

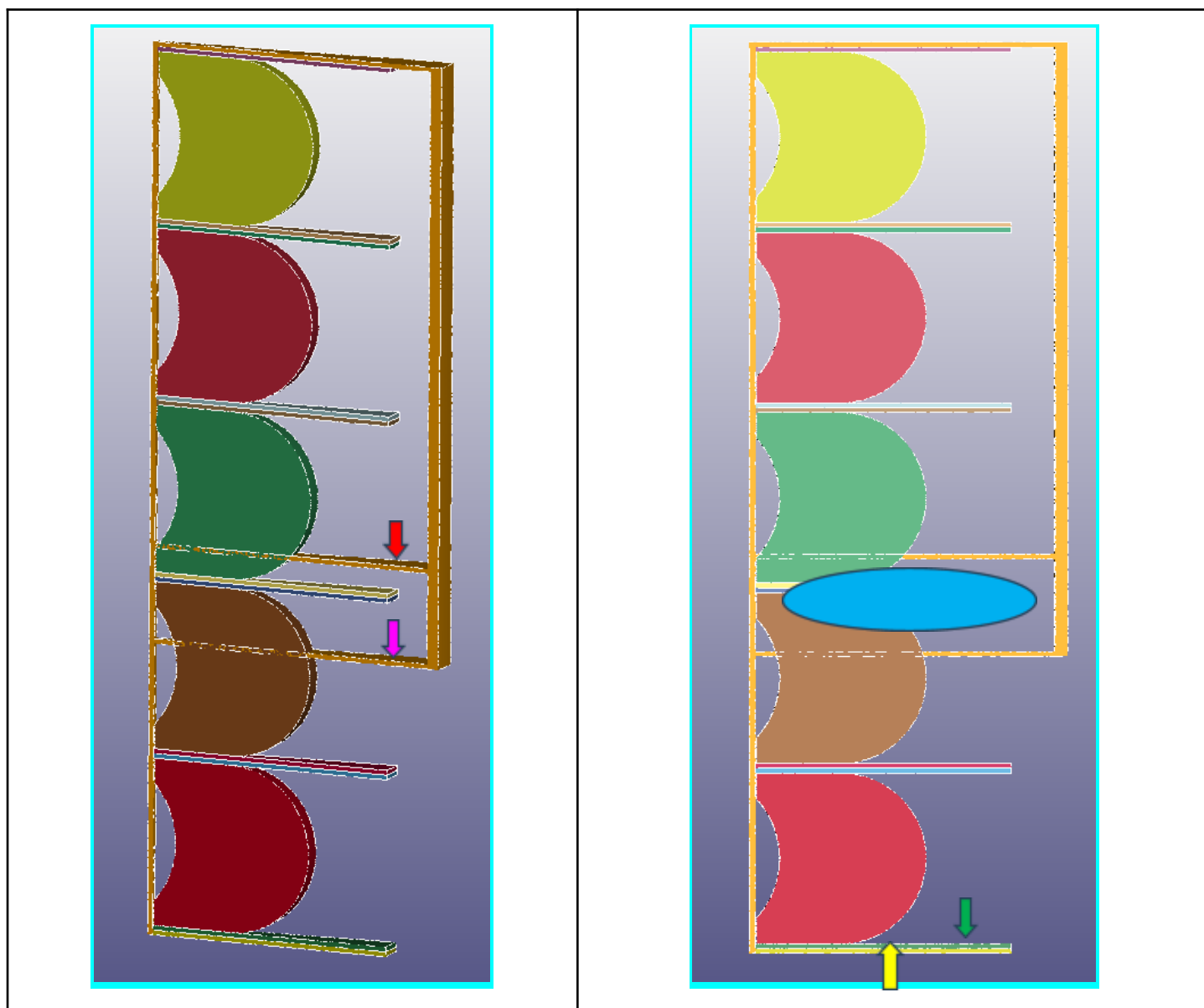
Текст для письма

добрый вечер,

Цель этого отчета :

1. Дать подробное описание работы аппарата при динамическом нагружении – столкновении двух вагонов.
 2. Краткое описание работы энергопоглощающего аппарат для трех случаев:
 - a. Статическое нагружение – циклическая нагрузка (ранее выполненный расчет).
 - b. Динамическое нагружение – копровое испытание (ранее выполненный расчет).
 - c. Динамическое нагружение – столкновение двух вагонов.
 3. Сделать сравнение и описание двух видов испытаний – копровое испытание и столкновение вагонов.
- Пожалуйста, если есть возможность – скачай не видео на свои компьютеры, так как из за большого размера этих файлов, я не могу их долго хранить на сервере.

**Численное моделирование работы энергопоглощающего аппарата
из пяти элементов при столкновении двух вагонов.**



Геометрия – сектор 5 градусов.

Нумерация элементов:

- 1-ый – внизу – на него воздействует сжимающая/монтажная нагрузка и по нему производится удар/столкновение.
- 5-ый - вверх – именно на него падает груз.

Вертикальный шток, «корпус» – ударяемый вагон, имеющий нулевую начальную скорость», нижняя сжимающая пластина (вагон - которому задается начальная скорость для удара) считаются абсолютно жесткими – недеформируемыми.

Массы двух «вагонов» одинаковы - 12 500 кг, но поскольку их объемы разные, задается разная плотность.

- Такая «небольшая» масса вагонов была задана , что бы иметь возможность сравнивать полученные результаты по данному расчету, с результатами расчетов по задаче о копровом испытании – где масса падающего груза была 12 500 кг.

Нагрузка/решение, состоят из двух частей – «статической» и «динамической»:

«статическая» - задается перемещение вверх (168 мм за 10 секунд) - на нижнюю сжимающую пластину (указана **желтой стрелкой**) – это этап монтаж.

Далее на нижнюю сжимающую пластину задается небольшое перемещение вниз (5 мм за 5 секунд), так что бы эта пластина оказалась внутри полости «корпуса», отмеченной **эллипсом синего цвета**.

В начале перемещения вниз нижней сжимающей пластины, активируется контакт между поверхностью корпуса (второго вагона) (отмечена **красной стрелкой**) и нижней поверхностью, нижней опорной пластиной для 1-го элемента (отмечена **зеленой стрелкой**) , что бы сжатые элементы оставались в сжатом виде в «корпусе».

В конце перемещения вниз нижней сжимающей пластины, активируется контакт между поверхностью полости корпуса (второго вагона) (отмечена **малиновой стрелкой**) и нижней поверхностью сжимающей пластины (отмечена **желтой стрелкой**) , что бы имитировать «люфт» автосцепки - величиной 40 мм.

Т.е. 1-ый «вагон» будет иметь ограничения продольного движения с помощью двух контактов:

1-ый контакт между 1-ым вагоном и аппаратом.

2-ой контакт – между 1-ым вагоном и нижней поверхностью полости, отмеченной **эллипсом синего цвета**.

«динамическая/удар/столкновение вагонов»– задается в виде вертикальной начальной скорости 2594 мм в секунду на нижнюю сжимающую пластину (вагон).

Т.е. решается задача о столкновении двух абсолютно жестких тел, между которыми помещен энергопоглощающий аппарат имеющий вязкие свойства и имеется возможность учета люфта автосцепки.

Т.е. оба вагона имеют возможность продольного движения после начала удара, с учетом влияния на их движения аппарата и люфта.

Эта модель наиболее приближена к реальным условиям эксплуатации, и позволяет «собирать» более сложные модели – на пример:

1. удар вагона по 2-3-4 вагонам
2. учет движения вагона по «неровному» пути
3. учет взаимодействия вагона с грунтовым основанием через верхнее строение пути и так далее...
4. можно изучать результаты многократного воздействия на пластины аппарата – каждый раз будут добавляться пластические деформации ...
5. Результаты расчетов (скорости, ускорения движения вагонов, напряжения, деформации, скорости деформации) – можно и нужно использовать для конструкторов – ведь они сейчас берут эту информацию из ГОСТов – где вообще-то чушь полная написана.

Например – использовать эти результаты для расчетов подвагонных платформ с оборудованием ... , или для любой части вагона.

и так далее...

6. Результаты расчетов (скорости, ускорения движения вагонов, напряжения, деформации, скорости деформации) – можно и нужно использовать для экспериментальных работ с отдельными узлами вагонов и с вагонами полностью.
7. Результаты расчетов (скорости, ускорения движения вагонов, напряжения, деформации, скорости деформации) – можно и нужно использовать для экспериментальных работ с материалами, из которых изготавливают детали – в первую очередь полимеров, резин, композитов - имеющих вязкие свойства.
8. Результаты расчетов (скорости, ускорения движения вагонов, напряжения, деформации, скорости деформации) – можно и нужно использовать для разработки новых материалов, из которых изготавливают детали – в первую очередь полимеров, резин, композитов - имеющих вязкие свойства.

Эта информация является «целевой» - т.е. из анализа полученных результатов расчетов, можно выяснить какие параметры материала и в каких условиях нагружения являются удовлетворительными.

Т.е. химики/технологи могут понять – к каким параметрам нужно стремиться.

Граничные условия

На боковых поверхностях всех деталей сборки аппарата, задано запрещение перемещений в радиальном направлении.

На «корпус» (ударяемый вагон) - наложено временное ограничение на продольное перемещение, до момента начала удара – до момента начала приложения начальной скорости к первому вагону.

На нижнюю сжимающую пластину (первый вагон, который ударяет второй вагон - указана **желтой стрелкой**) - задается перемещение вверх (168 мм за 10 секунд), это этап монтаж - сжатие.

Далее на нижнюю сжимающую пластину задается небольшое перемещение вниз (5 мм за 5 секунд) – этап «разгрузки», так что бы элементы оставались сжатыми внутри корпуса аппарат, а нижняя сжимающая пластина оказалась внутри нижней полости «корпуса», отмеченной **эллипсом синего цвета**.

Контакты

Действуют «постоянные» контакты между :

- Элементами и верхними/нижними опорными пластинами.
- «односторонние» контакты на внутренних поверхностях всех элементов – области «схлопывания»
- Элементами и штоком.
- Опорными пластинами и штоком.

В начале перемещения вниз нижней сжимающей пластины (этап «разгрузки»), активируется контакт между поверхностью корпуса (второго вагона) (отмечена **красной стрелкой**) и нижней поверхностью, нижней опорной пластиной для 1-го элемента (отмечена **зеленой стрелкой**) , что бы сжатые элементы оставались в сжатом виде в «корпусе».

В конце перемещения вниз нижней сжимающей пластины, активируется контакт между поверхностью полости корпуса (второго вагона) (отмечена **малиновой стрелкой**) и нижней поверхностью сжимающей пластины (отмечена **желтой стрелкой**) , что бы имитировать «люфт» автосцепки - величиной 40 мм.

Т.е. 1-ый «вагон» будет иметь ограничения продольного движения с помощью двух контактов:

1-ый контакт между 1-ым вагоном и аппаратом.

2-ой контакт – между 1-ым вагоном и нижней поверхностью полости, отмеченной **эллипсом синего цвета**.

Используемые материалы.

Материал опорных пластин – имеет возможность пластического изотропного упрочнения.

Энергопоглощающие элементы – гиперупругий материал, имеющий вязкие свойства – более подробно см. **приложение А.**

Шток, сжимающая пластина (первый вагон – «ударник»), «мишень» (второй вагон) – жесткие недеформируемые тела.

Трение – задан «динамический» закон сухого трения – более подробно см. **приложение Б.**

- Считаем, что тепло – выделяемое в процессе деформации незначительно и влиянием изменения температуры по объему элементов на изменение свойств материала пренебрегаем.
- Считаем, что тепло – выделяемое в процессе трения между деталями незначительным и влиянием изменения температуры на поверхностях контактирующих элементов пренебрегаем.
- В будущем, возможно будет учитывать нестационарные температурные поля, влияющие как на свойства материалов, так и на трение/износ.

Термины:

«Ударник» - 1-ый вагон – которому задается начальная скорость, и он ударяет 2-ой вагон.

«Мишень» - 2-ой вагон, который ударяет 1-ый вагон.

Результаты расчетов

Весьма полезно для правильного восприятия ниже написанного, внимательно просмотреть предлагаемые видео.

Деформация/перемещение аппарата:

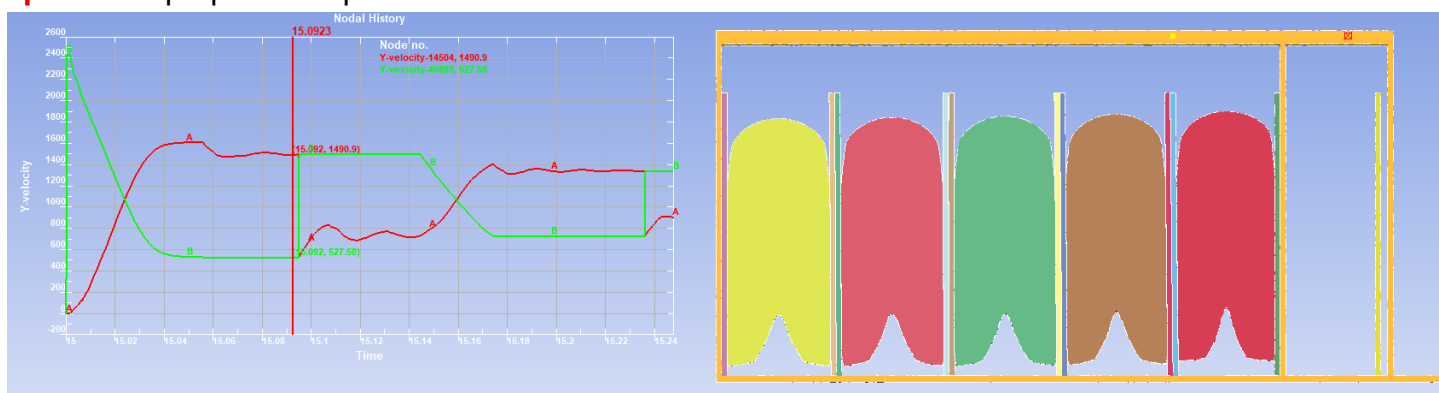
<https://drive.google.com/file/d/15FjHkvMEOnrTSnEgJH9D2OtgJhUcAxM2/view?usp=sharing>

Ниже приведена ссылка на видео, где совмещены деформация/перемещение деталей аппарата и графики скоростей – это существенно упрощает анализ и понимание происходящих процессов.

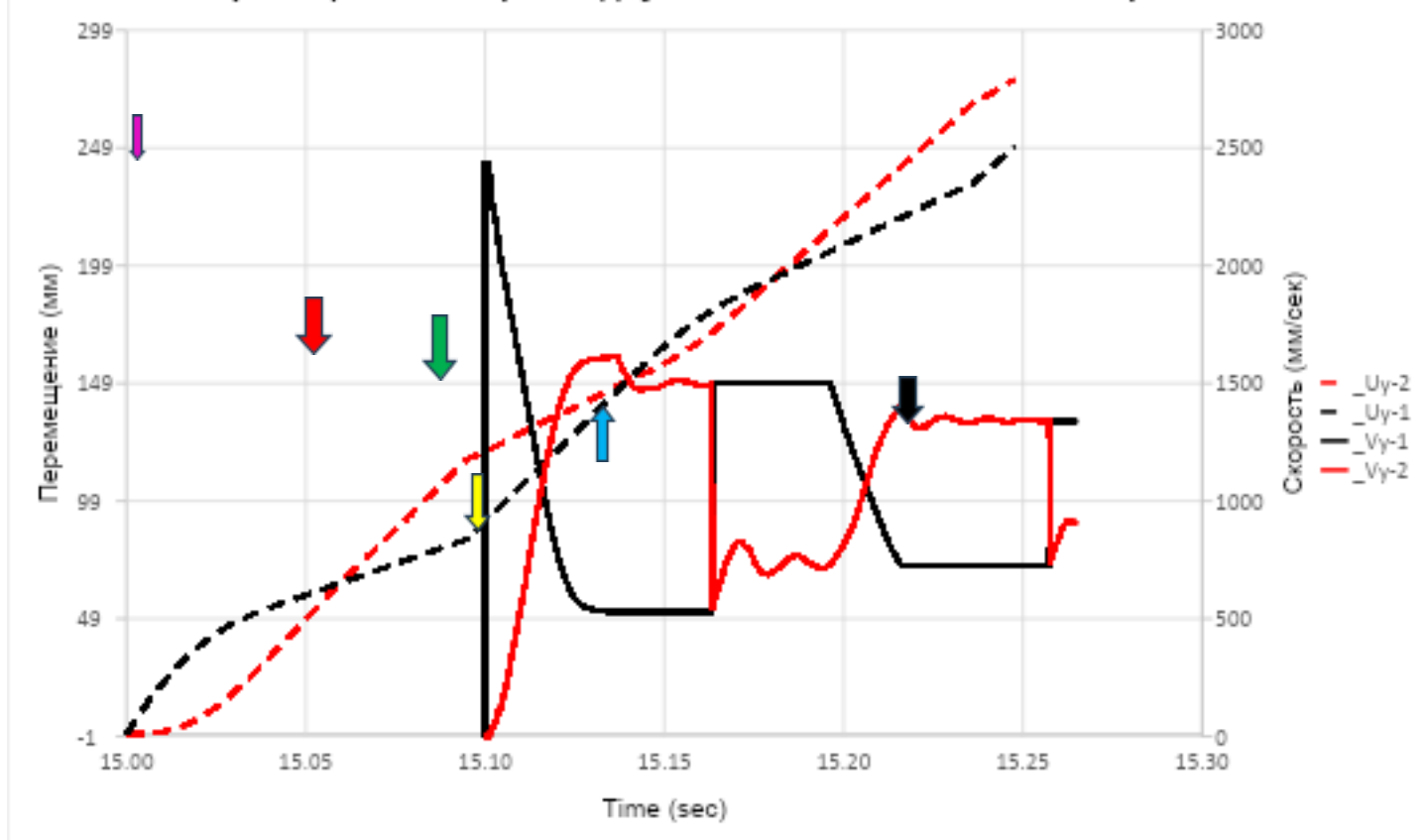
<https://drive.google.com/file/d/1WfguBILgUh71eDFTUzahiEZ4pE4oSW84/view?usp=sharing>

Зеленый график – скорость «ударника» - 1-го вагона

Красный график – скорость «мишени» - 2-го вагона



Перемещение и скорости двух вагонов в зависимости от времени.



_Uy-1.txt, _Uy-2.txt, _Vy-1.txt, _Vy-2.txt

Малиновой стрелкой указан диапазон времени, во время которого «Ударник» движется в сторону «мишени», но контакт/удар еще не начался.

Сплошные линии – скорости вагонов, вертикальная ось для скоростей – справа.

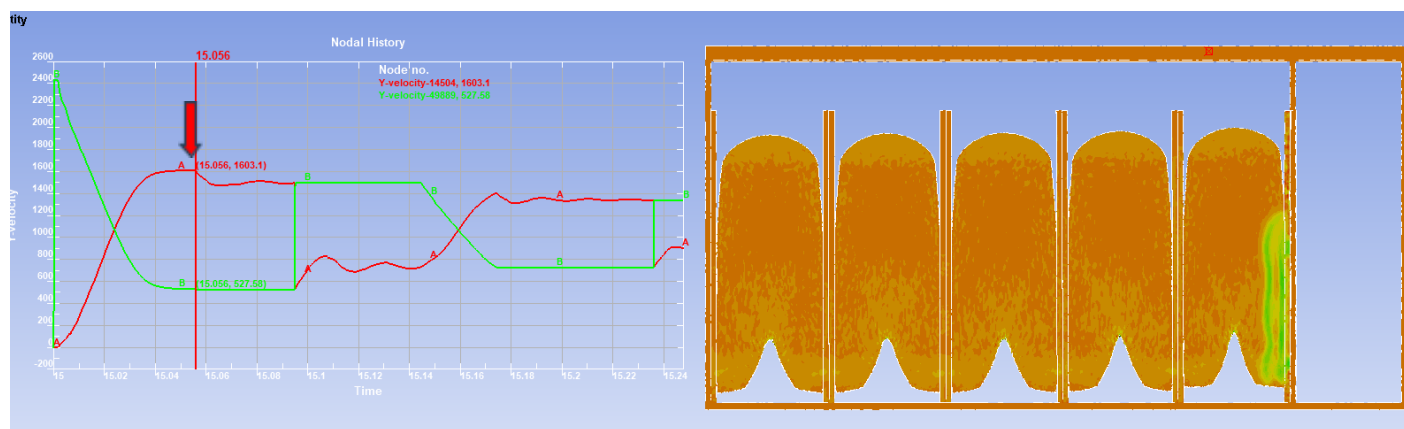
Пунктирные линии – абсолютные перемещения вагонов, вертикальная ось для перемещений – слева.

