

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет
Институт Прикладной Механики и Математики
Кафедра Прикладной Механики и Процессов Управления

Конечно-элементное моделирование и исследование процесса падения контейнера с отработанным ядерным топливом

Выполнил студент гр. 63602/1

Н.А. Антипин

Руководитель

В.С. Модестов

Санкт-Петербург
2015

Цель работы

При транспортировке и погрузочно-разгрузочных операциях возможны аварийные ситуации

Должны обеспечиваться:

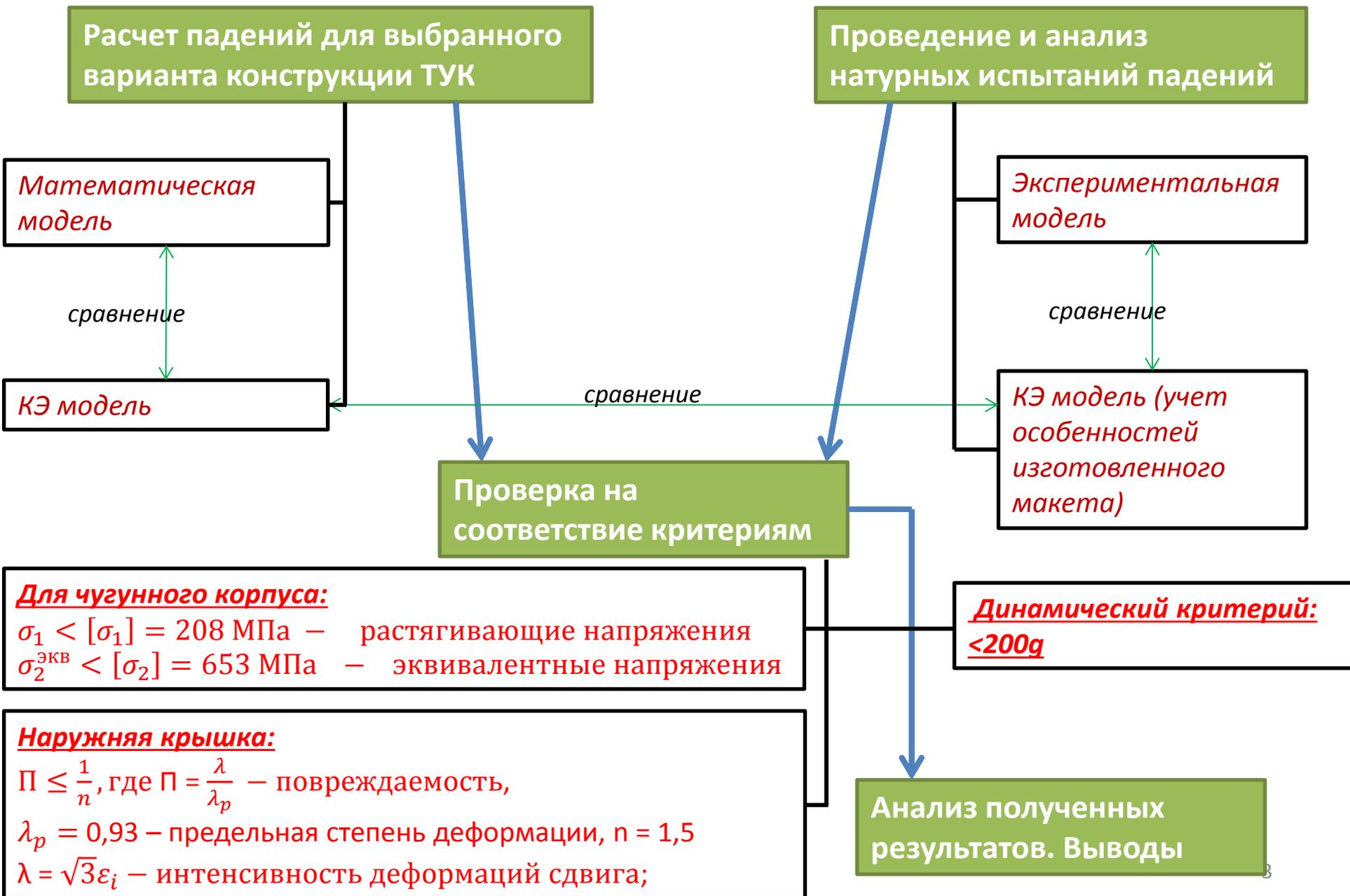
- сохранение герметичности и целостности контейнера
- допустимый уровень перегрузок: 200 g

