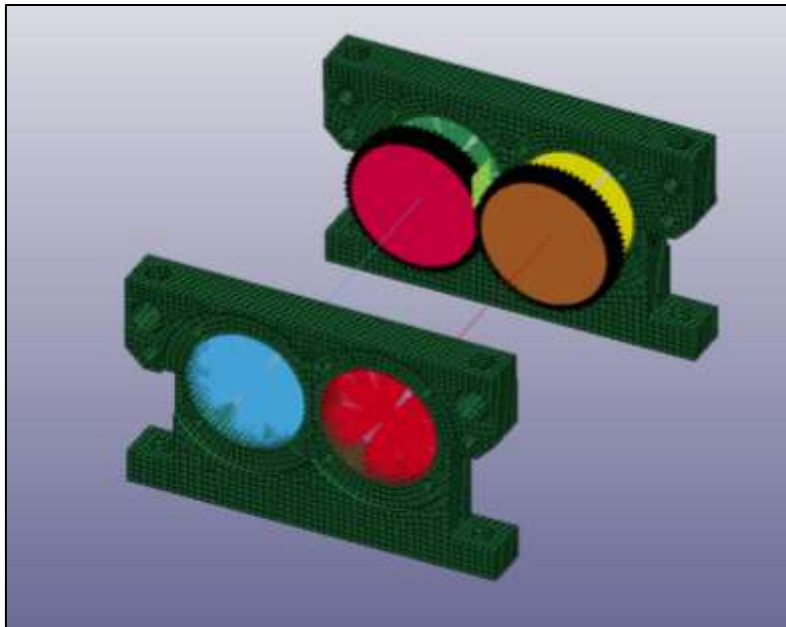


Напряженно-деформированное состояние зубьев режущих валов

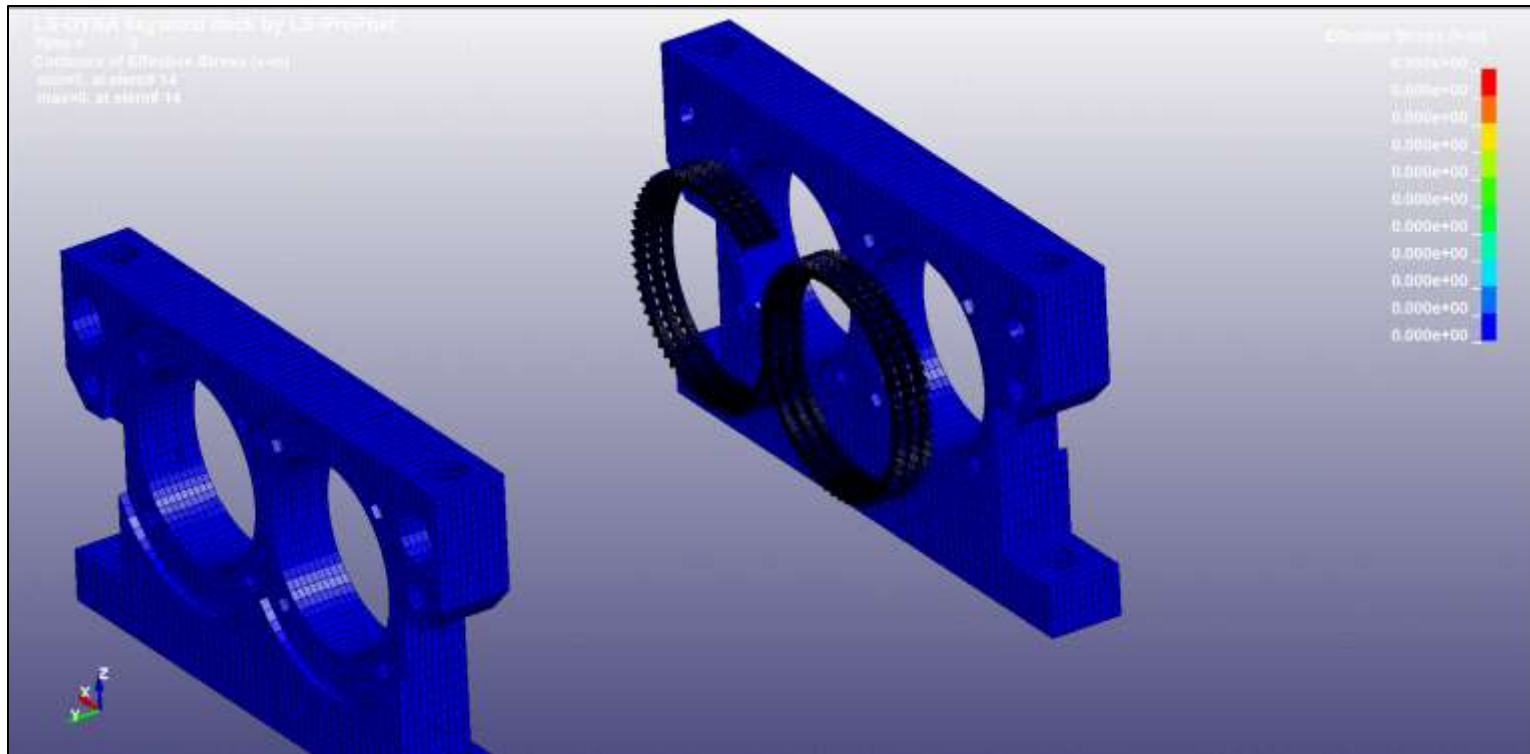
- Тип КЭМ: гексагональная
- Количество конечных элементов >121000
- 3 материала :
 - Алюминий
 - Сталь
 - Поликарбонат