Красной стрелкой отмечен момент окончания контакта между «ударником» и «мишенью», так как «ударник» начал «отставать» от «мишени» и элементы аппарат начали контактировать с нижней частью полости корпуса аппарата, куда они были «помещены» путем поджатия на начальном этапе нагружения (монтажа).

В диапазоне времени отмеченным двумя стрелками – **красная** и **зеленая**, скорость «мишени» (**Vy-2 – сплошная красная линия**) имеет «переменный» (синусоидальный характер), за счет волн сжатия/разгрузки продолжающих двигаться внутри элементов/аппарата и за счет поступательного (вдоль штока) и пространственного движения (деформации) элементов внутри аппарата.

Кроме того, часть скорости (энергии) «мишени» поглощается в контактах между элементами аппарата, за счет динамической модели вязкого трения.

На графике скорости «ударника» хорошо видно, что после окончания контакта со «мишенью» - время отмечено **красной стрелкой**, скорость остается постоянной, поскольку «ударник» представлен как «жесткое – недеформируемое тело» – т.е. нет никаких механизма поглощения (диссипации) его энергии.

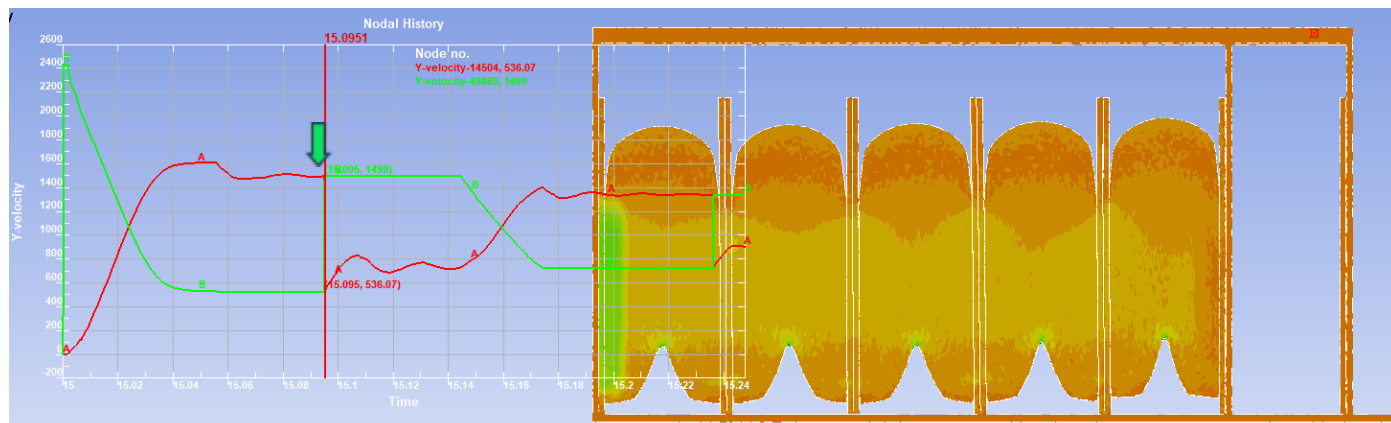


На рисунке момент «отставания» «ударника» (**зеленый график**– 527 мм в секунду) от «мишени» (**красный график** – 1603 мм в секунду) – т.е. контакт между «ударником» и «мишенью» прекращается.

«Мишень» перестала контактировать с «ударником», который начал «отставать» - его скорость стала меньше, чем у «мишени» - в результате чего «ударник», должен будет отставая - ударить по нижней поверхности полости второго вагона имитирующего люфт и начать двигаться сонаправлено движению «мишени», но с несколько большей скоростью чем у «мишени».

На правом торце крайнего правого элемента – начало образования волны сжатия, причиной этого является столкновение элементов с внутренней поверхностью аппарата, вместо контакта с «ударником» + силы инерции, так как при разгрузке элементы двигались с большей скоростью, чем «мишень».

Зеленой стрелкой (предыдущий рисунок) - отмечен момент начала вторичного контакта между «ударником» и «мишенью», так как «ударник» «догнал» «мишень» – «отразившись» от правой внутренней стенки полости, имитирующей люфт аппарат.



На левом торце крайнего элемента слева, образование волны сжатия из за столкновения «ударника» с «мишенью», в результате чего скорость «мишени» резко уменьшилась, а элементы сохранили прежнюю (более высокую чем «мишень») скорости и появилось дополнительное давление в контакте между крайним левым элементом и внутренней поверхностью левого торца аппарата.

Скорость «ударника» после контакта – 1499 мм/сек.

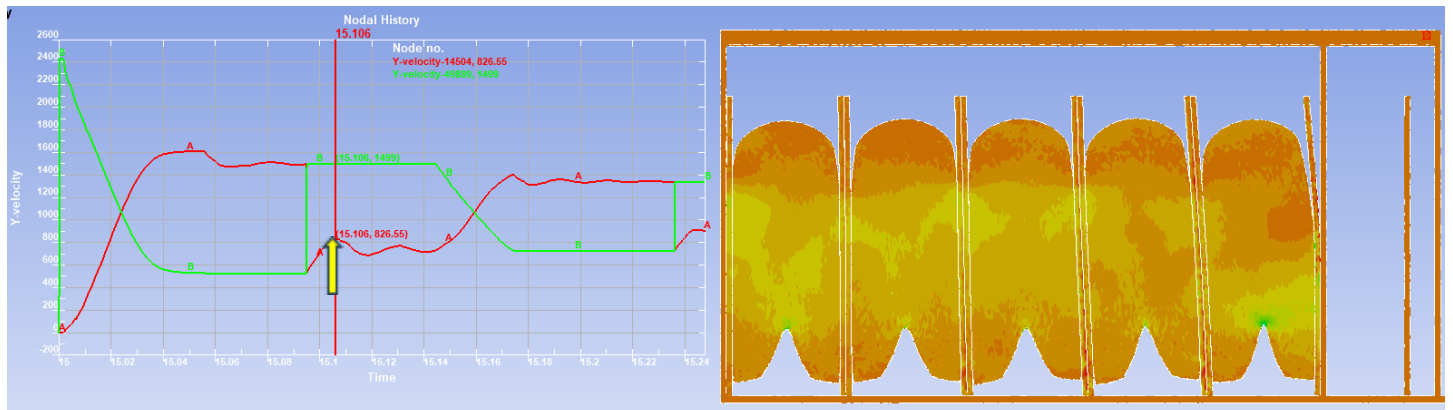
Скорость «мишени» после контакта – 536 мм/сек.

Графики скоростей «ударника» и «мишени» (сплошные линии – Vy-1 Vy-2) имеют особенность - разрыв второго рода.

Графики перемещений «ударника» и «мишени» (пунктирные линии – Uy-1 Uy-2) так же «фиксируют» этот момент времени – виден «излом» - особенность/разрыв первого рода – резкое изменение первых производных этих графиков.

Желтой стрелкой отмечен момент одного из максимумов скорости «мишени».

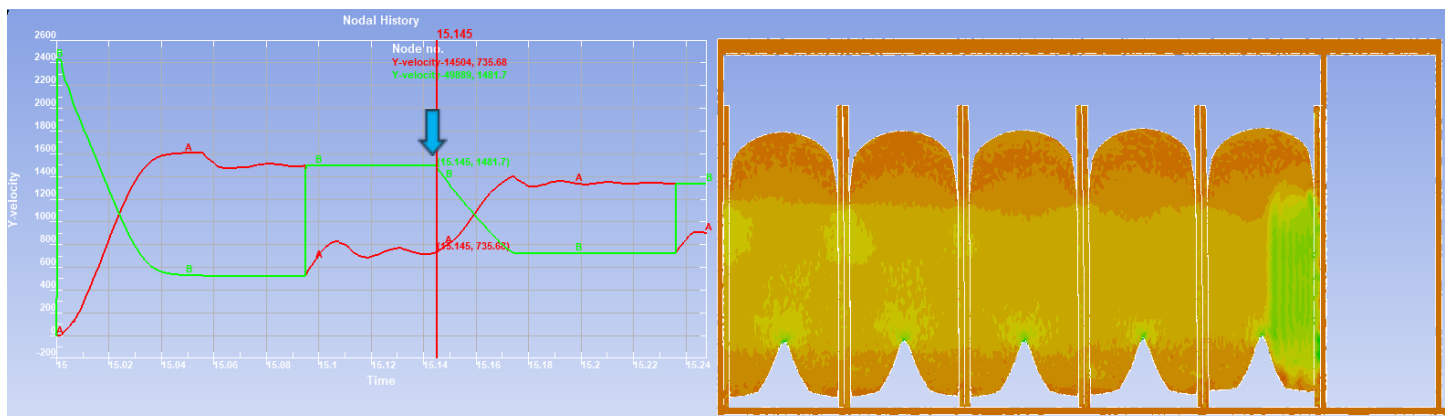
Причиной этого является синфазное колебание элементов внутри аппарата и продолжающаяся дифракция волн сжатия/разгрузки.



На рисунке показано «групповое» движение всех элементов «влево», так как эти элементы имеют скорость большую чем «мишень» в этот момент времени и «добавляют» ей дополнительную энергию/скорость.

Синей стрелкой указан момент времени начала контакта «ударника» и элементов.

«Ударник» двигался сонаправленно с «мишенью» с больше скоростью.



«Ударник» передает часть своей энергии через его контакт с элементами на «мишень».

Скорость «ударника» уменьшается почти по линейному закону и после окончания контакта с элементами, «ударник» начинает отставать от «мишени» так как его скорость становится меньше чем у «мишени».

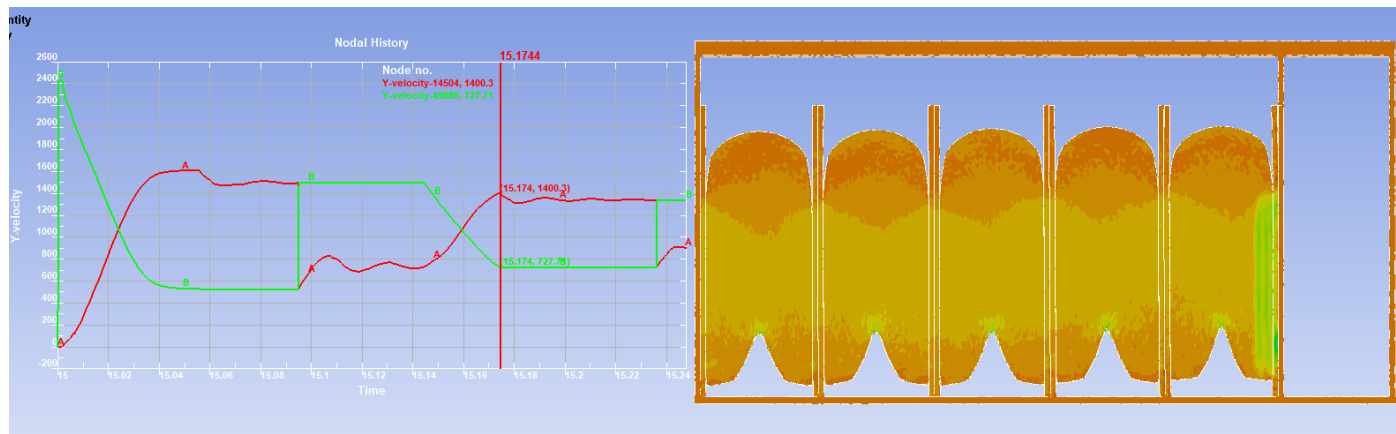
Скорость «мишени» возрастает и амплитуда получает изменения по гармоническому закону.

Так как массы «ударника» и «мишени» одинаковы – уменьшение скорости «ударника» и увеличение скорости «мишени» происходят примерно на одинаковые величины.

Амплитуда гармонического колебания скорости «мишени» уменьшается достаточно быстро, причины этого - вязкие свойства материалов элементов и поглощение энергии за счет сил трения между контактирующими поверхностями.

Частота гармонических колебаний остается почти постоянной.

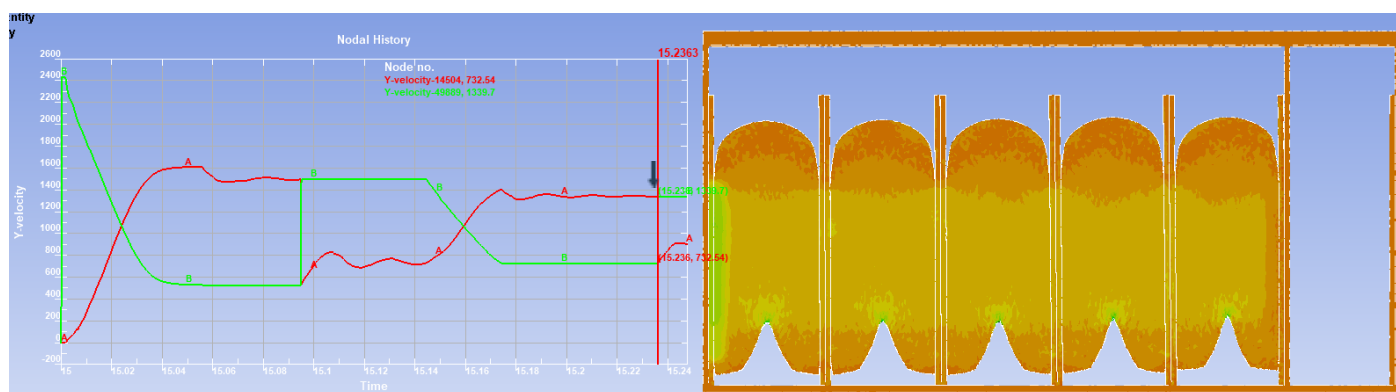
Во временном диапазоне полученного решения, и частоты изменения скорости «мишени» изменяются незначительно.



Момент времени, когда контакт между «ударником» и элементами прекращается.

Скорость «ударника» после контакта – 728 мм/сек.

Скорость «мишени» после контакта – 1400 мм/сек.



Момент времени, когда контакт между «ударником» и «мишенью» появляется.

До этого контакт, «ударник» двигался сонаправлено с «мишенью», но скорость ударника была меньше чем скорость «мишени».

Скорость «ударника» после контакта – 1339 мм/сек.

Скорость «мишени» после контакта – 732 мм/сек.

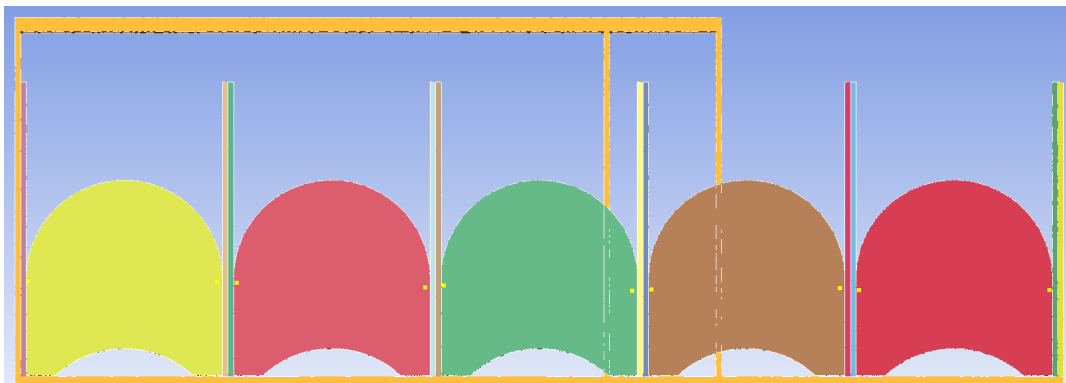
На левом торце крайнего элемента слева, образование волны сжатия из за столкновения «ударника» с «мишенью», в результате чего скорость «мишени» резко уменьшилась, а элементы сохранили прежнюю (более высокую чем «мишень») скорости и появилось дополнительное давление в контакте между крайним левым элементом и внутренней поверхностью левого торца аппарата.

Графики скоростей «ударника» и «мишени» (сплошные линии – Vy-1 Vy-2) имеют особенность - разрыв второго рода.

Графики перемещений «ударника» и «мишени» (пунктирные линии – Uy-1 Uy-2) так же «фиксируют» этот момент времени – виден «излом» - особенность/разрыв первого рода – резкое изменение первых производных этих графиков.

Далее, взаимодействие «ударника» и «мишени» будет происходить аналогично, но скорости «ударника» и «мишени» будут постепенно уменьшаться – что является одним из критериев энергопоглощения всей схемы: «ударник» + аппарат + «мишень»

Продольная скорость 10 «контрольных» точек элементов аппарата



На рисунке отмечены желтым цветом 10 точек, по две точки на каждом элементе для которых далее будут построены графики.

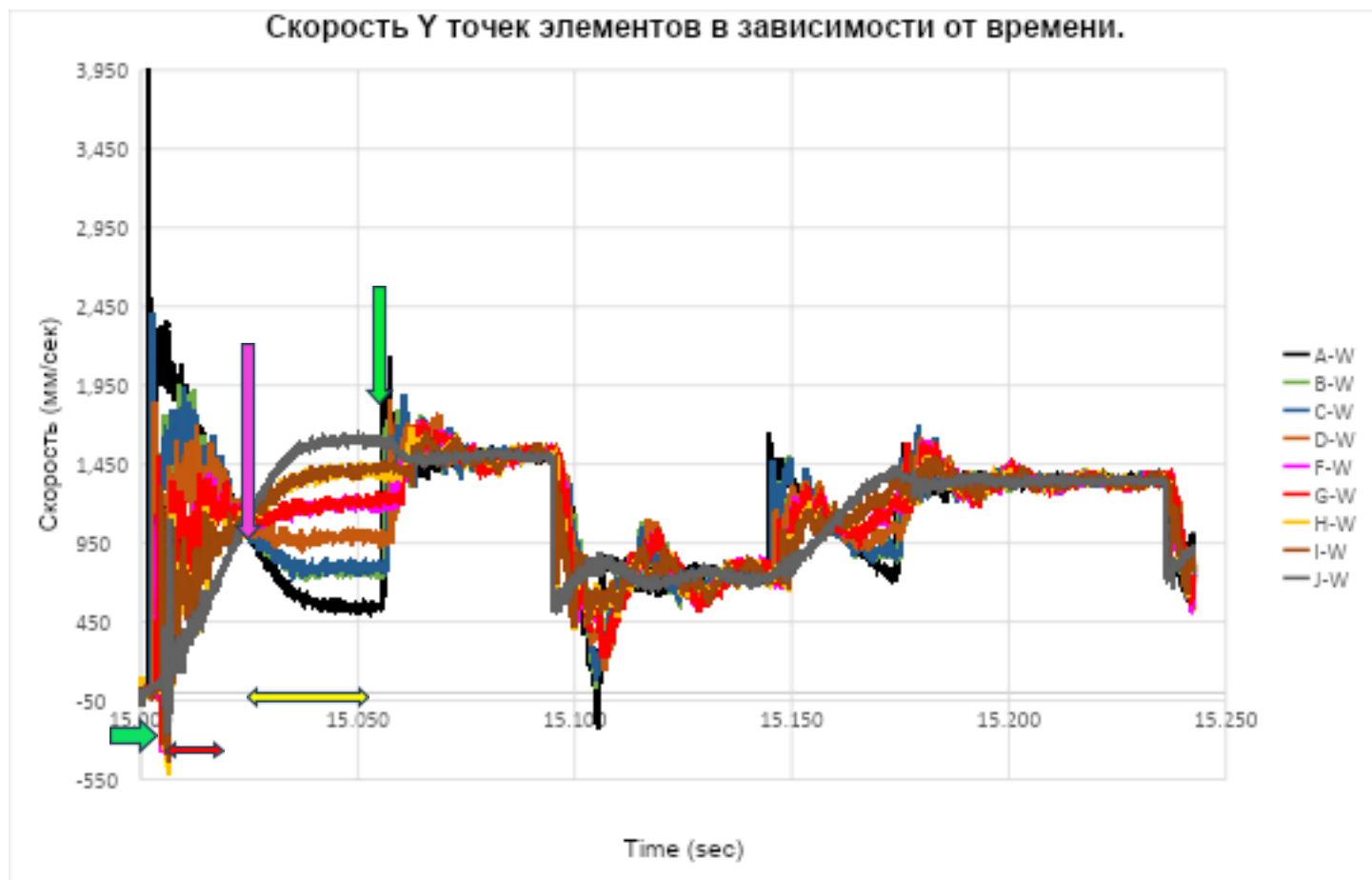
«Нумерация» точек справа на лево:

крайняя точка справа – А,

крайняя точка слева - J

- **_Vy-Nodes.txt**

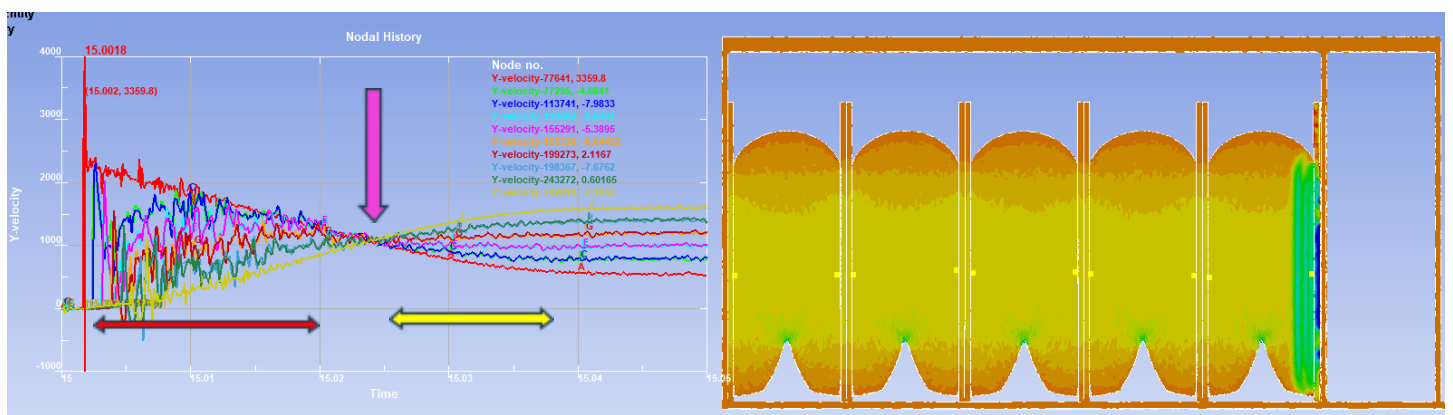
Скорость Y точек элементов в зависимости от времени.