Согласно **правилам МАГАТЭ** быть проанализированы следующие варианты падений:

- падение с 9 метров на жесткое основание
- падение с 1 метра на штырь



План работы



Содержание работы

Введение

Глава 1. Конструкция транспортного упаковочного комплекта, нагрузки, материалы, критерии прочности

Глава 2. Основные соотношения теории упругости и теории пластичности

Глава 3. Основы метода конечных элементов

Глава 4. Оценка параметров при «центральной» ударе ТУК о жесткую преграду

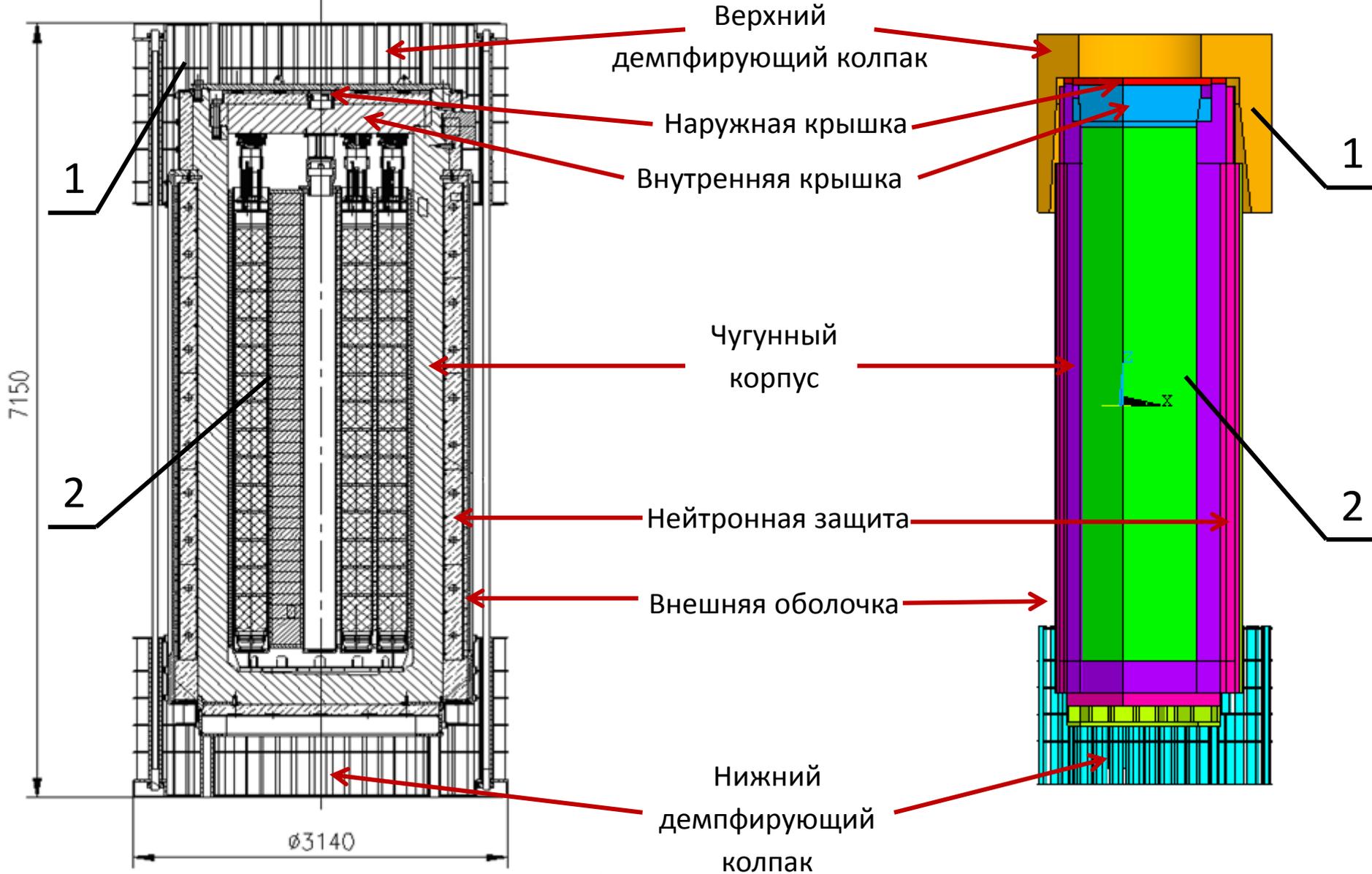
Глава 5. Анализ падения ТУК боковой поверхностью на штырь