Напряжения возникающие при измельчении



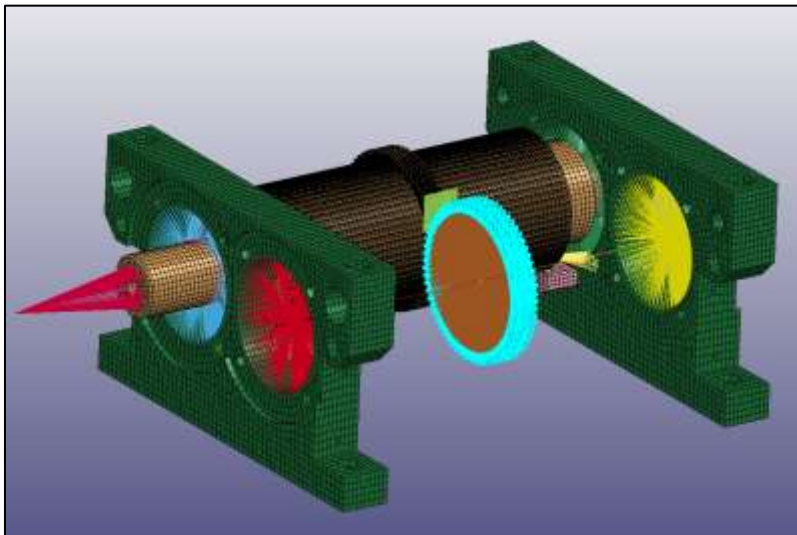
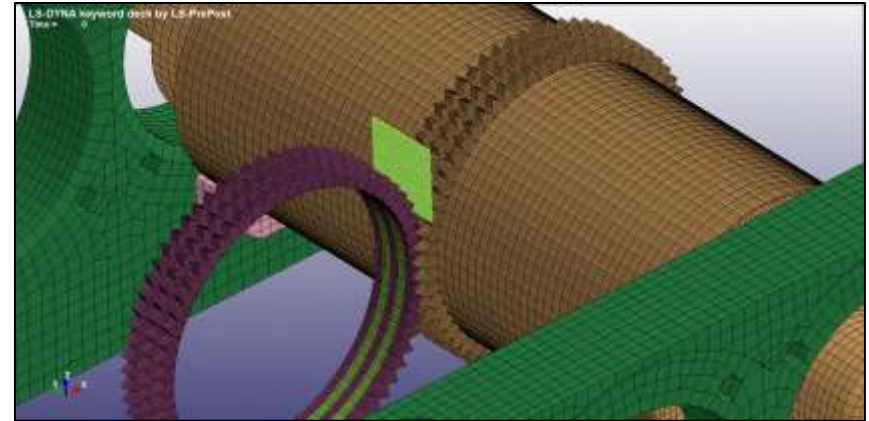
Напряженно-деформированное состояние зубьев режущих валов



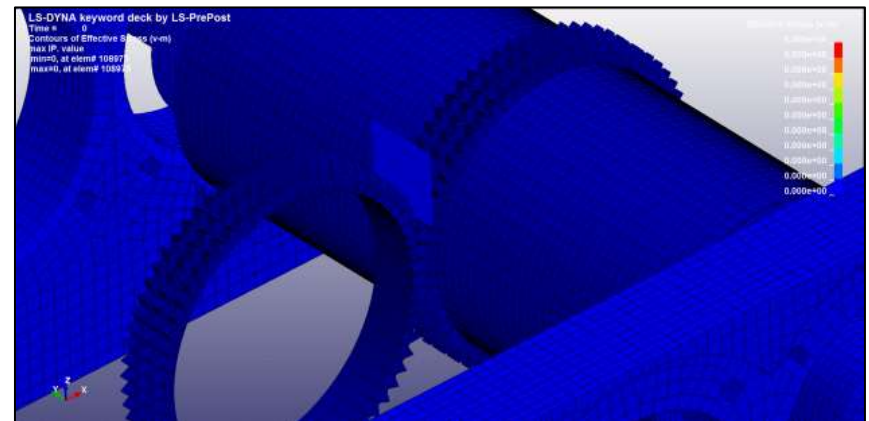
В опорах $\sigma_{\max} = 2$ МПа, в зубьях режущих валов $\sigma_{\max} = 7.94$ МПа.
Узловые перемещения в опорах $< 2.53 \cdot 10^{-3}$ мм