Графики скорости по оси Y- 10 точек, по две на каждый элемент.
(диапазон времени 15-15.25 секунды – начало удара и после)
(расположение точек – см на рисунке выше)

Эти графики подобны графикам перемещений «ударника» и «мишени», которые описаны выше.

Однако графики перемещения «контрольных» точек элементов дают более подробную информацию.



Красная горизонтальная стрелка (внизу) – «диапазон активации/формирования» волнового процесса распространения энергии в элементах.

Малиновая стрелка (сверху) – «момент времени», когда скорости «ударника» и «мишени» сравнялись, с этого момента времени скорость ударника начинает уменьшаться – т.е. «мишень» движется с большей скоростью, а «ударник» начинает «отставать» от мишени – начинается процесс «разгрузки» аппарата.

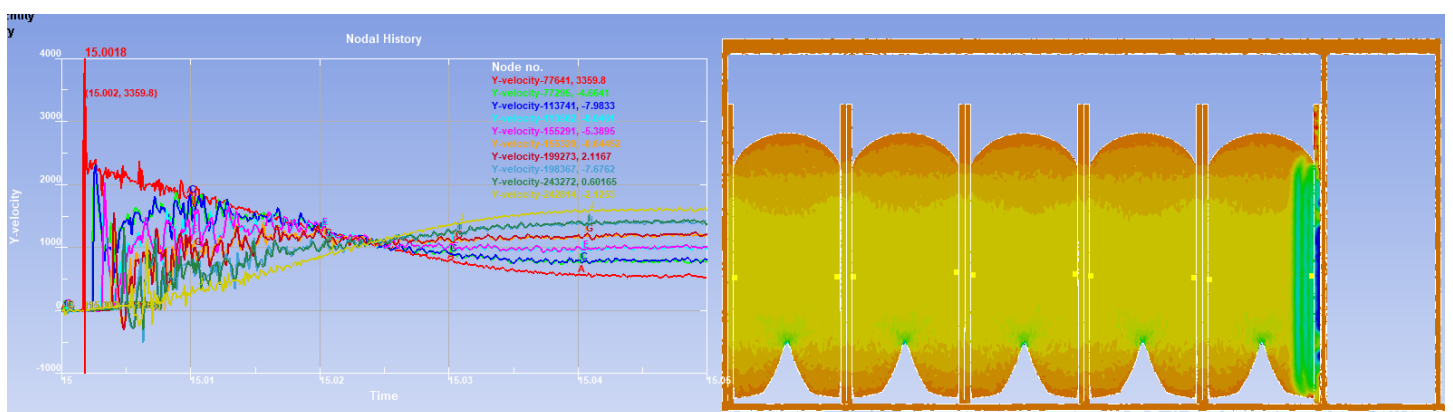
Скорости точек на элементах «меняют» знаки, т.е. скорости точек с большими значениями получают скорости с меньшими значениями и на оборот.

Этот диапазон времени выделен **желтой горизонтальной стрелкой**.

Осцилляции на графиках – это результат дифракции волн сжатия/разгрузки + отражение/преломление волн на «границах» раздела, между элементами и пластинами

Зеленая горизонтальная стрелка (слева) (предыдущий рисунок) – момент начала удара.

«Мишень» перестала контактировать с «ударником», который начал «отставать» - его скорость стала меньше, чем у «мишени» - в результате чего «ударник», должен будет отставая - ударить по нижней поверхности полости второго вагона имитирующего люфт и начать двигаться сонаправлено движению «мишени», но с несколько большей скоростью чем у «мишени».



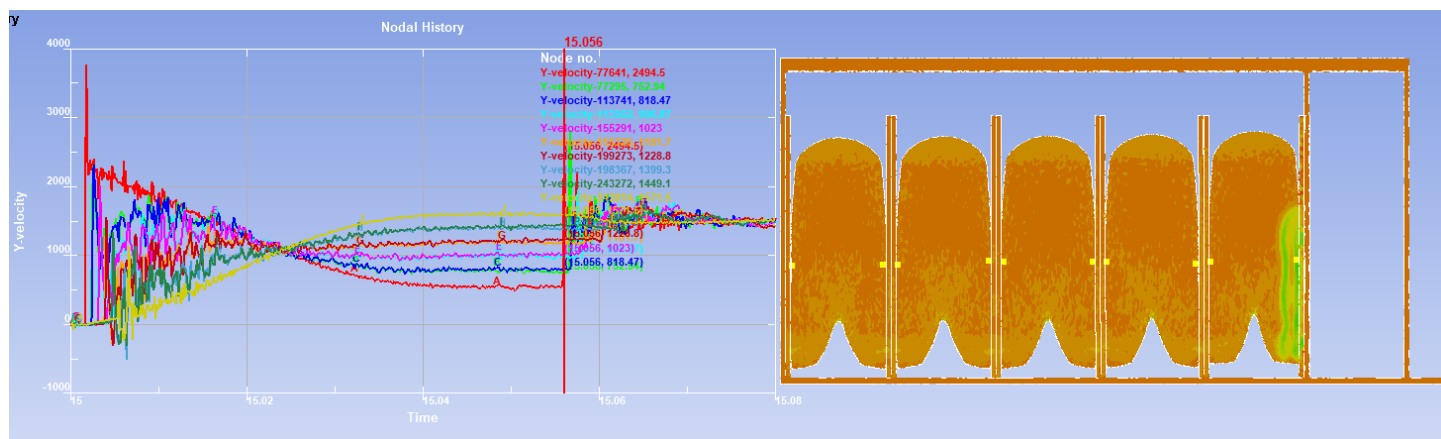
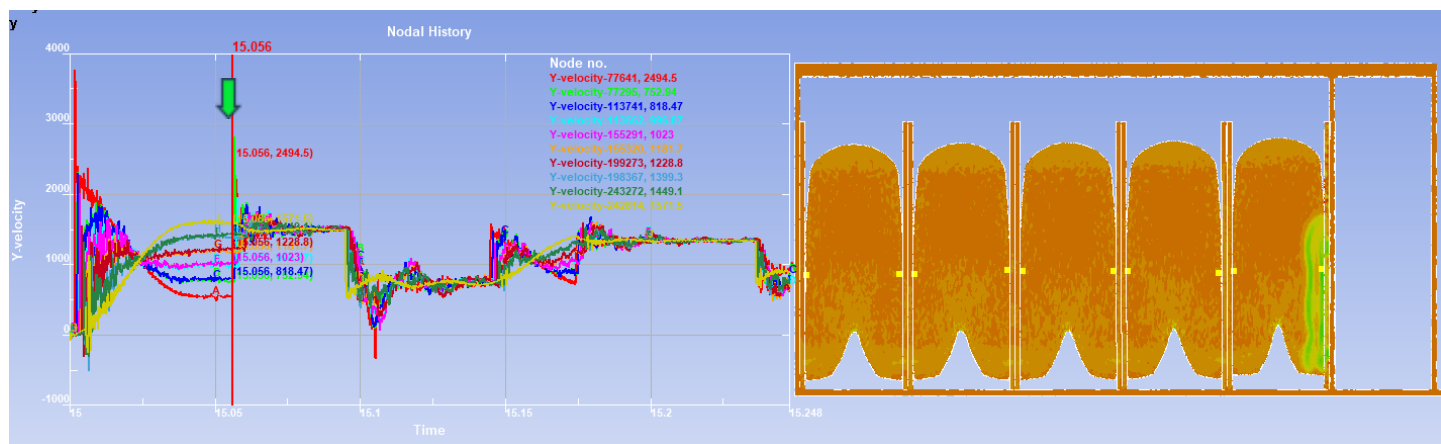
На правом торце крайнего правого элемента – начало образования волны сжатия, причиной этого является столкновение элементов с внутренней поверхностью аппарата, вместо контакта с «ударником» + силы инерции, так как при разгрузке элементы двигались с большей скоростью, чем «мишень».

Ниже приведена ссылка на видео, где совмещены деформация/перемещение деталей аппарата и графики скоростей 10 «контрольных» точек – это существенно упрощает анализ и понимание происходящих процессов.

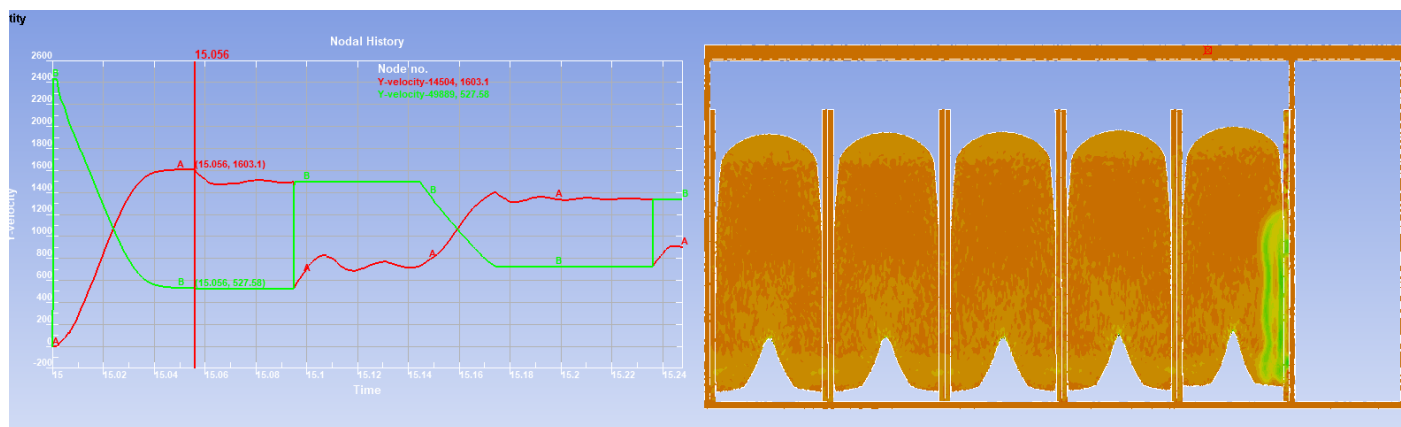
https://drive.google.com/file/d/18TyIkxjCQ_iC4AHQRBo2TIXiOR9FI_s/view?usp=sharing

Зеленая вертикальная стрелка (вверху) (сл.рисунок) – момент отделения «ударника» от «мишени», т.е. прекращается контакт между «ударником» и опорной пластины «нижнего» элемента.

Далее «ударник» будет двигаться внутри «полости» имитирующую люфт автосцепки, пока не столкнется с «нижней» поверхностью «полости» и получив дополнительную скорость/энергию начнет двигаться сонаправленно с «мишенью», скорость которой при столкновении с «ударником» немного уменьшится – см. график скоростей/перемещений «полости» и «мишени» ниже.



Ниже приведен график скорости «мишени», в которой располагаются элементы.

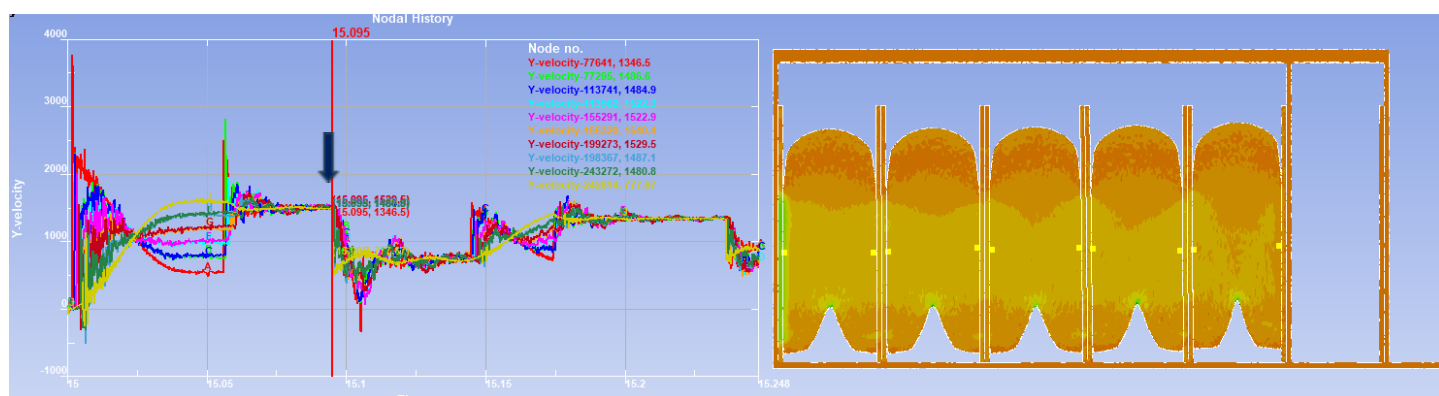


Этот график построен для «мишени», как для абсолютно жесткого – недеформируемого тела.

Из сравнения графиков скоростей контрольных точек и графика скорости «мишени» можно получить много полезной информации.

Для каждого момента времени можно построить график скоростей в контрольных точках – в продольном направлении аппарата.





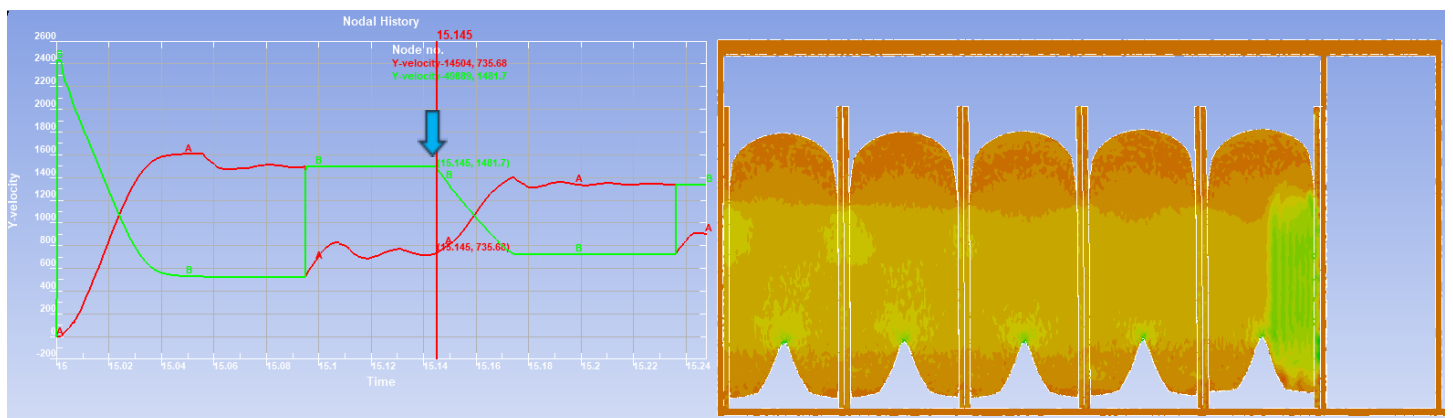
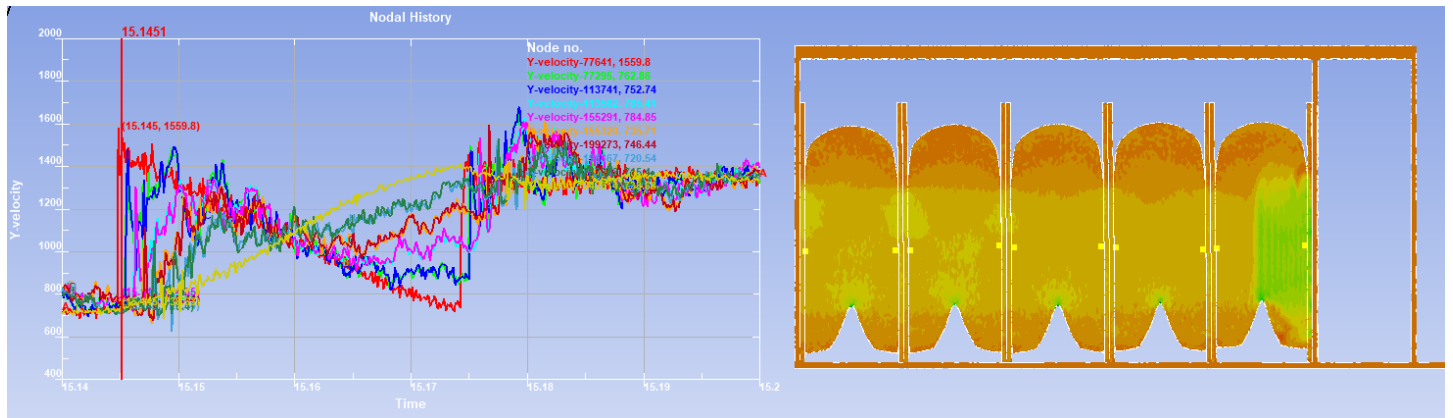
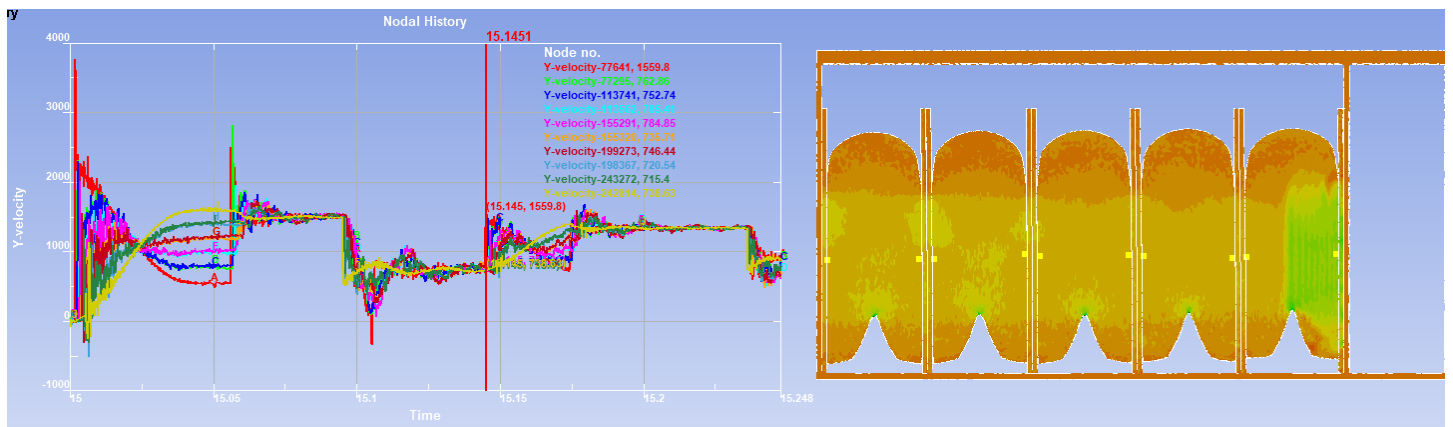
Черной стрелкой (предыдущий рисунок) - отмечен момент начала вторичного контакта между «ударником» и «мишенью», так как «ударник» «догнал» «мишень» – «отразившись» от правой внутренней стенки полости, имитирующей люфт аппарат.