Глава 6. Анализ падения ТУК с высоты 9 м на абсолютно жесткую преграду

Заключение

Список используемой литературы

Конструкция транспортного упаковочного комплекта ТУК-146

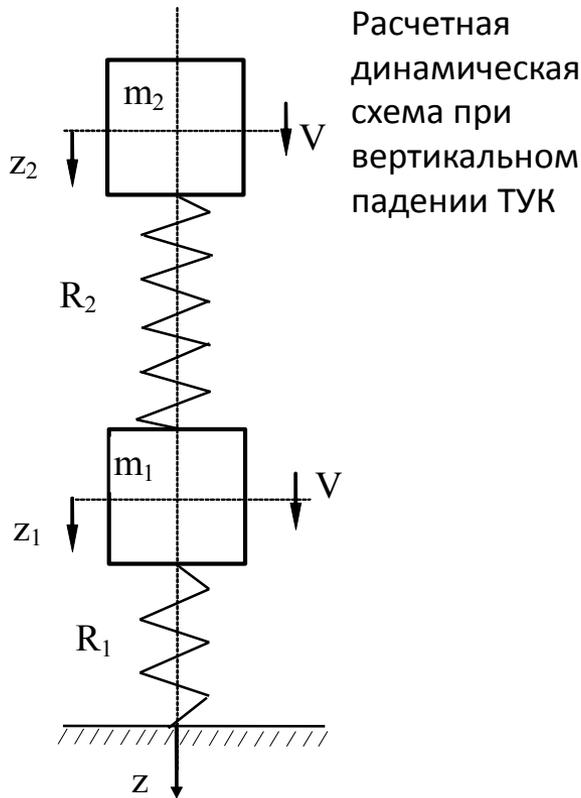


1 - защитно-демпфирующее устройство (ЗДУ)

2 - упаковочный комплект хранения (УКХ)

Вертикальное падение ТУК на абсолютно жесткую преграду. Анализ динамических характеристик

Математическая модель:



Система уравнения движения системы имеет вид:

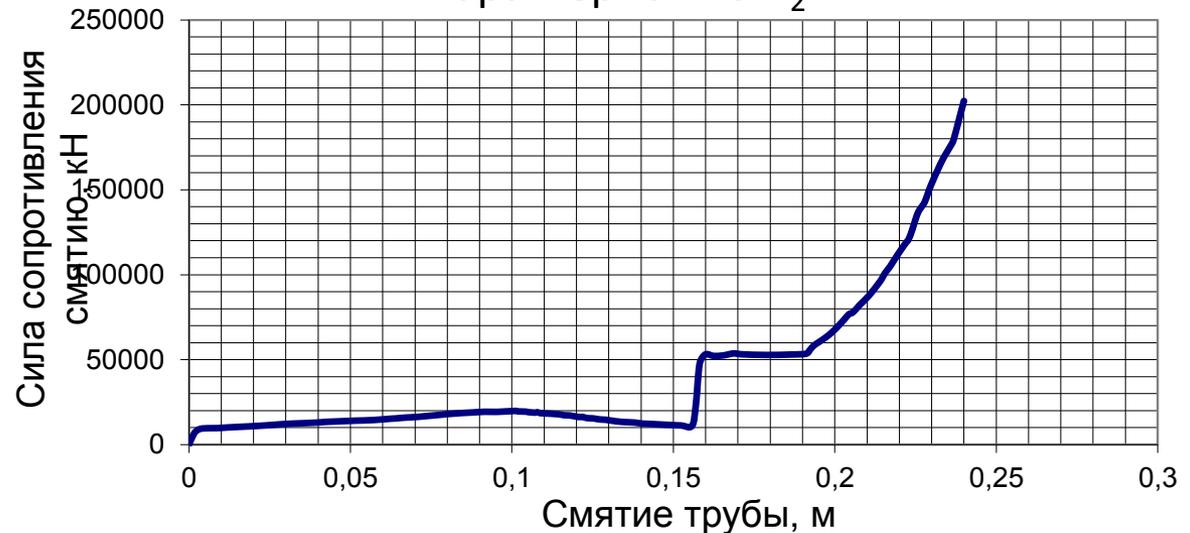
$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 = m_1 g - R_1(z_1) + R_2(z_2 - z_1) \\ m_2 \ddot{z}_2 = m_2 g - R_2(z_2 - z_1), \end{cases}$$

при начальных условиях $z_1 = z_2 = 0, v_1 = v_2 = 0 = 13.3 \text{ м/с}$

Характеристика R_1 *:

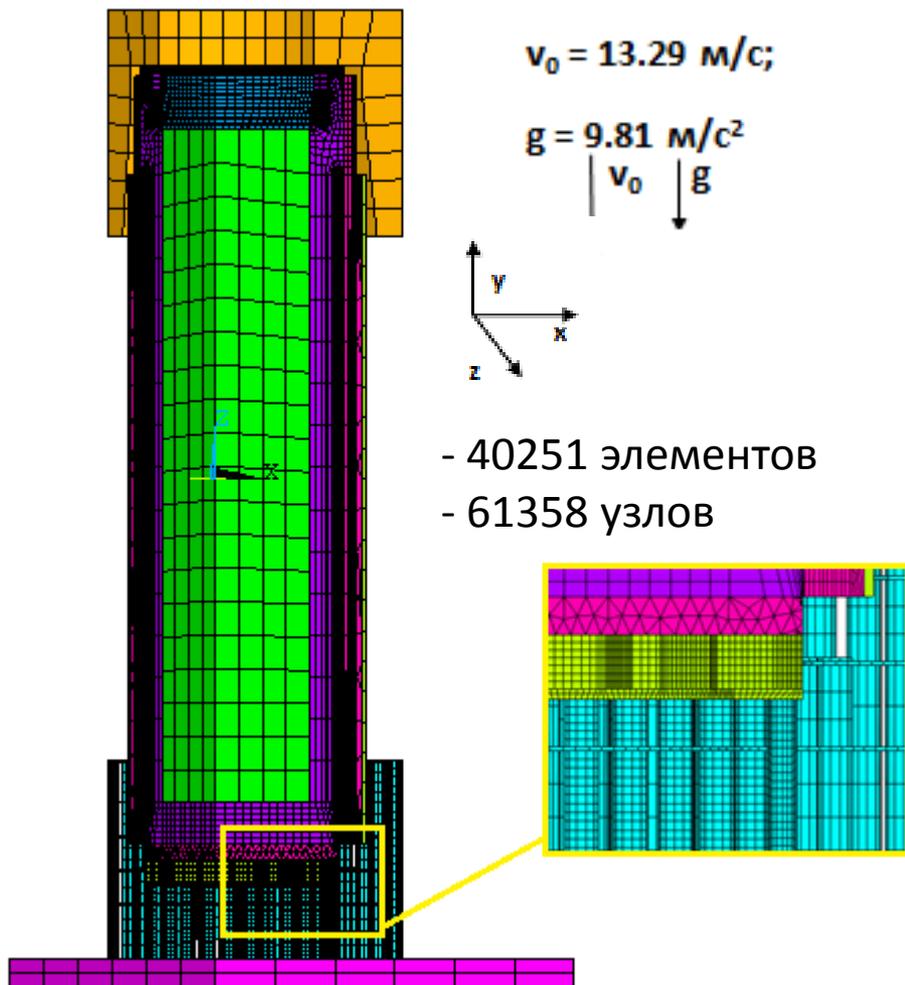


Характеристика R_2 *:



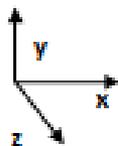
* - данные характеристики взяты из ТУК-146, Технический проект, Расчет на прочность

Вертикальное падение ТУК на абсолютно жесткую преграду крышкой контейнера. Анализ динамических характеристик



$$v_0 = 13.29 \text{ м/с;}$$

$$g = 9.81 \text{ м/с}^2$$



- 40251 элементов

- 61358 узлов

Демпфирующий колпак:

Модуль упругости	$2.1 \cdot 10^{11}$, Па
Коэффициент Пуассона	0.3
Плотность	7850, кг/м ³
Относительное удлинение	37, %
Условный предел текучести	236, МПа
Временное сопротивление	500

Коэффициент трения: $K_{\text{тр.}} = 0.15$

Граничные условия:

- На плоскостях симметрии :