Напряженно-деформированное состояние вала и сбрасывателя

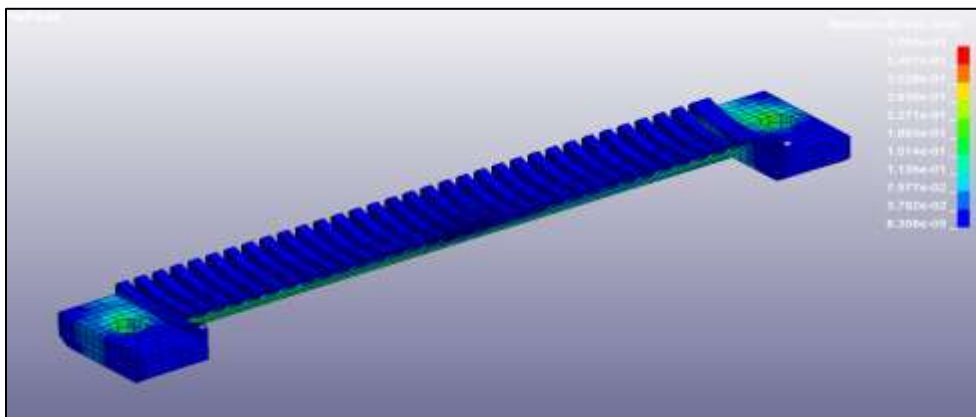
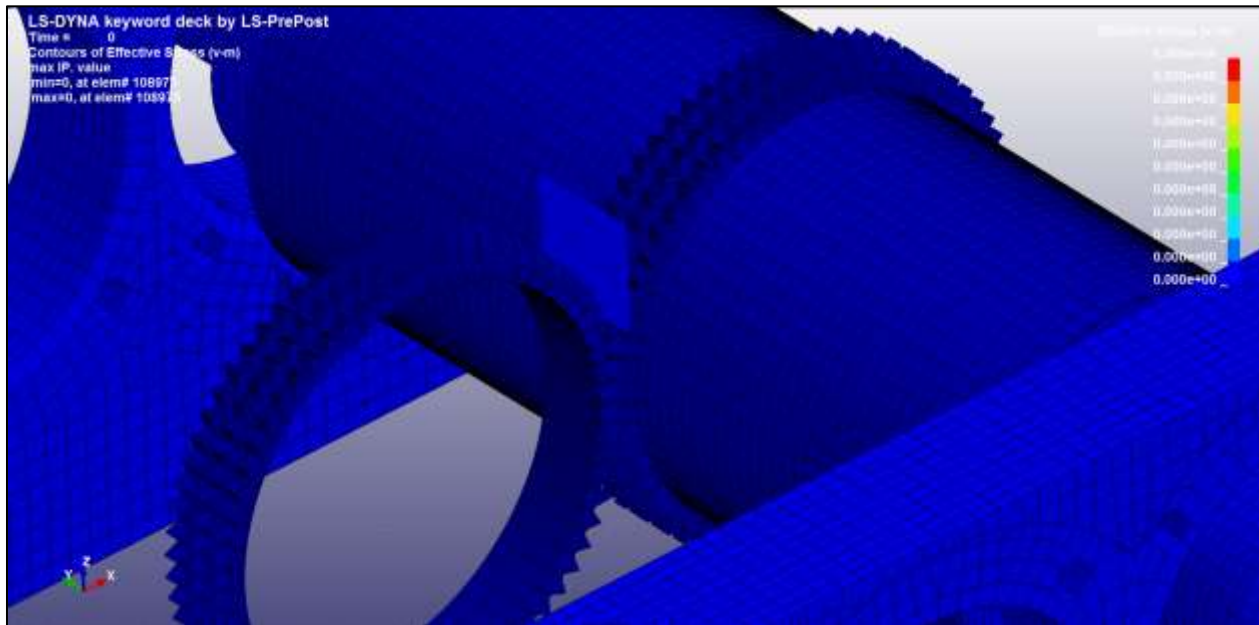
- Тип КЭМ: гексагональная
- Количество конечных элементов > 334884 шт.
- 3 материала:
 - Алюминий
 - Сталь
 - Поликарбонат



Напряжения возникающие при измельчении



Напряженно-деформированное состояние вала и сбрасывателя



- В опорах $\sigma_{\max} = 5$ МПа
- В зубьях режущих валов $\sigma_{\max} = 11$ МПа
- В сбрасывателе $\sigma_{\max} = 0.4$ МПа
- Узловые перемещения в опорах $< 2.53 \cdot 10^{-3}$ мм

Заключение

- Изучен метод дискретных элементов;
- Получены наглядные визуализированные процессы измельчения образца близкие к результатам натурального эксперимента;
- Была получена картина напряженно-деформированного состояния конструкции измельчителя в процессе измельчения в различных вариантах постановки задачи.

Спасибо за внимание!