На левом торце крайнего элемента слева, образование волны сжатия из за столкновения «ударника» с «мишенью», в результате чего скорость «мишени» резко уменьшилась, а элементы сохранили прежнюю (более высокую чем «мишень») скорости и появилось дополнительное давление в контакте между крайним левым элементом и внутренней поверхностью левого торца аппарата.

Однако скорости контрольных точек не меняются мгновенно, как это имеет место для скорости «мишени» - поскольку элементы представлены в модели как деформируемые тела, а «мишень» - как абсолютно жесткое тело.

Изучение графиков скоростей контрольных точек полезно для правильного понимания работы элементов аппарата.

Столкновение двух вагонов (1)



Синей стрелкой указан момент времени начала контакта «ударника» и элементов.

«Ударник» двигался сонаправленно с «мишенью» с больше скоростью.

Изменение скоростей контрольных точек изменяется совершенно по иному, чем изменяется скорость «мишени».

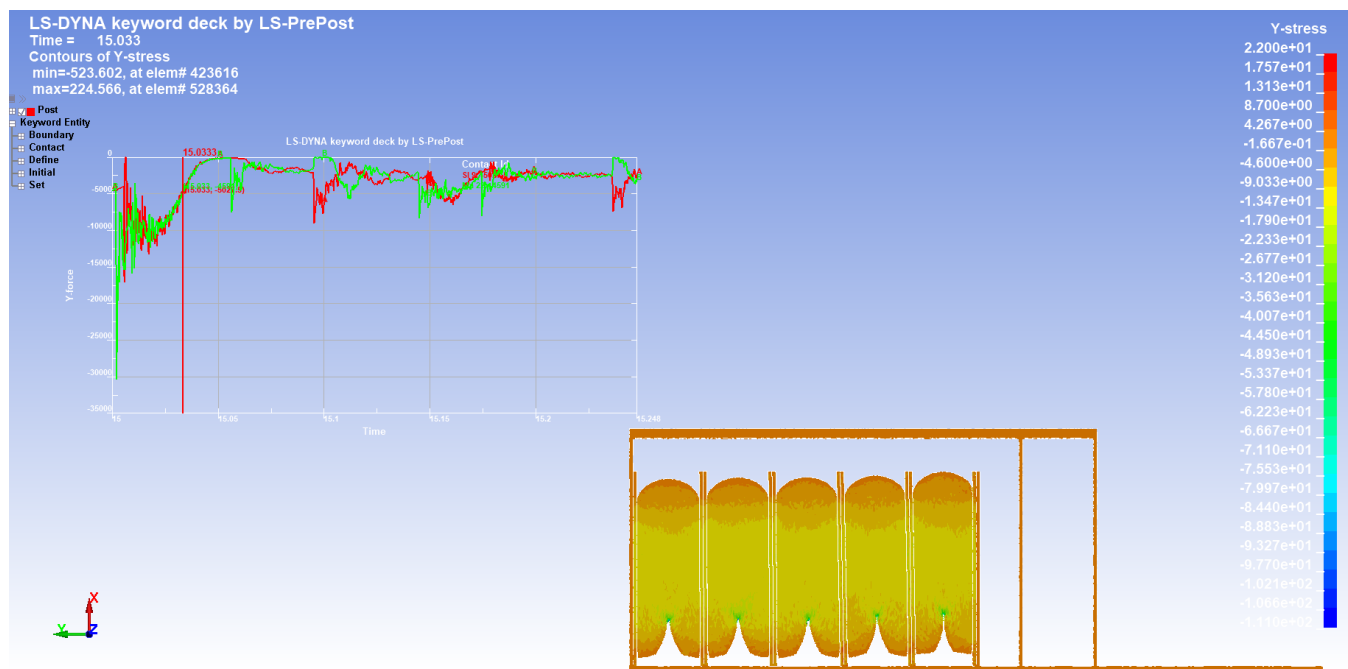
Оба вагона двигаются/контактируют «сложным» образом – см. графики перемещений и скоростей торцов аппарата в продольном направлении (по оси Y) ниже .



Суммарные усилия на торцах аппарата и элементов имеют различные значения, т.е. нет равновесия внешних сил на торцах – а значит, нельзя использовать график «усилие-величина сжатия» для вычисления величины поглощенной энергии в аппарате.

Видео: напряжения по оси Y и синхронные графики суммарных усилий контактов на торцах аппарата.

<https://drive.google.com/file/d/1YXW0FKNE-ax3P-elnyoJSSW5b4YPpWt8/view?usp=sharing>



Поэтому существует не простой вопрос:

Как вычислять энергопоглощение аппарата для реальных условий эксплуатации для реальных условий эксплуатации – для столкновения вагонов?

Можно ли это делать, с помощью графика «усредненная сила сжатия – величина сжатия аппарата» для реальных условий эксплуатации – для столкновения вагонов - вычислять энергопоглощение аппарата?

Ниже приведен график величины «перемещения/сжатия» торцев аппарата от времени – это разница между перемещением двух вагонов.

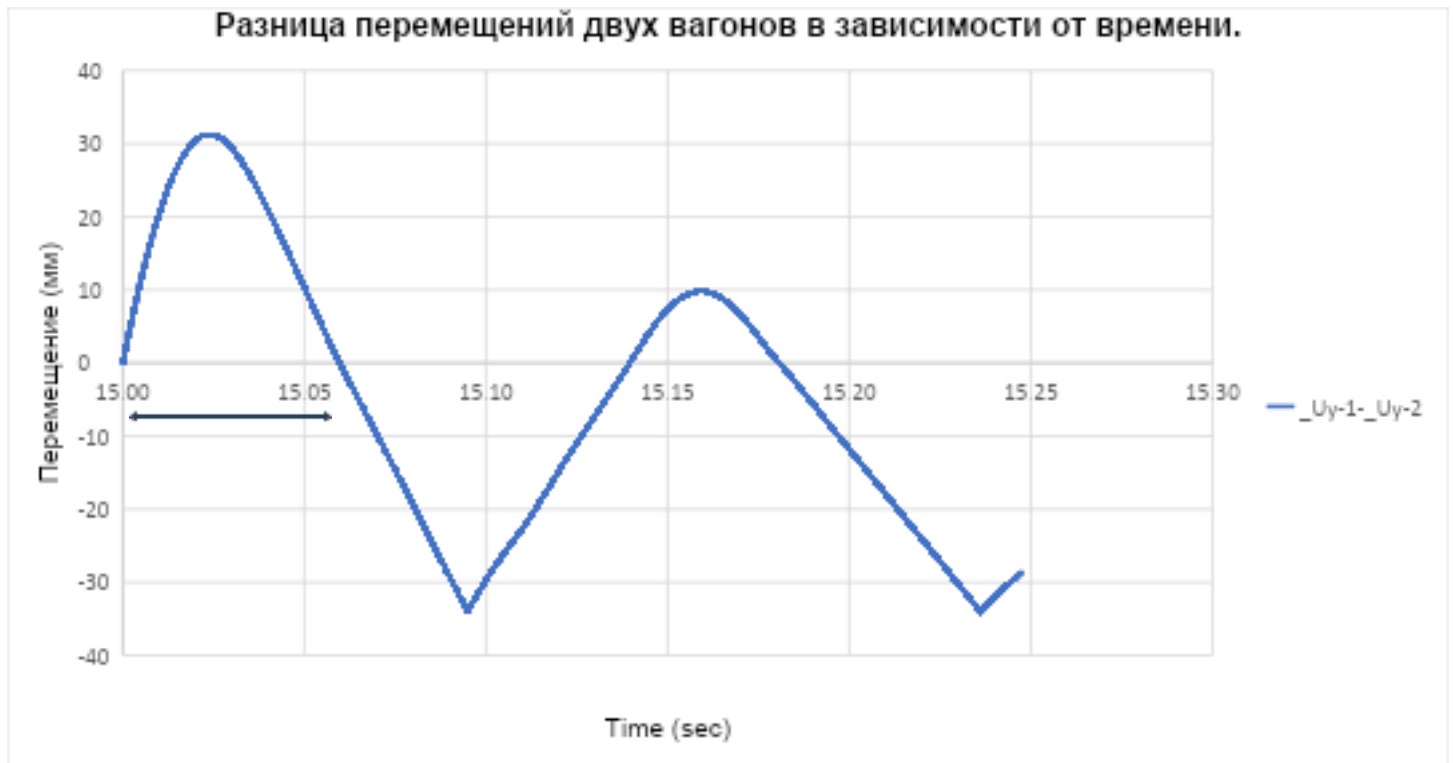


График величины сжатия аппарата от времени.

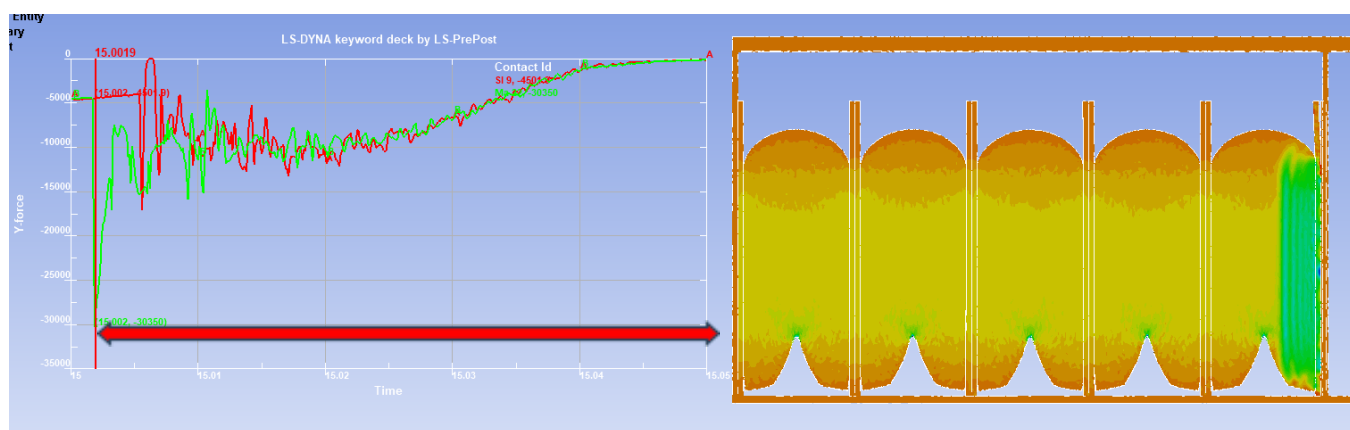
Стрелкой красного цвета - отмечен временной диапазон, на котором происходит ДИНАМИЧЕСКОЕ сжатие аппарата и его разгрузка с момента удара.

Т.е. это аналог первого цикла сжатия при статическом нагружении, но в данном случае – перемещение торцев аппарата происходит по нелинейному закону, который зависит от большого кол-ва параметров: свойства материалов элементов, условий нагружения – начальной скорости «ударника» в момент контакта, массы «ударника» и так далее.

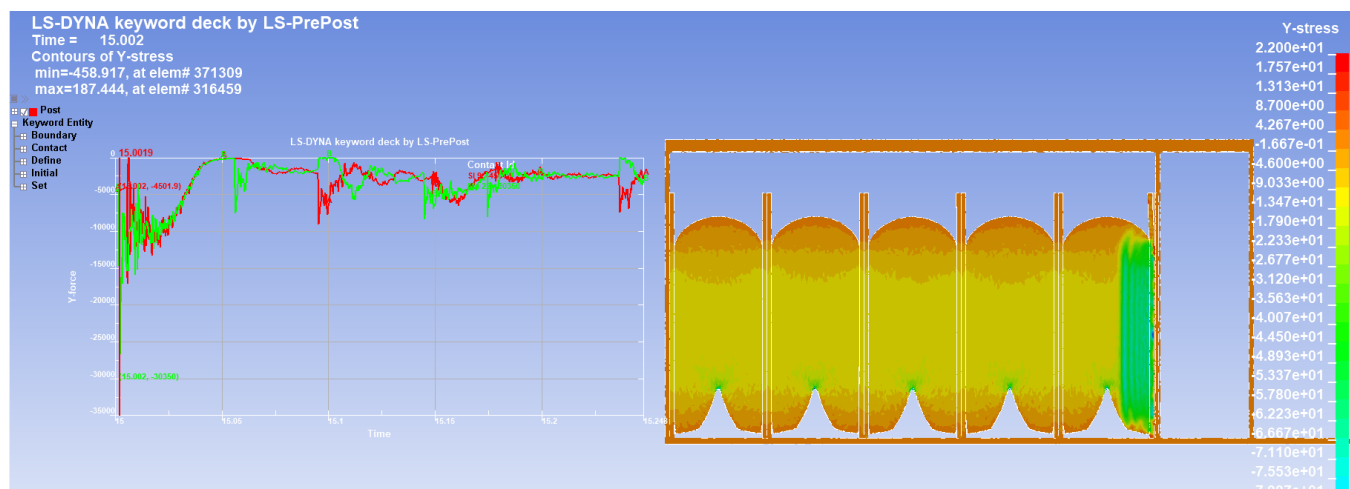
При динамических нагружениях - нельзя рассматривать все элементы аппарата, как единый «супер-элемент» имеющий одну силу сжатия по всем элементам:

Силы сжатия на торцах аппарата и на торцах элементов не одинаковые – см. графики ниже.

Столкновение двух вагонов (1)



Графики на временном диапазоне, где первое ДИНАМИЧЕСКОЕ сжатие/разгрузка аппарата с момента удара.



Видео:

<https://drive.google.com/file/d/1ESsSZAK1VLHMaRRgwJBouyzKz9m3w9xI/view?usp=sharing>

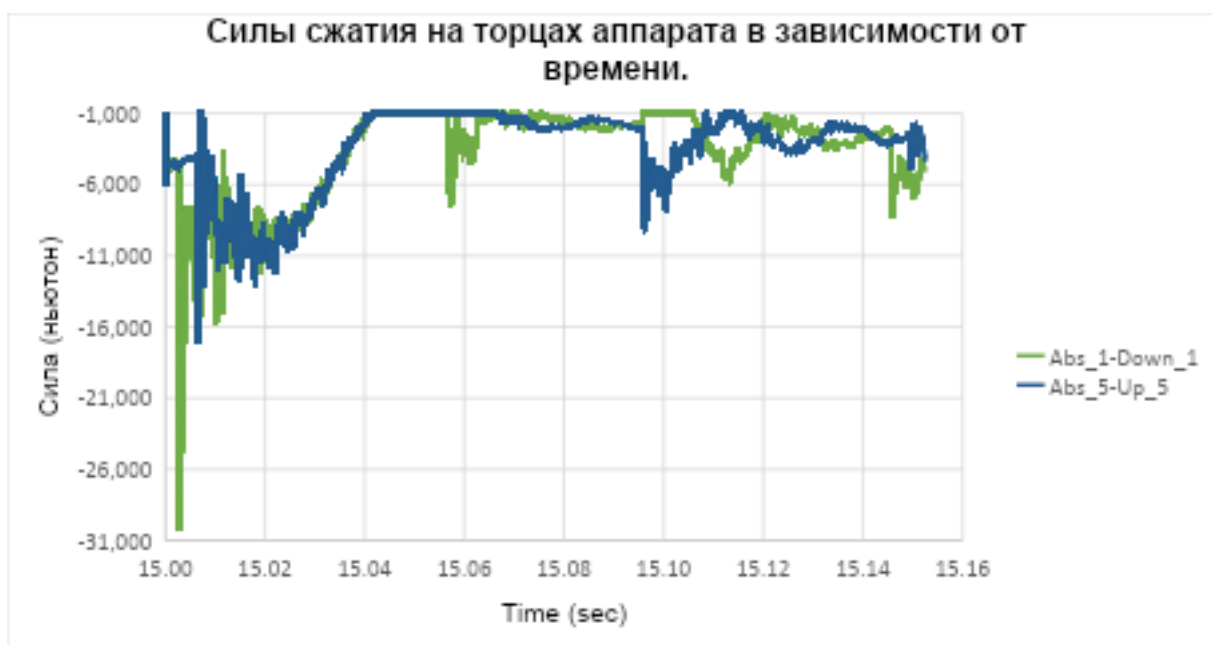


График **зеленого** цвета – суммарная сила на торце по которому производится удар.

График **синего** цвета – суммарная сила на противоположном конце аппарата.

Графики существенно отличаются – качественно и количественно, особенно на начальном этапе удара.



Красной стрелкой отмечен временной промежуток, который показывает время прохождения «первой» волны сжатия от одного торца, к другому торцу – через все элементы и пластины.

Причины неравенства сил на торцах аппарата:

1. Силы инерции элементов/пластин
2. Неравновесное состояние материала элементов – распространение волн сжатия/разгрузки из-за удара.

Т.е. строить график «сила сжатия - величина сжатия» для всего аппарата, и затем по площади гистерезиса вычислять величину поглощенной энергии – «противозаконно».

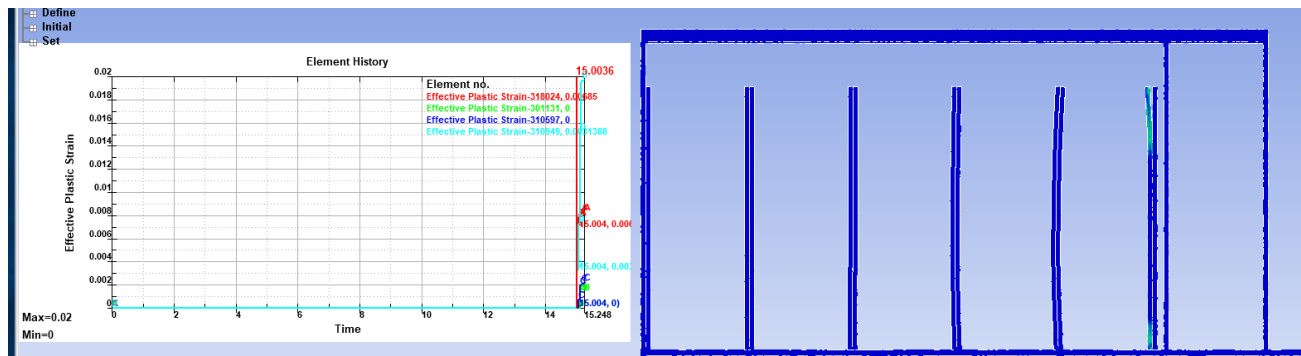
Так же вероятно «противозаконно» строить такие графики поглощенной энергии по «усредненным» силам сжатия и усредненным величинам сжатия каждого элемента, с последующим суммированием поглощенной энергии в каждом элементе.

Нужно учитывать, что после каждого «нагружения» (удара/столкновения вагонов или удара копра) – каждая опорная пластина «получает» дополнительную/очередную порцию пластической деформации.



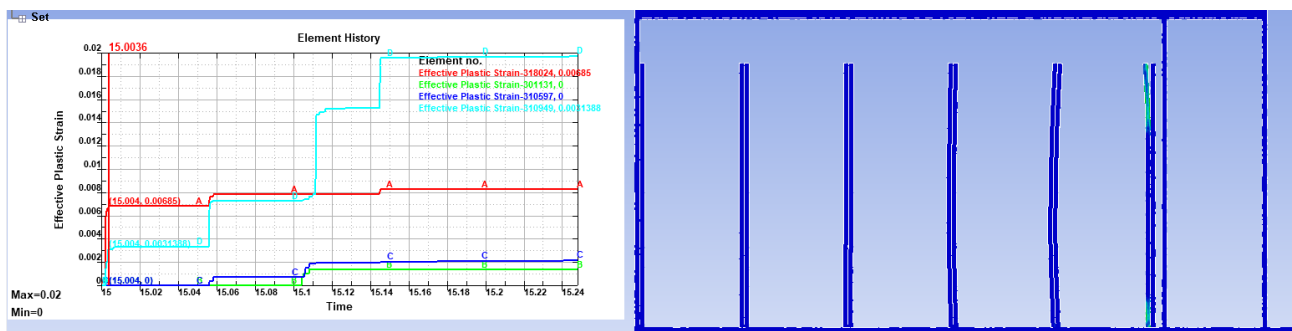
Это нижняя опорная пластина для 1-го элемента, который первым воспринимает удар.