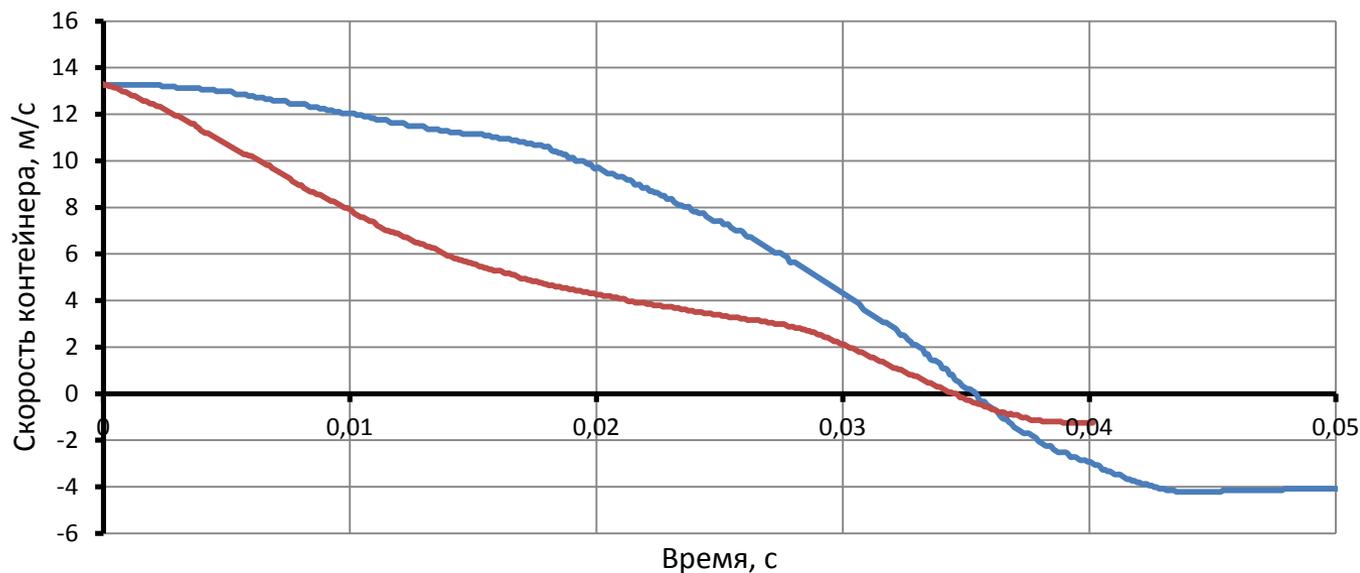
$$U_x = 0; \quad U_z = 0$$

- На нижней плоскости жесткого

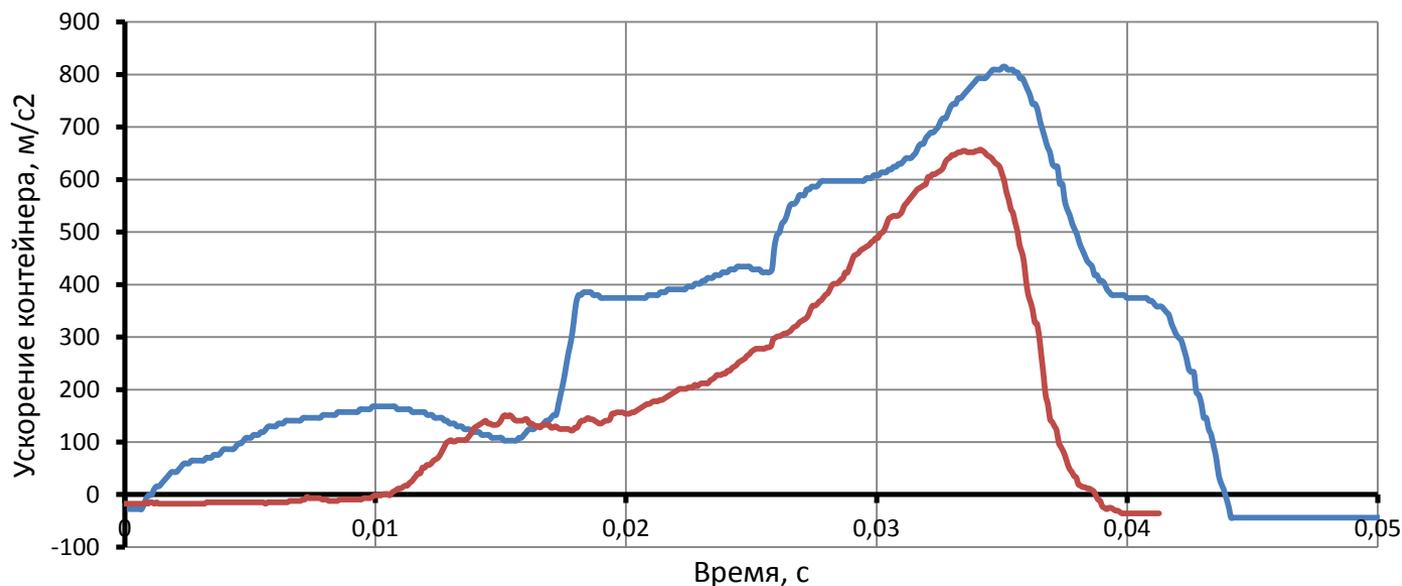
$$\text{основания : } U_x = U_y = U_z = 0$$

Конечно-элементная модель конструкции ТУК при вертикальном падении с 9 м крышкой контейнера на жесткое основание

Вертикальное падение ТУК на абсолютно жесткую преграду крышкой контейнера. Анализ динамических характеристик