Белыми «треугольниками» отмечены 4 точки, для которых построены точки пластической деформации приведенной по Мизесу.



Весь временной диапазон решения.

На этапе сжатия пластические деформации в опорных пластинах весьма незначительны.



Временной диапазон решения после начала удара.

Из анализа графиков видно, что каждый раз, когда «возобновляется» контакт между деталями аппарата, пластины получают дополнительные пластические деформации.

Т.е. при каждом столкновении вагонов, пластины так же будут получать дополнительные порции пластической деформации.

При чем, пластины (особенно первая и вторая – со стороны «ударника»), получат их значительно больше, чем остальные пластины.

Видео

https://drive.google.com/file/d/1c31H5Y9To-NFMTU8OuSg_3gKqw2OUN7K/view?usp=sharing

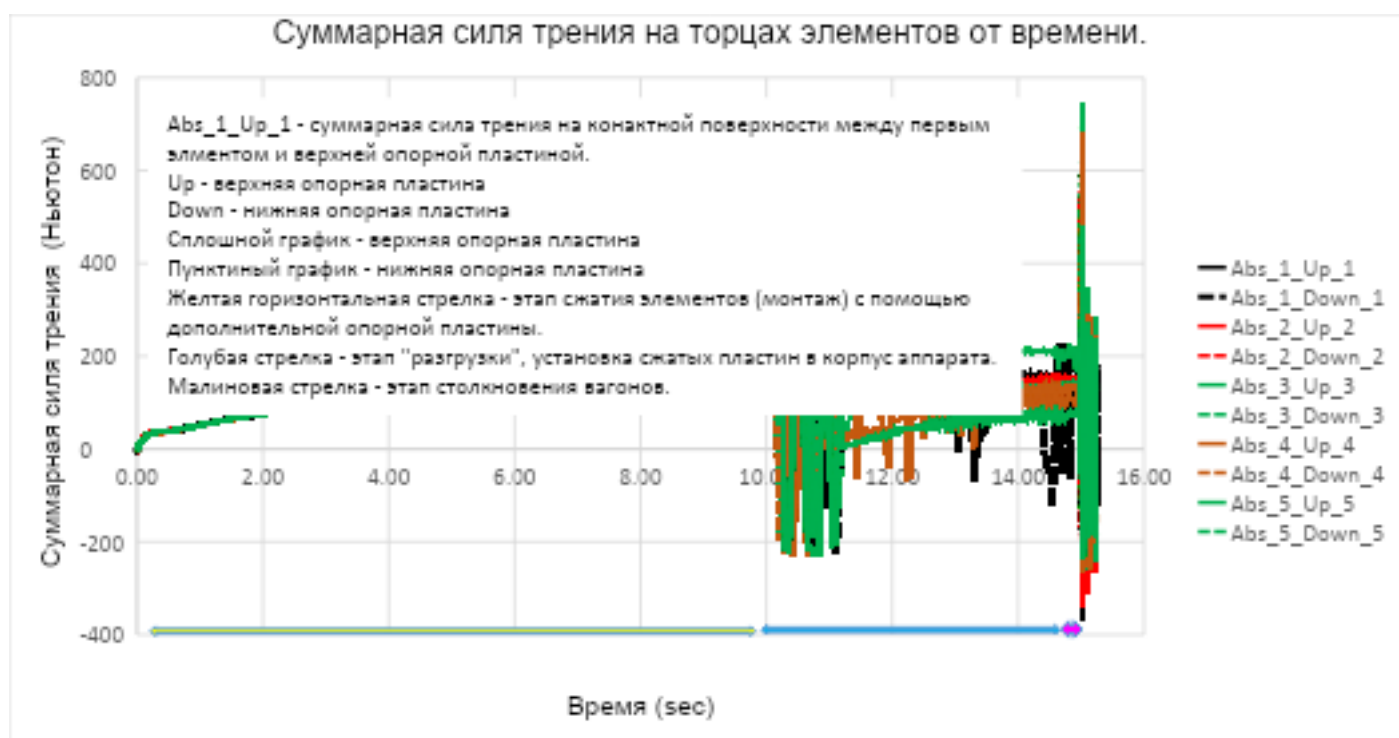
Поскольку контактные пластины между элементами имеют в каждый момент времени различную величину перемещения/деформации – невозможно говорить о единой величине сжатия каждого элемента.

Т.е. величина силы сжатия в радиальном продольных направлениях у любого элемента будет разная, в каждый момент времени.

Различные усилия сжатия на торцах каждого элемента уравниваются инерционными силами движущихся волн, которые вовлекают в движение области материала элемента.

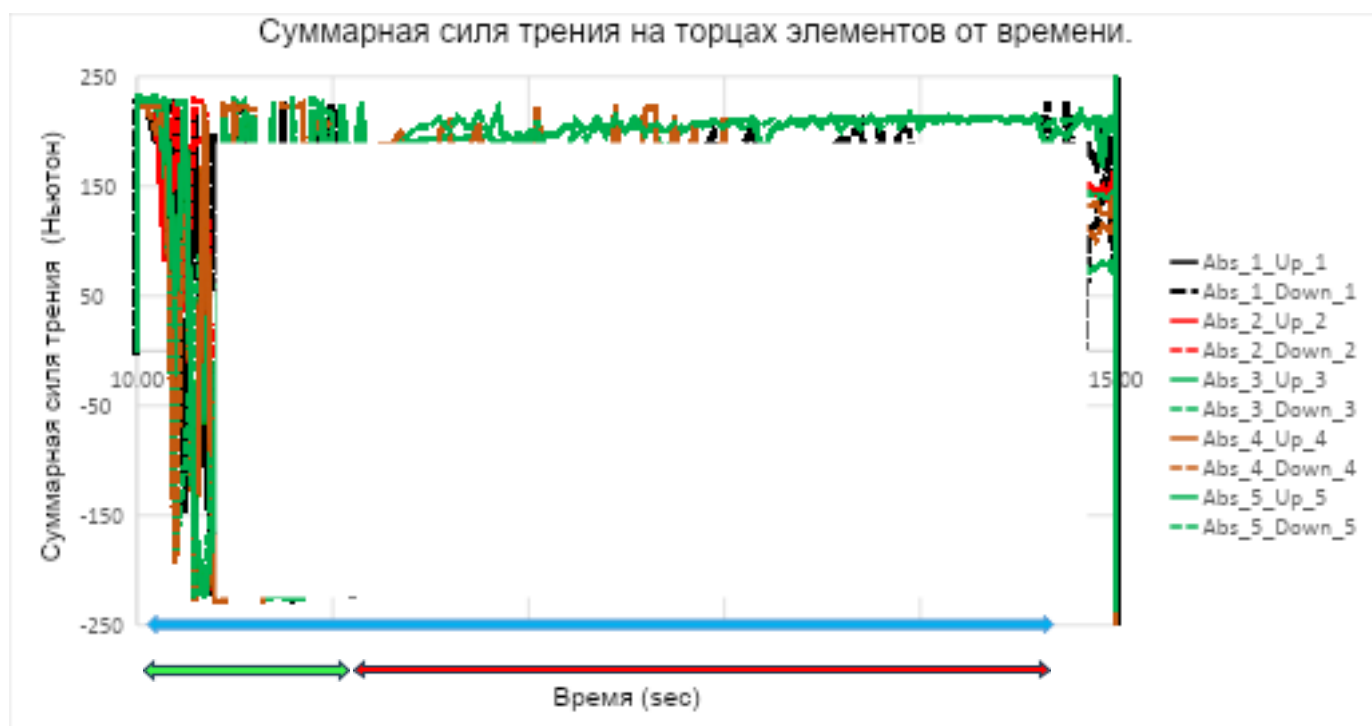
«Переменная/деформированная» геометрия опорных пластин во времени, влияет на силы трения между:

- пластинами и элементами,
- парами пластин, расположенных между элементами.



Графики сил трения на контактах между элементами и опорными пластинами по всему временному участку решения для сектора аппарата 5 градусов.

На этапе сжатия, силы трения монотонно возрастают – временной диапазон отмечен желтой горизонтальной стрелкой.



Временной диапазон этапа «разгрузки».

На этапе «разгрузки», силы трения многократно меняют величину и знак – временной диапазон отмечен синей горизонтальной стрелкой.

Этап «разгрузки» делится на два шага:

1. время «разгрузки», когда элементы двигаются вместе с «ударником» - **зеленая стрелка**.
Частота изменения знака сил трения примерно на порядок больше, чем на следующем шаге.
Величина изменения сил трения примерно в два раза больше, чем на следующем шаге.
Причина этому – на этом шаге, элементы имеют возможность движения вместе с «ударником» в продольном направлении.
Материал элементов имеет возможность пространственной деформации, которая в частности выражается в «галопировании» (неравномерном / скачкообразном перемещении) контактирующих поверхностей элементов по поверхностях опорных пластин, на фоне резкого уменьшения нормального напряжения на поверхностях контакта, так как при деформациях материалов с вязкими свойствами – напряжения опережает деформации, что при разгрузке нужно понимать так:
уменьшение напряжения происходит быстрее, чем уменьшение деформации.
Более подробную информацию по этому вопросу – см. в прилагаемых файлах.
2. время «разгрузки», когда элементы начинают контактировать в внутренней поверхностью аппарата – перестают двигаться в продольном направлении и перестают контактировать с «ударником» - **красная стрелка**.
Частота изменения знака сил трения примерно на порядок меньше, чем на предыдущем шаге.
Величина изменения сил трения примерно в два раза меньше, чем на следующем шаге.
Причина этому - на этом шаге, элементы НЕ имеют возможности движения вместе с «ударником» в продольном направлении.
Материал элементов имеет возможность пространственной деформации, но лишь в границах геометрии элементов и контактных поверхностей между деталями аппарата, которые практически не перемещаются.

Причина высокочастотных осцилляций на графиках – продолжающееся релаксация в элементах, т.е. материал успевает «течь» даже при небольших временных шагах записи результатов решения.

Т.е. эти осцилляции – это не следствие физических колебаний, а результат дискретной записи результатов расчетов.

Графики на этом временном участке следует «интерполировать» - сглаживать.

Если уменьшать шаг записи результатов расчетов, то амплитуда осцилляций будет существенно уменьшаться.

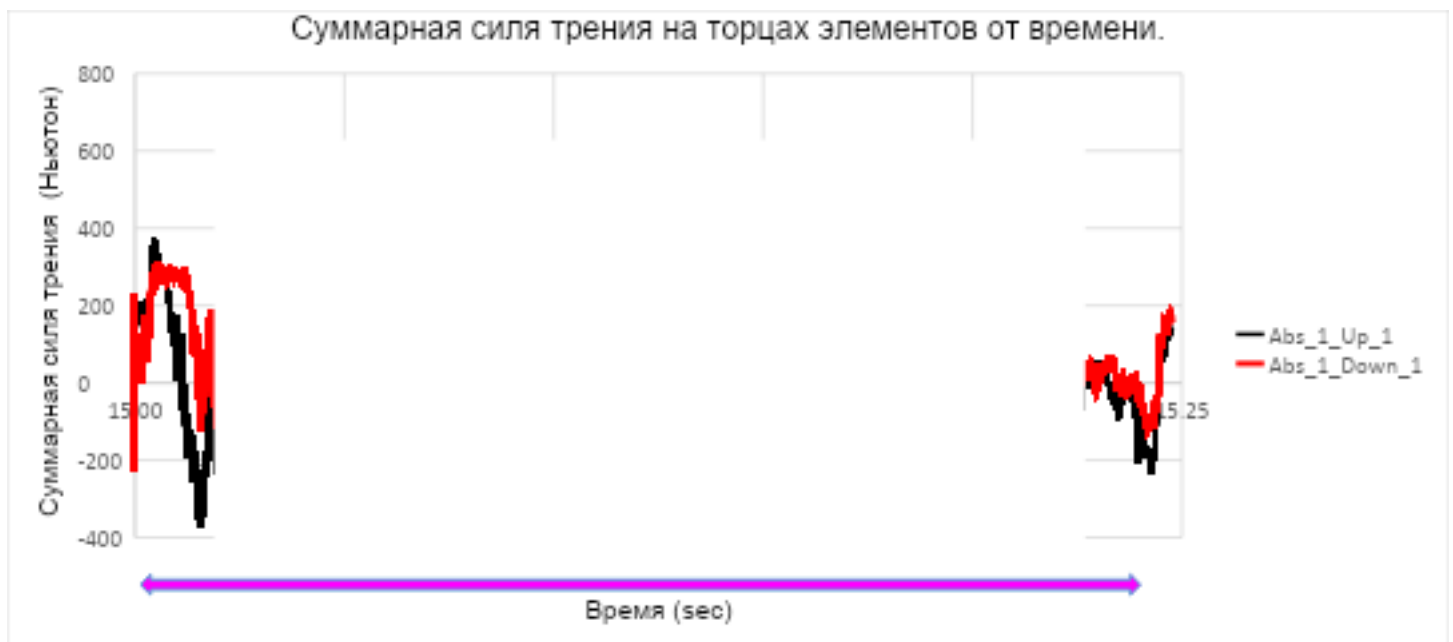


Временной диапазон этапа «удара».

Графики суммарных сил трения для пяти элементов.

Up – верхние контактные поверхности для элементов.

Down – нижние контактные поверхности для элементов.

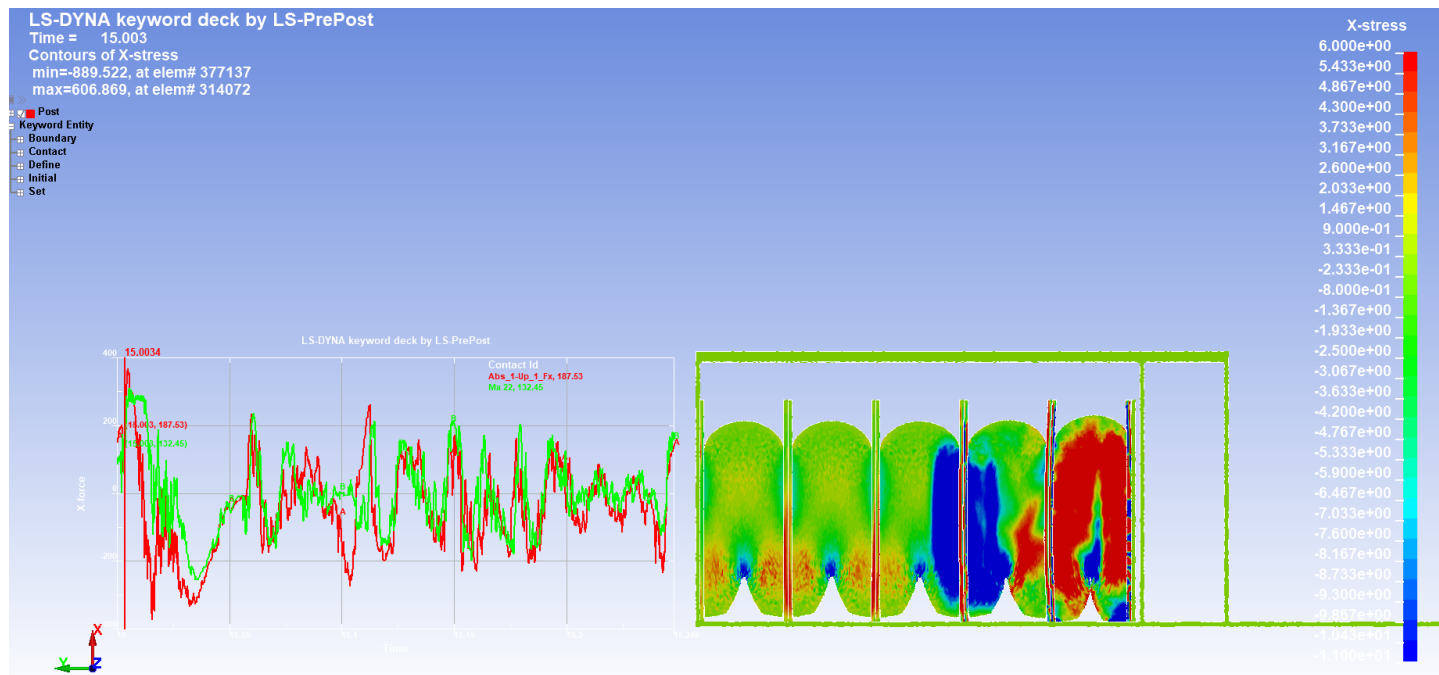


Графики суммарных сил трения для 1-го элемента, по которому происходит воздействие «ударника»..

Суммарные силы трения на контактных поверхностях элемента РАЗНЫЕ, как и суммарные нормальные силы.

Между графиками есть «сдвиг» по времени, которое необходимо волне сжатия для прохождения расстояния между торцевыми поверхностями элемента.

Причиной «сдвига» по времени и отличия по величинами амплитуд и частот, являются вязкие свойства материала элементов и волновая картина распространения волн сжатия/разгрузки в деталях аппарата.



Этап удара 1-ый элемент – верх и низ

Видео: <https://drive.google.com/file/d/1exoMfjklce3aDEvIWaxaH0u3Mm9wR2h5/view?usp=sharing>



Графики суммарных сил трения на торцах аппарата.

Это силы трения на нижней поверхности 1-го элемента
и на верхней поверхности 5-го элемента.

Суммарные силы трения на контактных поверхностях элемента РАЗНЫЕ, как и суммарные нормальные силы.

Между графиками есть существенный «сдвиг» по времени, которое необходимо волне сжатия для прохождения расстояния между торцевыми поверхностями аппарата.

Причиной «сдвига» по времени, являются вязкие свойства материала элементов и волновая картина распространения волн сжатия/разгрузки в деталях аппарата.

Нужно обратить внимание, что **в любой момент времени – силы трения**, как и нормальные силы на торцах аппарата при динамическом нагружении (ударе) **имеют РАЗЛИЧНЫЕ значения !**

Поэтому нельзя вычислять поглощенную энергию элементами аппарата, путем построения графика «сила сжатия – величина сжатия», так как это график невозможно построить из за того что сила сжатия на торцах аппарата НЕ ПОСТОЯННЫЕ в любой момент времени.

Вышеуказанный способ вычисления поглощенной энергии можно использовать лишь при условии существования РАВНОВЕСНОГО состояния элементов аппарата.

При статических испытаниях аппаратов, величины сил сжатия на торцах аппарата так же не являются одинаковыми, но это различие при статическом/медленном нагружении ничтожно мала и состояние элементов аппарата можно считать РАВНОВЕСНЫМ.

Деформация/работа энергопоглощающего аппарат при статических нагружения, принципиально другая по сравнению с динамическими (ударными) нагружениями.

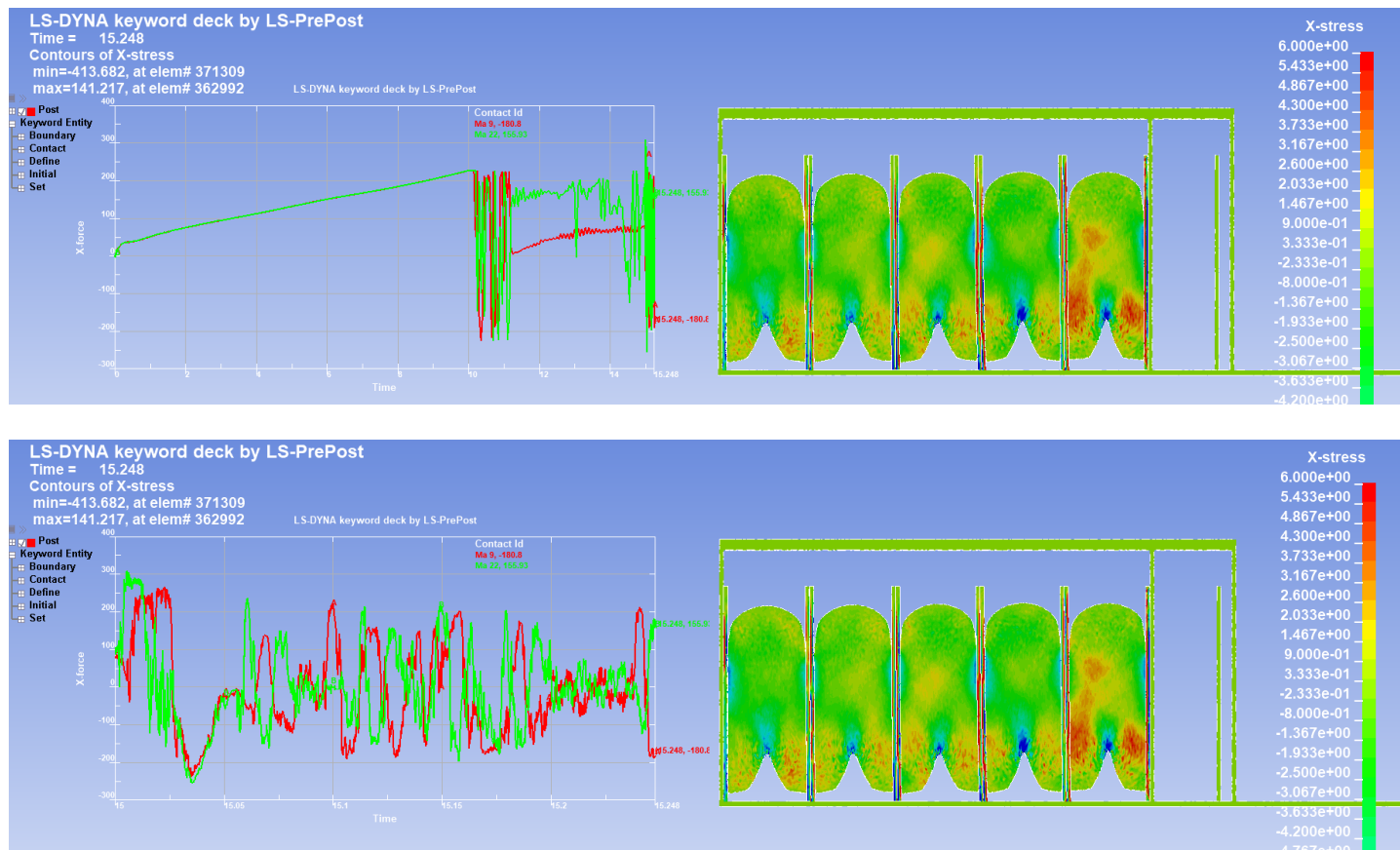
Динамометр, который используется при измерении усилия сжатия в автосцепке при столкновениях и копровых испытаниях – измеряет силу только на одной стороне аппарата, не учитывая что на другой стороне аппарата сила сжатия ДРУГАЯ !

Запись результатов измерения при динамических нагружениях должна производиться с весьма небольшим шагом по времени, так как величина сил сжатия быстро изменяется.

Причина высокочастотных осцилляций на графиках – это следствие физических колебаний - «следы» распространения/движения волн сжатия/разгрузки, а не результат дискретной записи результатов расчетов.

Вероятно, что именно многочисленные/высокочастотные колебания сил трения на этапе удара являются основной причиной истирания элементов.

Низкочастотные осцилляции – это «следы» пространственного движения элементов.



Видео:

Нижняя и верхняя силы трения (ось X) на торцах крайних элементов – графики слева. Деформирование элементов и поле продольных напряжений (МПа) – справа.

<https://drive.google.com/file/d/1OEVtwEccfB0kpxO9qjaE4cDk-dTeTsZw/view?usp=sharing>

Это «НЕУДАЧНАЯ» попытка построить график поглощенной энергии для всего аппарата, на основании «усредненного» суммарного усилия на торцах аппарат.



График **зеленого** цвета – суммарная сила на торце, по которому производится удар.

График **синего** цвета – суммарная сила на противоположном конце аппарата.

График **красного** цвета – усредненная суммарная сила по величинам суммарных сил на торцах аппарата, т.е. будем считать что сила сжатия на торцах аппарата одинаковая – но при этом величину сжатия аппарата возьмем «реальную» - из расчета.



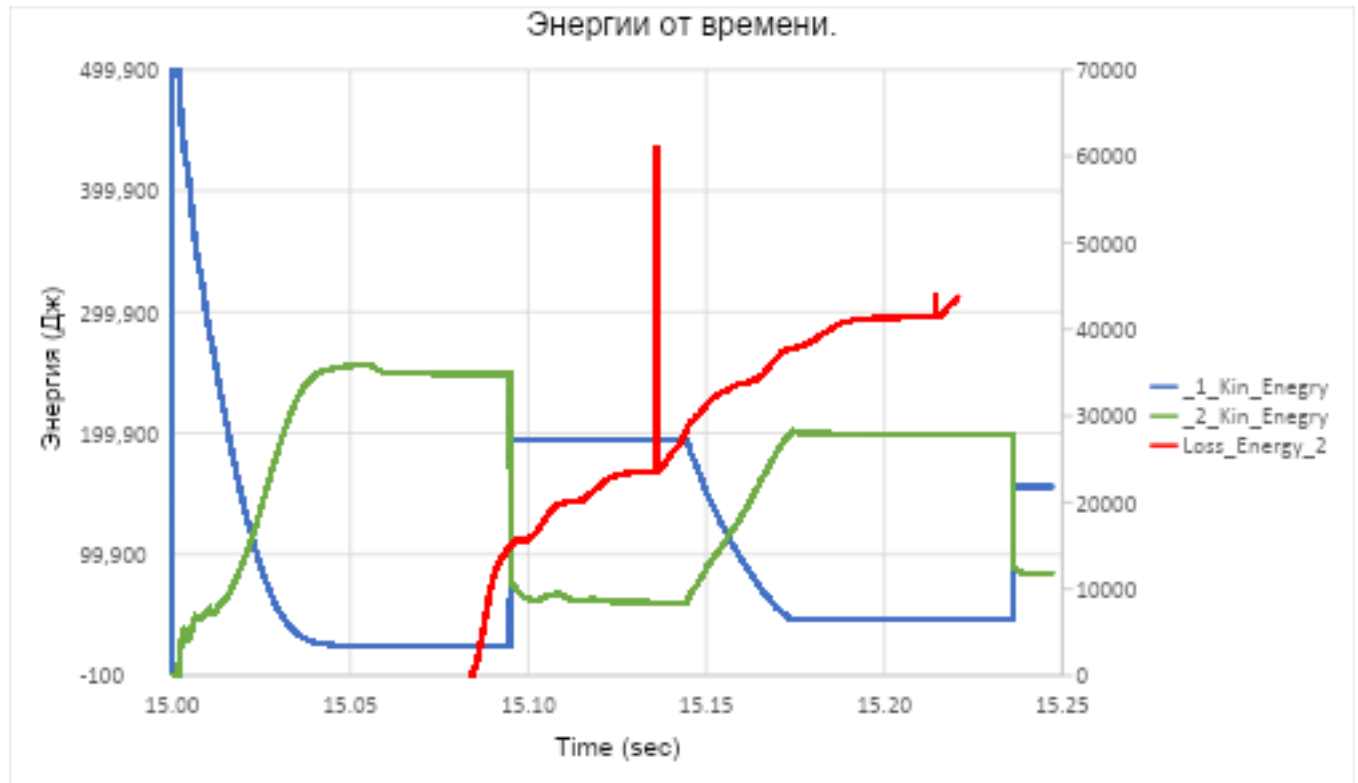
Величина сжимающего усилия начинается не с нулевого значения – см. желтая стрелка на графике.

Примерная площадь петли гистерезиса – 150 Дж – это величина поглощенной энергии сектором аппарата 5 градусов.

Т.е. весь аппарат должен был бы поглотить во время этого/первого цикла удара будет всего 10 800 Дж.

Ниже, приведен график изменения кол-ва поглощенной энергии аппаратом (**Loss_Energy_2**), в зависимости от времени при данных условиях конкретной задачи:
- характеристиках заложенных в модели и характеристик конкретного материала элементов.

- График **Loss_Energy_2** характеризует кол-во поглощенной энергии с момента удара/столкновения вагонов.
- График **Loss_Energy_2** не дает информации о кол-ве поглощенной энергии до момента удара/столкновения вагонов.



Т.е. можно получить кол-во поглощенной энергии на любом участке решения задачи, с помощью этого графика.

На этом графике есть несколько точек, которые нужно прокомментировать:

График кол-ва поглощенной энергии (**Loss_Energy_2**) – характеризует кол-во поглощенной энергии с момента начала удара, т.е. это «приращение» кол-ва поглощенной энергии в дополнение - к величине поглощенной энергии на временном этапе ДО момента начала удара.

Т.е. если нужно вычислить полную поглощенную энергию на какой-то момент времени после начала удара, то нужно суммировать кол-во поглощенной энергии ДО момента начала удара и кол-во поглощенной энергии на временном этапе ПОСЛЕ начала момента удара.

Важное замечание:

Кол-во поглощенной энергии после начала удара весьма незначительно, по сравнению с кинетической и внутренней энергиями.

Ось ординат для графиков кинетической и внутренней энергий – слева.

Ось ординат для графика поглощенной энергии – справа.

Величины энергий отличаются почти на порядок – в 10 раз !

Наиболее вероятное объяснение того факта, что при медленных/статических нагружениях/деформациях – элементы аппарата поглощают больше энергии, чем при динамических и тем более при ударных нагружениях:

При медленных/статических нагружениях/деформациях - материал элементов имеет БОЛЬШЕ времени проявить свои вязкие свойства, т.е. для того что бы вязкие деформации «развились» - достигли «существенных» величин, нужно что бы время нагружения было как можно больше.

При динамических и тем более при ударных нагружениях - материал элементов НЕ имеет достаточно времени, что бы проявить свои вязкие свойства - бы вязкие деформации «развились» - достигли «существенных» величин.

- Для информации: описание **простейших моделей вязкоупругости**:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8F%D0%B7%D0%BA%D0%BE%D1%83%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>

В качестве иллюстрации приводится пример модели материала, которая наиболее простой и наиболее часто используемой для описания деформирования полиуретанов имеющих вязкие свойства при разных законах нагружения.

- Краткие описания одной из таких моделей прилагаются — см. дополнительных два файла и приложение А.

Вот как эта модель выглядит

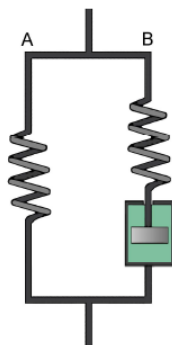


Figure 7.1: Rheological representation of the Bergstrom-Boyce model.

Модель состоит из двух параллельных ветвей:

- Левая ветвь – нелинейная пружина.
- Правая ветвь – нелинейная пружина + нелинейный демпфер.

при деформации, даже если вязкий элемент не успевает деформироваться = ДЕФОРМАЦИЯ ВСЕ РАВНО ПРОИСХОДИТ !!!!

Когда происходит сжатие элементов с МАЛОЙ скоростью — то поглощение энергии можно ожидать «существенным», так как вязкий элемент этой модели успевает деформироваться — поглощать энергию, тем более если нагружение происходит ОЧЕНЬ медленно — как при статических испытаниях!

когда происходит сжатие элементов с БОЛЬШОЙ скоростью — то поглощение энергии НЕЛЬЗЯ ожидать «существенным», так как вязкий элемент этой модели НЕ успевает деформироваться и поглощать энергию, тем более если сжатие происходит ОЧЕНЬ быстро — как при динамических испытаниях!

Таким образом, при динамических испытаниях — происходит ПОЧТИ ПОЛНОСТЬЮ НЕЛИНЕЙНОЕ УПРУГОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ материала элементов и демпфер практически не успевает деформироваться за очень небольшое время воздействия нагружения и больших скоростях деформации!

Кол-во поглощенной энергии материалом элементов при динамических испытаниях — скорее всего МАЛО !!

Иными словами — вероятно, полиуретаны деформируются при больших скоростях как гиперупругие несжимаемые материалы — типа несжимаемых резин, с незначительным кол-вом поглощения энергии.

- Это предположение подтверждают результаты расчетов, приведенные выше.

Вероятно - единственно полезное, что такие аппараты делают: энергию удара, аппараты «размазывают/растягивают» на значительное большее время (эффект пружины, неважно какая пружина — линейная или нелинейная) - по сравнению с ударным взаимодействием двух тел без пружины, когда энергия удара «передается» мгновенно.

- но вот на пример с автомобильными амортизаторами, где используется пенополиуретан (гиперупругая пена) — там ситуация иная: практически при любых скоростях нагружения энергия поглощается... правда нужно выяснять в каждом конкретном случае — её величину — которая зависит и от свойств используемой гиперупругой пены и от скорости нагружения.



Этот график построен на основании результатов расчетов для «начального» этапа удара – один цикл сжатия аппарата, согласно вышеприведенному графику величины сжатия аппарата от времени.

Поглощенная энергия вычислялась в процессе решения на каждой ячейке – в каждой детали с учетом свойств материала, который задавался для данной детали.

Согласно результатам расчетов величина поглощенной энергии сектором аппарата – 5 градусов – около 15 000 Дж.

Согласно результатам расчетов величина поглощенной энергии аппаратом – будет 1 080 000 Дж.

Величина поглощенной энергии, вычисленная по графику построенному на основании усредненной величины сжимающего усилия на торцах аппарата – 150 Дж.

Таким образом, предположение о том, что **нельзя использовать усредненное значение сжимающего усилия для построения графика и вычисления поглощенной энергии – нужно считать верным.**

С учетом полученной информации из анализа результатов расчетов о поведении элементов аппарата в условиях реальной эксплуатации, получить какую-то «универсальную» характеристику для любых видов динамических нагружений аппарата этого типа, вероятно невозможно - по причине существенного «разнообразия» возможных законов нагружения и широких диапазонов изменения параметров, которые будут влиять на закон нагружения.

Учитывая, что диапазон изменения скоростей деформации при реальных условиях эксплуатации весьма велик и к тому же амплитуды изменения деформации тоже изменяются в большом диапазоне, пытаться проводить эксперименты с простым статическим циклическим нагружением (нагрузка/разгрузка с какой-то постоянной скоростью) не реально – из-за большого кол-ва экспериментов.

К тому же, максимальные скорости изменения деформации в диапазоне изменения – достаточно большие – эксперименты с такими значениями скоростей деформации весьма сложные и дорогие.

Таким образом, не понятно – по какому критерию оценивать пригодность/характеристики энергопоглощающих аппаратов к работе, в условиях реальной эксплуатации (столкновение вагонов).

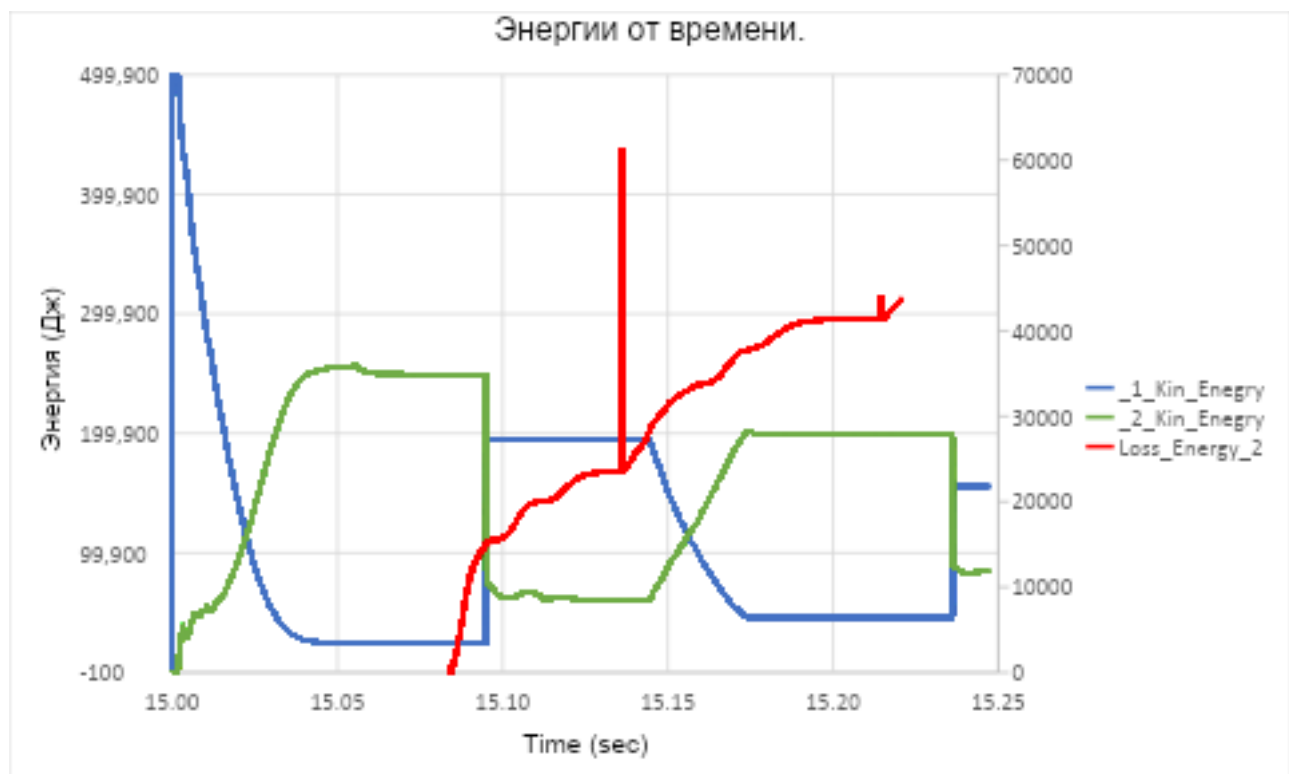
Возможно, график «потери энергии» построенный на основании расчетов, можно будет интерполировать прямыми на двух или более участках нагружения:

- ☐ начальный участок – удар
- ☐ остальное время решения.

И использовать тангенсы углов наклона этих отрезков прямых в качестве критериев пригодности.

Но эти данные получены с помощью расчетов.

Как можно получить эти данных в эксперименте – не понятно.



Принципиальные отличия между статическими (циклического сжатия/разгрузки) и динамическими (копровое и столкновение вагонов) испытаниями:

1. - при статическом испытании:

- a. Перемещение/скорость поверхностей контакта оснастки и торцов аппарата задается «принудительно».

Перемещение обычно меняется по линейному закону, соответственно скорость постоянная величина меняющая лишь знак.

Скорость и перемещение на всех точках контактных поверхностей между оснасткой стенда и торцами аппарата, а так же и на остальных контактных поверхностях можно считать постоянными, по причине медленного нагружения - напряженно-деформированное состояние материала элементов «почти успевает» достичь равновесного состояния.

Материал элементов, имеющий вязкие свойства при медленном нагружении имеет время «проявить» вязкие свойства – т.е. при медленном нагружении

кол-во поглощенной энергии материалом значительно больше, чем при быстром/динамическом нагружении.

- b. Суммарные усилия на торцах аппарата и элементов можно считать «почти одинаковыми», по вышеуказанной причине:

при медленного нагружения напряженно-деформированное состояние материала элементов «почти успевает» достичь равновесного состояния.

- c. Важно отметить, что хотя величины площадей контактных поверхностей при статическом сжатии не постоянные, они изменяются «плавно» и напряжения на контактирующих поверхностях так же изменяются «плавно/монотонно».

- d. - **при статическом испытании** – можно считать, что все элементы деформируются почти «одинаково», т.е. имеется почти равновесное состояния – т.е. напряженно-деформированное состояние элементов «почти» одинаково.

Можно считать, что вклад вязких свойств материала каждого элемента в суммарное кол-во энергии поглощенной аппаратом - примерно одинаков.

Т.е. набор из нескольких элементов можно рассматривать как один «супер-элемент» имеющий одинаковую силу сжатия по всем элементам.

Сжимающие усилия на торцах аппарата примерно такие же, как сжимающие усилия на торцах каждого элемента.

Таким образом, график «суммарная сила сжатия – величина сжатия» – может быть использован для получения величины поглощенной энергии всем аппаратом, при КОНКРЕТНОМ нагружении.

Площадь петли гистерезиса этого графика - величина поглощенной энергии в элементах аппарата.

При статическом (медленном) нагружении – кол-во диссипируемой (поглощенной) энергии в контактах за счет сил трения вероятно невелика, так как используемая динамическая модель трения существенно зависит от относительной скорости по контактирующим поверхностям, которая изменяется достаточно медленно.

Деформации опорных пластин при статическом нагружении значительно меньше, чем при динамическом нагружении.

2. - при динамических испытаниях (копровое испытание и столкновение вагонов):

- a. Суммарные усилия на торцах **аппаратов и элементов** не одинаковые (см. графики усилий выше), так как при быстром нагружении - напряженно-деформированное состояние материала элементов «НЕ успевает» достичь равновесного состояния, причина такой ситуации - распространение волн сжатия/разгрузки по объемам элементов.

Таким образом, нельзя построить график «суммарная сила сжатия – величина сжатия всего аппарата» и соответственно невозможно получить величину поглощенной энергии за один цикл нагружения и/или за какой-то промежуток времени (более подробно по этому вопросу – см. выше).

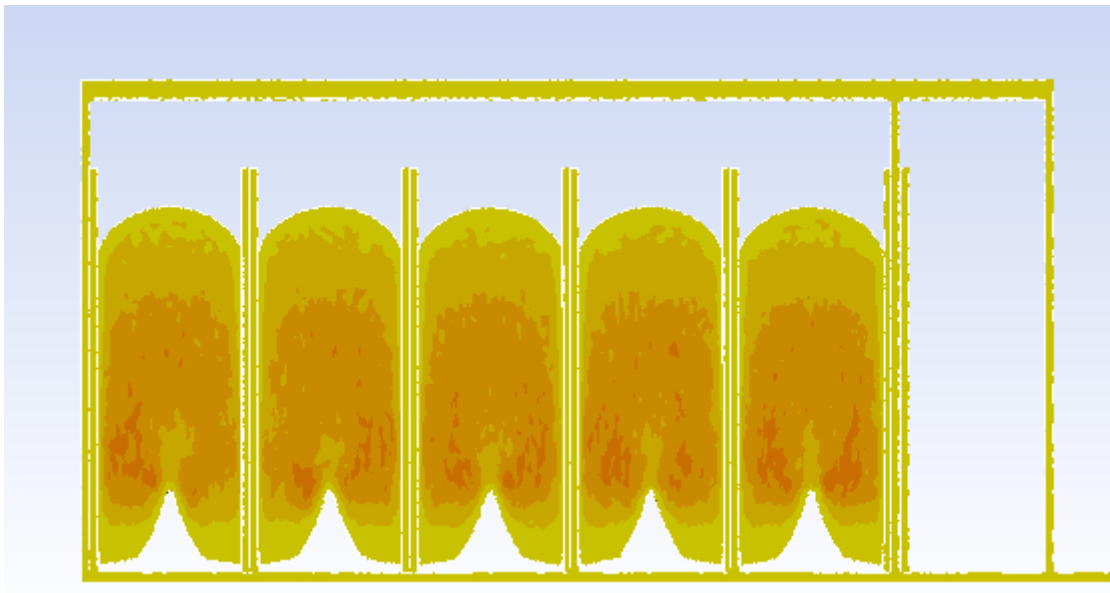
Т.е. набор из нескольких элементов НЕЛЬЗЯ рассматривать как один «супер-элемент» имеющий одинаковую силу сжатия по всем элементам.

- b. При динамическом (быстром) нагружении - материал элементов, имеющий вязкие свойства НЕ - имеет времени «проявить» вязкие свойства.
Т.е. при БЫСТРОМ нагружении кол-во поглощенной энергии материалом имеющим вязкие свойства - будет МЕНЬШЕ, чем при медленном/статическом нагружении.

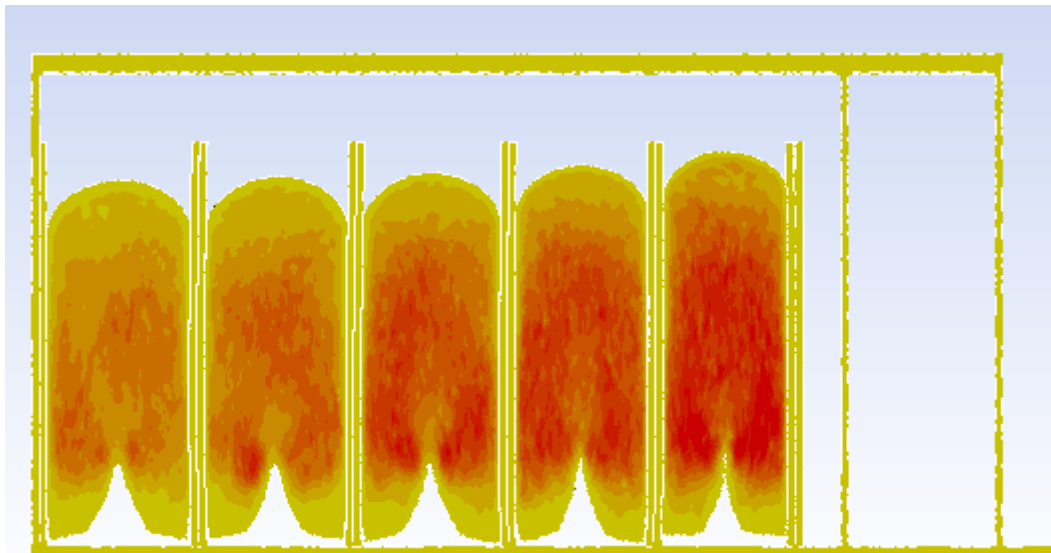
Поэтому, «официальную» точку зрения (рекомендованная нормативами и учебниками) – о том, что энергопоглощающие аппараты имеющие рабочими органами элементы из материалов обладающие вязкими свойствами работают одинаково как при статических нагружениях, так и при динамических – можно считать неверной.

Изучение вопроса – На сколько меньше энергии поглощается при динамическом нагружении – требует отдельных исследований, как экспериментальных, так и расчетных.

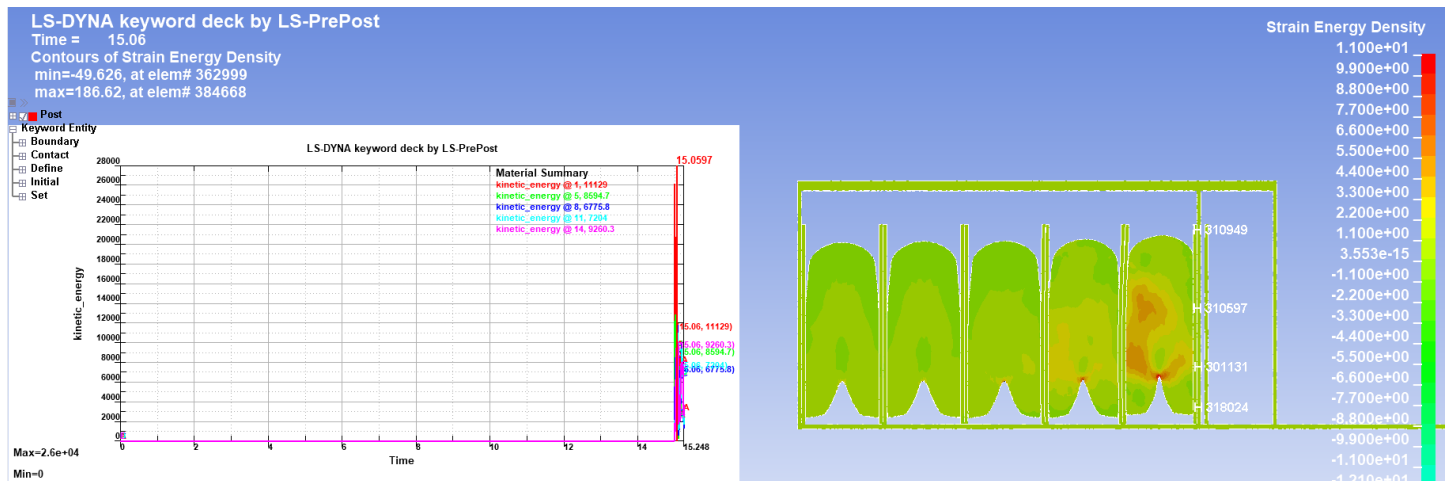
- c. Вклад вязких свойств материала каждого элемента, в суммарное кол-во энергии поглощенной аппаратом – НЕ одинаков.
При динамическом нагружении – нет равновесного состояния материала в элементах, соответственно кол-во диссипируемой (поглощенной) энергии в каждом элементе разное в любой момент времени – о чем подробно было написано выше.
см. далее
- графики кинетическая / внутренняя энергии
- видео - плотность энергии упругой деформации.



Плотность энергии упругой деформации на этапе сжатия – статическое нагружение.
Распределение энергии упругой деформации примерно одинаковое по всем элементам.



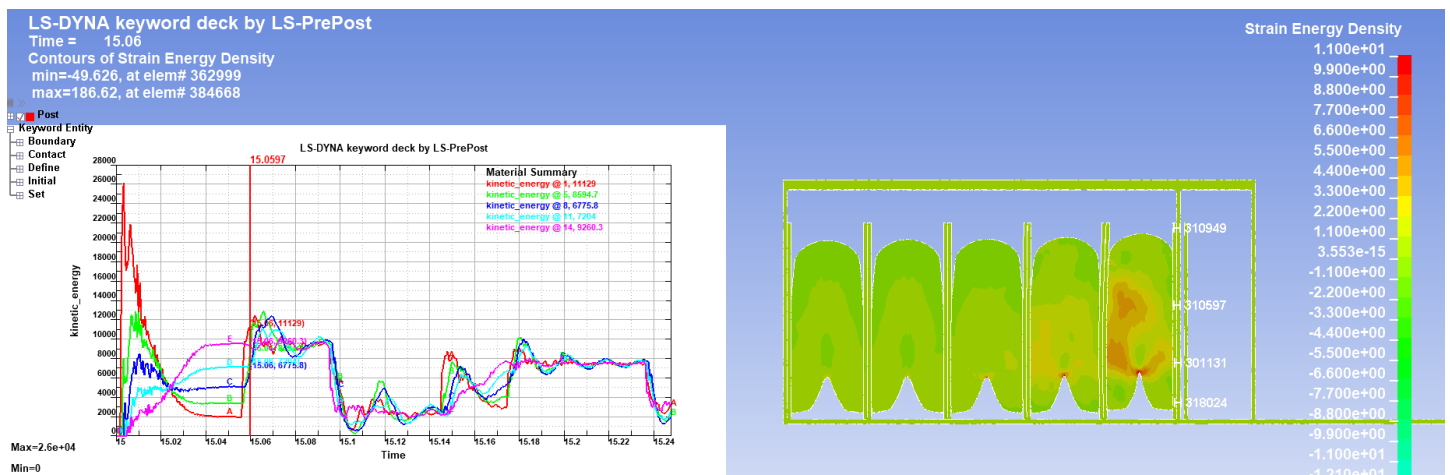
Плотность энергии упругой деформации на динамического нагружения - удар.
Распределение энергии упругой деформации НЕ одинаковое по любому из элементов.



На этапе статического нагружения:

Кинетическая энергию ничтожно мала, так как скорости незначительны.

Распределение плотности энергии деформации примерно одинаково для любого элемента и хорошо видна симметричность распределения плотности энергии деформации, относительно осей симметрии каждого элемента.



Видео для диапазона решения с начала удара:

https://drive.google.com/file/d/19e_YHXbKN37syGHINuHK-UFWgtAaqOms/view?usp=sharing

- d) **Утверждение, что по результатам статических испытаний аппаратов можно оценивать их поведение/характеристики/параметры аппаратов такого типа в условиях реальной эксплуатации – при динамических нагружениях следует считать ошибочным.**

Весьма вероятно (это нужно проверять и с помощью расчетов и с помощью натурных экспериментов), что в условиях реальной эксплуатации - при динамических нагружениях:

- i. кол-во поглощенной энергии такими аппаратами «небольшое», по сравнению со статическими испытаниями.
 - ii. аппарат ведет себя почти как пружина с нелинейной диаграммой деформирования, т.е. аппарат не успевает проявлять полностью вязкие свойства – т.е. вероятно кол-во поглощаемой механической энергии меньше, чем при статическом испытании такого аппарата.
 - iii. вероятно, кол-во поглощаемой механической энергии зависит от условий нагружения – начальной скорости вагона, масс вагонов, свойств материала элементов в аппарате и так далее....
Что бы это выяснить, нужны специальные численные и натурные эксперименты.
3. Важно отметить, что при динамическом нагружении - величины площадей контактных поверхностей не постоянные, они изменяются «НЕ плавно» из-за распространения волн сжатия/разгрузки по объемам элементов.
Весьма вероятно, выделение значительного кол-ва тепла на отдельных участках контактирующих поверхностей, что возможно оказывает значимое влияние на трение – т.е. возможно, что для реальных условий эксплуатации, в математических моделях нужно будет задавать закон трения, учитывающий влияние величины температуры.
Что бы это выяснить, нужны специальные численные и натурные эксперименты.
4. Нормальные и касательные напряжения на контактирующих поверхностях изменяются «не плавно» - следствие распространения волн сжатия/разгрузки и неровности контактирующих поверхностей пластин, геометрия которых постоянно становится все более «неровной», из за того что пластины получают при каждом ударе очередную «порцию» пластической деформации.
См. графики выше.
5. все элементы деформируются «не одинаково», т.е. напряженно-деформированное состояние элементов существенно различное, особенно на начальном этапе удара – см. графики выше.
6. В контактах, величина поглощенной энергии за счет трения может быть значима (этот вопрос требует отдельного изучения) и для корректного описания механизмов трения возможно потребуются более «сложные» законы трения – на пример:
зависящие от давления и от относительного перемещения контактирующих поверхностей.
Волны сжатия/разгрузки оказывающие существенное влияние на напряженно=деформированное состояние элементов, будут так же оказывать

влияние на нормальные и касательные напряжения на поверхностях контакта – см. графики выше

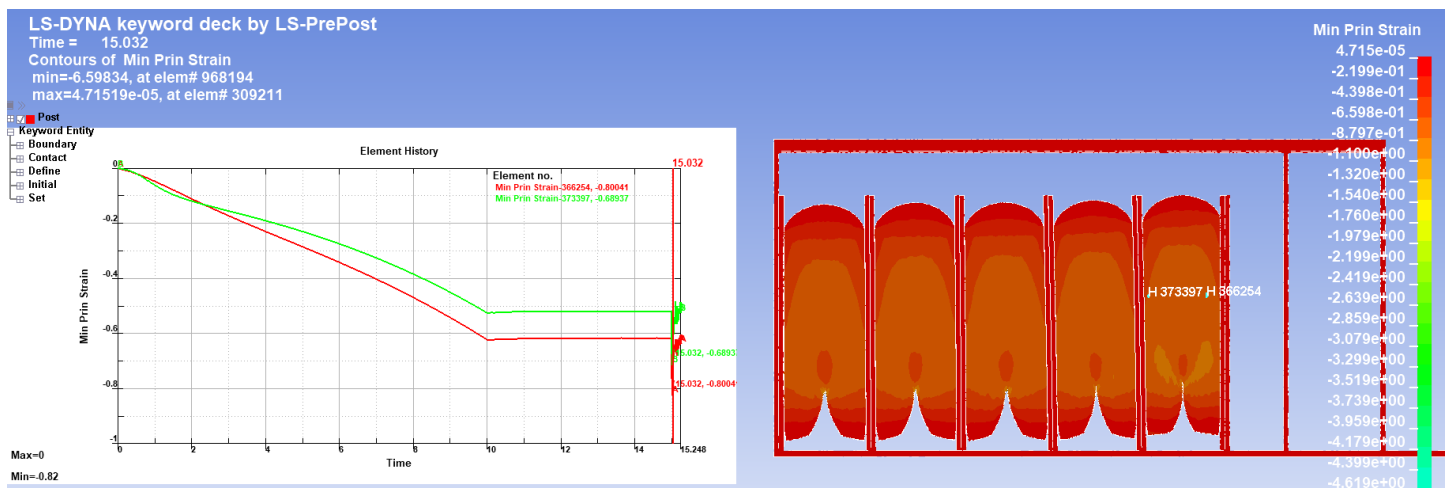
7. Деформации опорных пластин при динамическом нагружении значительно больше, чем при статическом нагружении.
– см. графики, картинки видео выше

8. Графики главных нормальных деформаций по элементам – для написания условий экспериментов.

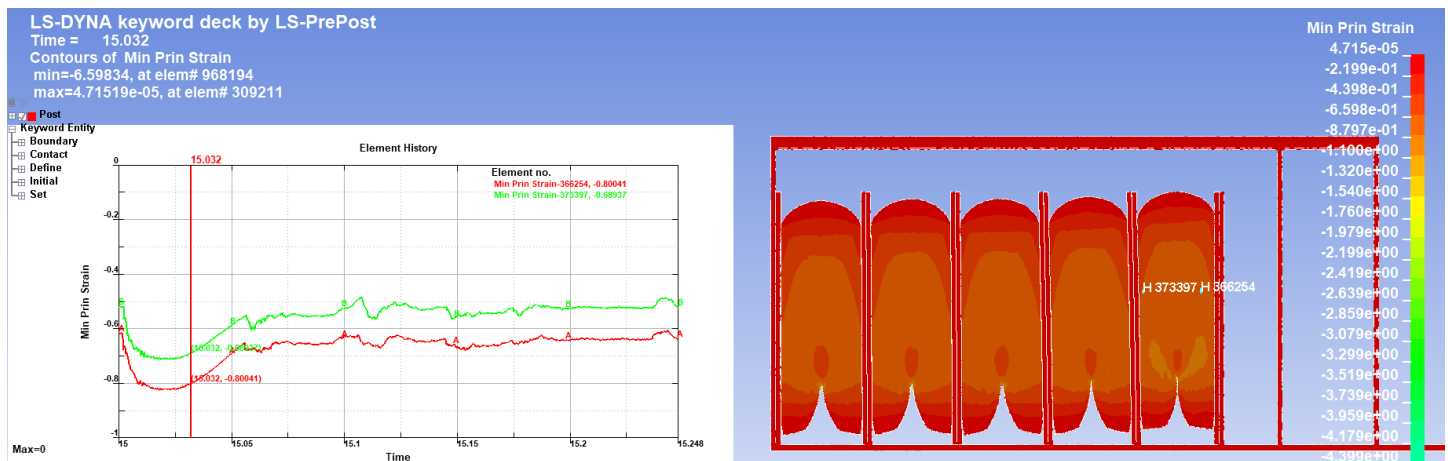
Для примера – ниже приведены графики главных минимальных деформаций в двух точках 1-го элемента– т.е. минимальные деформации, когда в данных точках отсутствуют касательные деформации.

По этим данным – о деформации, можно вычислить данные об изменении скорости деформации в этих точках.

Изучив данным по деформации и по скорости деформации в наиболее «экстремальных» точках элементов, можно выбрать наиболее «трудные» сочетания и использовать эти данные для написания «первичных/первоначальных» условий нагружения для экспериментов с образцами материалов.



Вид графиков для всего диапазона решения.



Вид графиков для диапазона решения с момента начала удара.

Видео: <https://drive.google.com/file/d/1YEXc8qO5KTf1IR443nTXcnDlxS4u3rxj/view?usp=sharing>

Важное замечание:

При сжатии нижнего (1-го) элемента в момент удара, происходит так же контакт этого элемента со штоком (радиальное направление) и начинается радиальное колебание этого элемента, которое передается далее – на верхние элементы – см. видео.

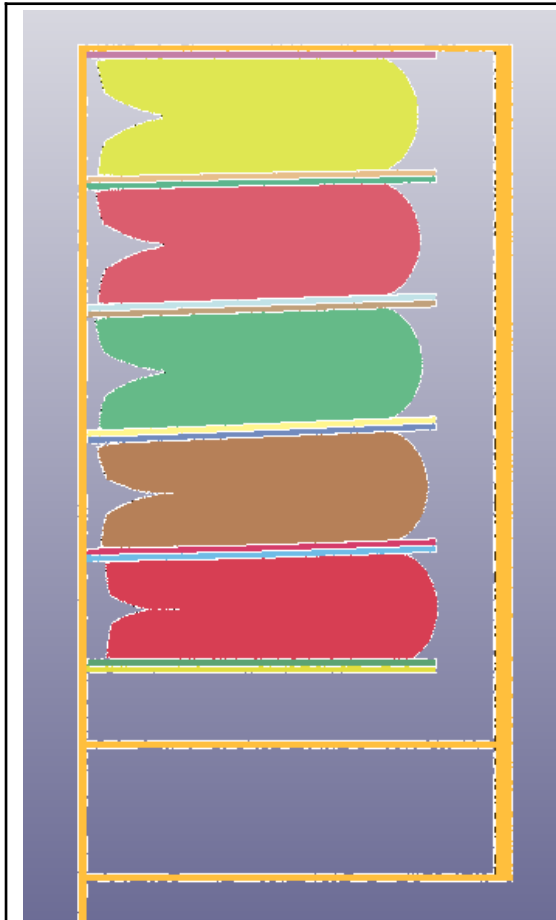
Такие радиальные колебания элементов, являются одной из причин износа элементов из-за трения элементов об опорные пластины.

Важно так же отметить, что контакт между 1-ым элементом и штоком возникает лишь на начальной стадии удара, далее этого контакта нет.

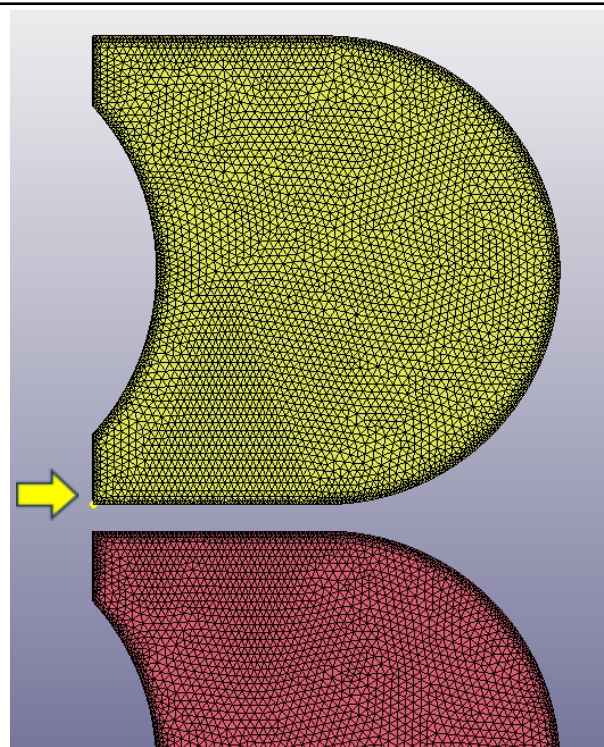
Второй элемент имеет весьма незначительное усилие контакта со штоком.

Все остальные элементы, начиная с третьего элемента не контактируют со штоком совсем – см. графики суммарных усилий между элементами и штоком ниже.

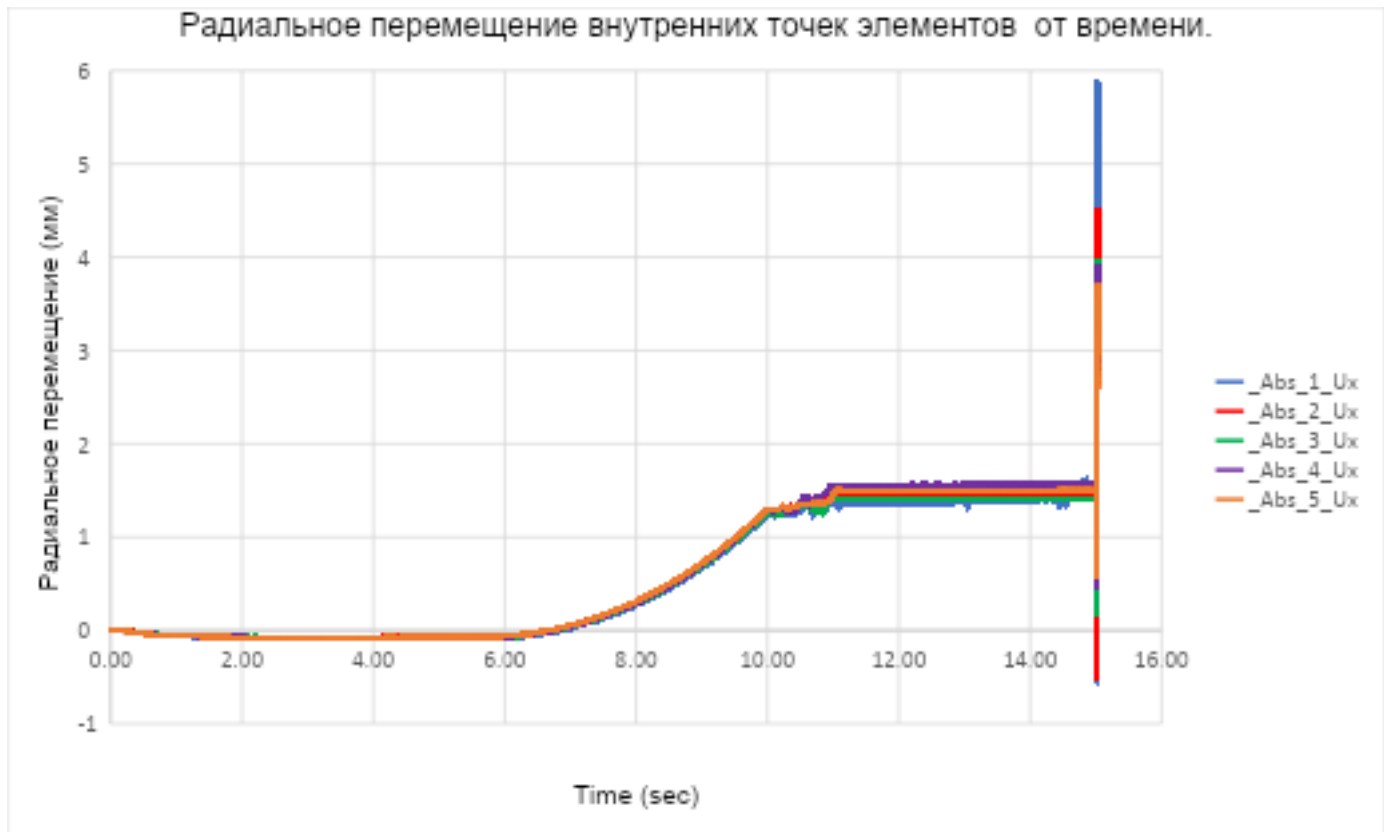




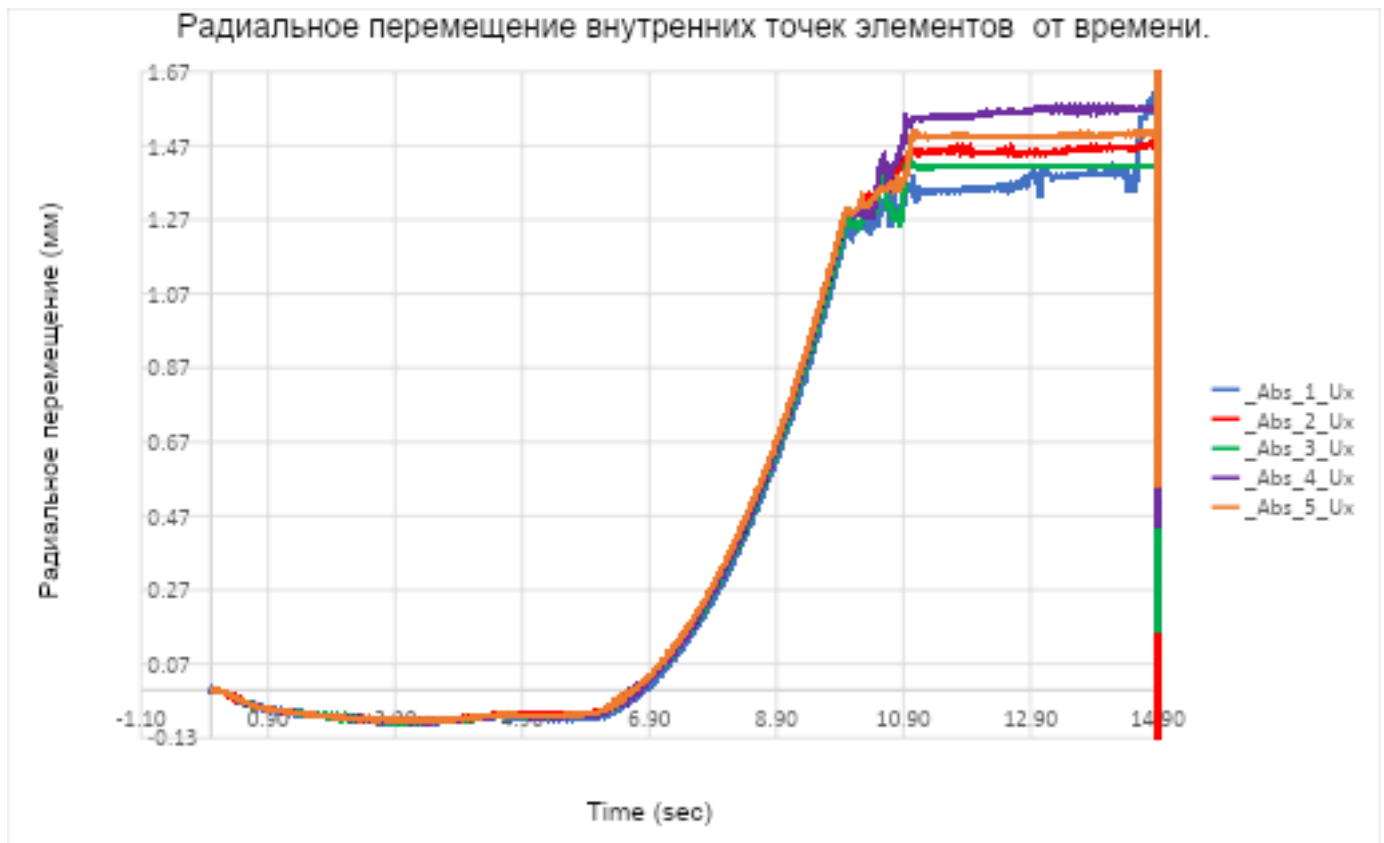
Радиальное смещение элементов вызванное контактом первого элемента со штоком , столько существенное, что его даже визуально видно – см. прилагаемые видео.



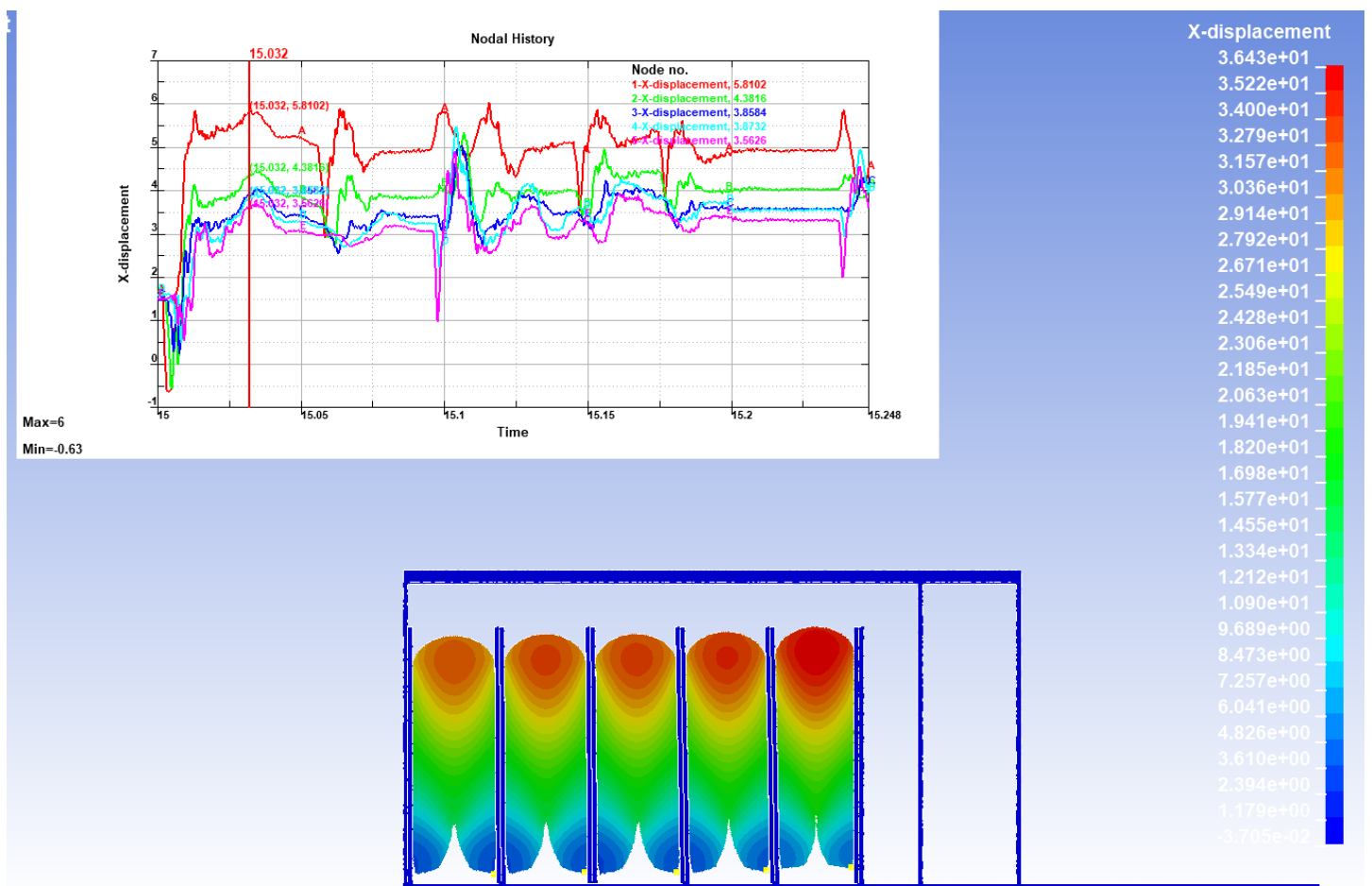
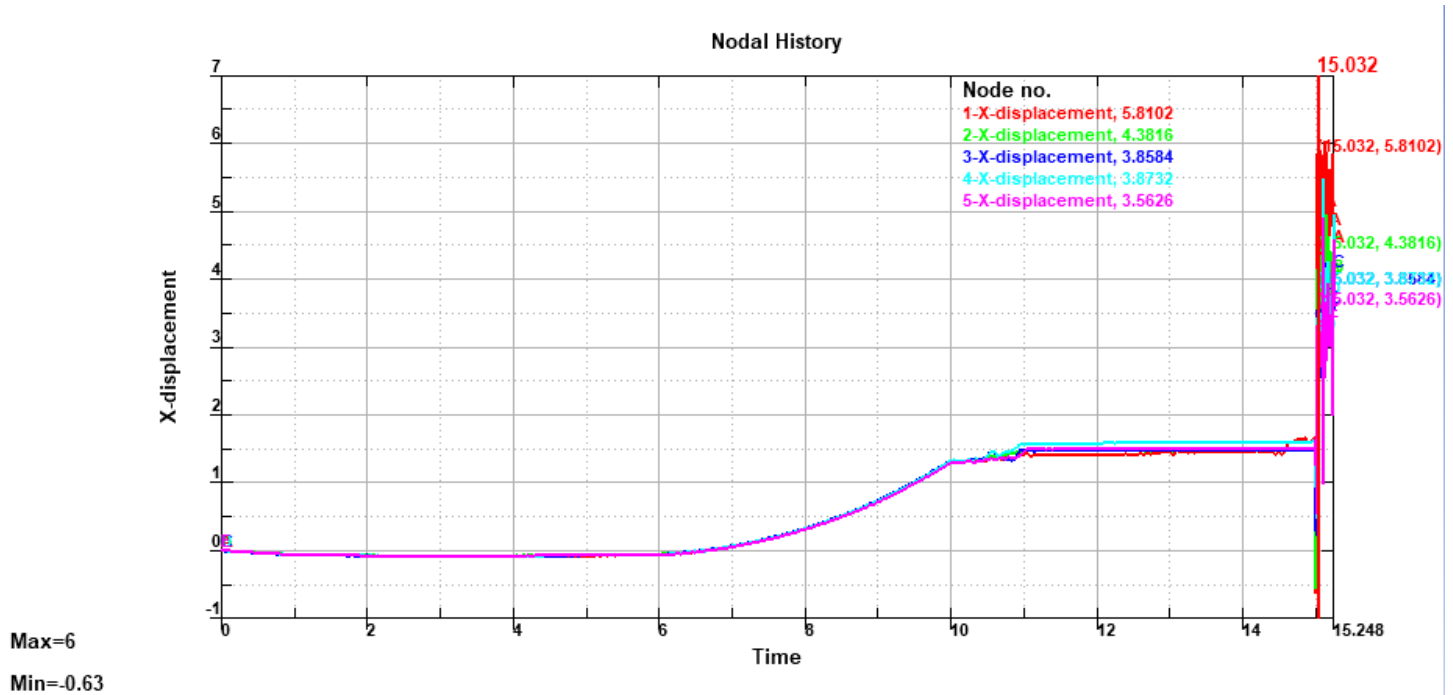
Желтым цветом, выделена точка на элементе – для которой будут построены графики радиального перемещения такой точки для каждого элемента.



Описание Заменить график



Описание Заменить график



Видео <https://drive.google.com/file/d/1QzLKE8rAJ7rzISP6SLFRms5ni25AYwiN/view?usp=sharing>

На графиках хорошо видны эффекты начала/окончания контактов ударника и элементов.

Сравнение / описание «копровое испытание – столкновение вагонов».

«Критика» натурального эксперимента - копровое испытание:

- - При ударе на «мишень» действует постоянная и значительная сила - собственный вес «ударника», которой нет при натуральных испытаниях «столкновение вагонов».
Исключить воздействия собственного веса при натуральных испытаниях (копровое испытание) – невозможно.
Исключить воздействия собственного веса при численном моделировании (копровое испытание) – возможно.
Воздействия собственного веса при натуральных испытаниях (столкновение вагонов) – нет.
Постоянная сила - собственный вес «ударника», является причиной дополнительного ускорения самого ударника :
$$\text{уравнения сила} = \text{масса умноженная на ускорение.}$$

Т.е. к моменту удара/контакта – будут начальная скорость «ударника» и начальное ускорение, которого нет в случае натуральных испытаний «столкновение вагонов».
- **Результаты копрового испытания ВОЗМОЖНО, будут похожи на результаты натуральных испытаний «столкновение вагонов», лишь до момента первого контакта «ударника» и «мишени».**
Причина этому не только дополнительное ускорение и собственный ударника, но и тот факт – что «мишень» является лишь промежуточным элементом в физической модели эксперимента, который состоит из:
ударника, мишени, стенда, фундамента для стенда, грунтового основания.
При копровых натуральных испытаниях энергия ударника частично отражается от мишени обратно на ударник, остальная часть энергии ударника передается в виде волн сжатия/разгрузки через мишень на стенд, фундамент стенда и грунт.
При чем, значительная часть энергии довольно быстро поглощается материалами мишени, стенда, фундамента стенда и грунта.
«Вычислить» каким-либо образом – что происходит с энергией ударника, написать баланс энергии и получить хотя бы примерные «поправки» при вычислении поглощенной энергии – «весьма сложно».
А учитывая тот факт, что при копровом испытании силы сжатия на торцах аппарата так же как и при столкновении вагонов не одинаковые – применение метода вычисления поглощенной энергии с помощью гистерезиса графика «сила сжатия – величина сжатия» - очевидно действие «незаконное» с точки зрения физики.
Т.е. **получить более-менее достоверную информацию о поглощенной энергии при копровых испытаниях «затруднительно».**
- С учетом вышенаписанного, пытаться искать метод «пересчета» результатов натуральных эксперимента с копрового испытания, на результаты столкновения вагонов – задача «малоперспективная».

«Критика» натурного эксперимента - **столкновение вагонов:**

Сила сжатия измеряется специальной автосцепкой, в которой установлен динамометр.

Динамометр измеряет силу только с одной стороны аппарата, а как было отмечено/показано выше – при динамических ударах, силы сжатия на торцах аппаратов **РАЗНЫЕ** в любой момент времени после начала удара.

Таким образом, применение метода вычисления поглощенной энергии с помощью гистерезиса графика «сила сжатия – величина сжатия» - очевидно действие «незаконное» с точки зрения физики.

Т.е. **получить более-менее достоверную информацию о поглощенной энергии при столкновении вагонов с помощью динамометра «затруднительно».**

Неравновесное напряженно-деформированное состояние материала элементов имеющего вязкие свойства исключает возможность применения методов исследования свойств аппаратов такого типа, используемых при статических испытаниях.

Выводы.

Если результаты расчетов и проведенный анализ сделаны верно, то «официальная» точка зрения о том, что при столкновениях вагонов, элементы подобных аппаратов с энергопоглощающими элементами работают/деформируются так же как и при статических испытаниях - неверно.

Методы натурных статических испытаний подобных аппаратов не дают «однозначной» информации о том, как эти аппараты будут себя вести при динамических нагружениях.

Методы статических и динамических натурных испытаний и для энергопоглощающих аппаратов ИНЫХ типов - не дают «однозначной» информации о том, как эти аппараты будут себя вести при динамических нагружениях.