— Математическая модель
— Метод конечных элементов



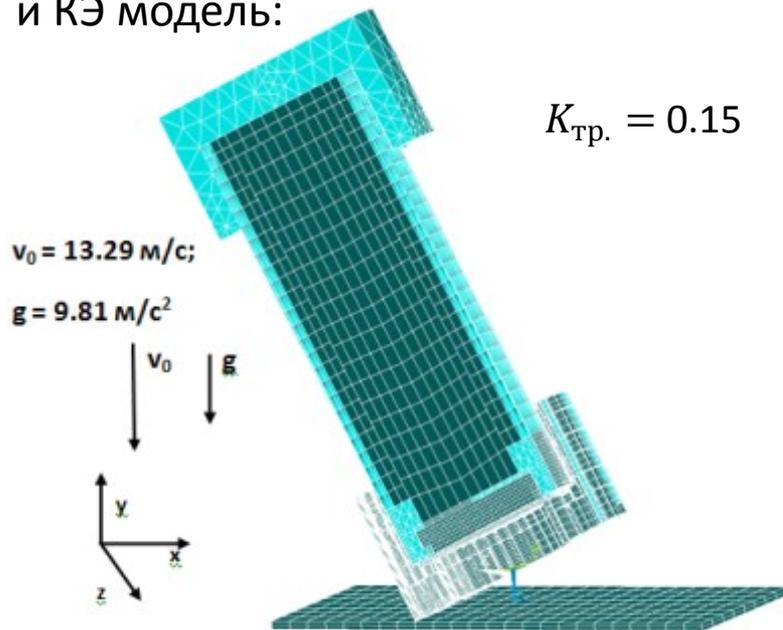
$a_{max} = 814 \text{ м/с}^2$
Перегрузка: 82g

— Математическая модель
— Метод конечных элементов

$a_{max} = 657 \text{ м/с}^2$
Перегрузка: 67g

Падение ТУК под углом с 9 м на жесткое основание

Расчетная схема
и КЭ модель:



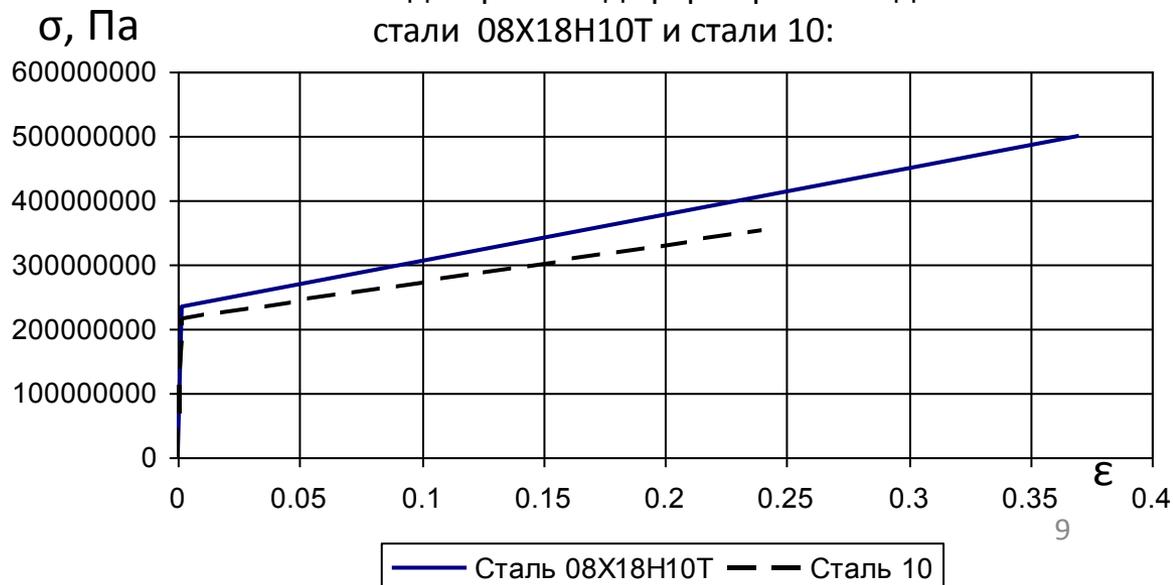
	Расчетный случай 1 (сталь 10)	Расчетный случай 2 (сталь 08X18H10T)
Модуль упругости	$2.1 \cdot 10^{11}$, Па	$2.1 \cdot 10^{11}$, Па
Коэффициент Пуассона	0.3	0.3
Плотность	7850, кг/м ³	7850, кг/м ³
Относительное удлинение	20, %	37, %
Условный предел текучести	250, МПа	236, МПа
Временное сопротивление	450	500

КЭ	Узлы
89 000	123 000

Граничные условия:

- На плоскости симметрии : $U_z = 0$
- На нижней плоскости жесткого основания : $U_x = U_y = U_z = 0$

Билинейные диаграммы деформирования для
стали 08X18H10T и стали 10:

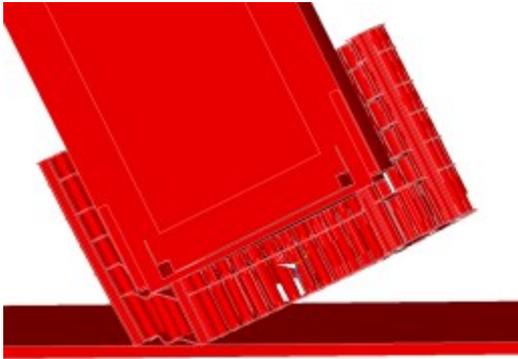


Испытания

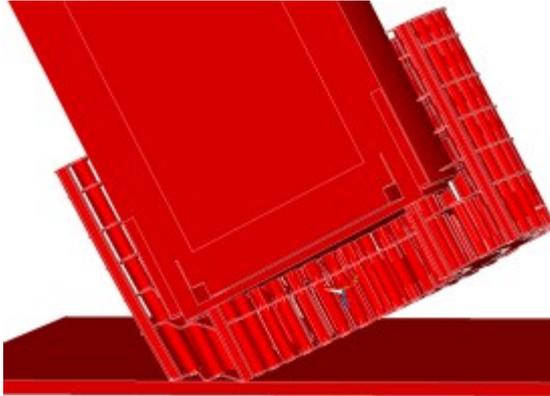
Падение ТУК на угол с 9 метров



Деформированное состояние ТУК-146 в момент времени $t = 0.0195$ с



Первый расчетный
случай (ЗДУ - сталь
10)



Второй расчетный
случай (ЗДУ - сталь
08Х18Н10Т)



Испытание

Деформированное состояние ТУК-146 в момент полного погашения скорости контейнера

Чугунный корпус:

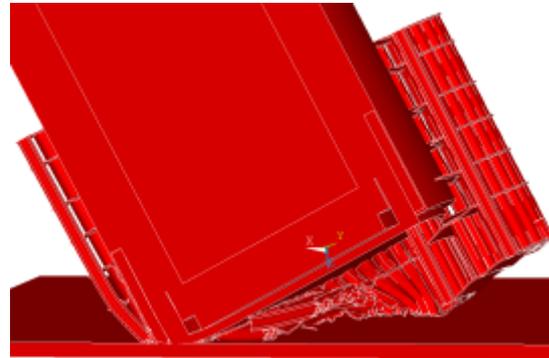
$$\sigma_1 = 202 < [\sigma_1] = 208 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^{\text{ЭКВ}} = 310 \text{ МПа} < [\sigma_2] = 653 \text{ МПа}$$

Наружняя крышка:

$$n = 0,36 < \frac{1}{n} = 0,67$$

Условия прочности выполняются



Первый расчетный случай (ЗДУ - сталь 10)

Чугунный корпус:

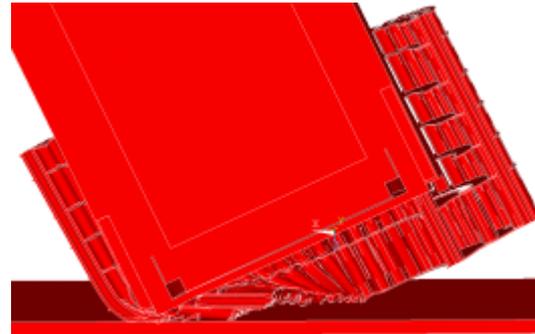
$$\sigma_1 = 186 < [\sigma_1] = 208 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^{\text{ЭКВ}} = 223 \text{ МПа} < [\sigma_2] = 653 \text{ МПа}$$

Наружняя крышка:

$$n = 0,18 < \frac{1}{n} = 0,67$$

Условия прочности выполняются

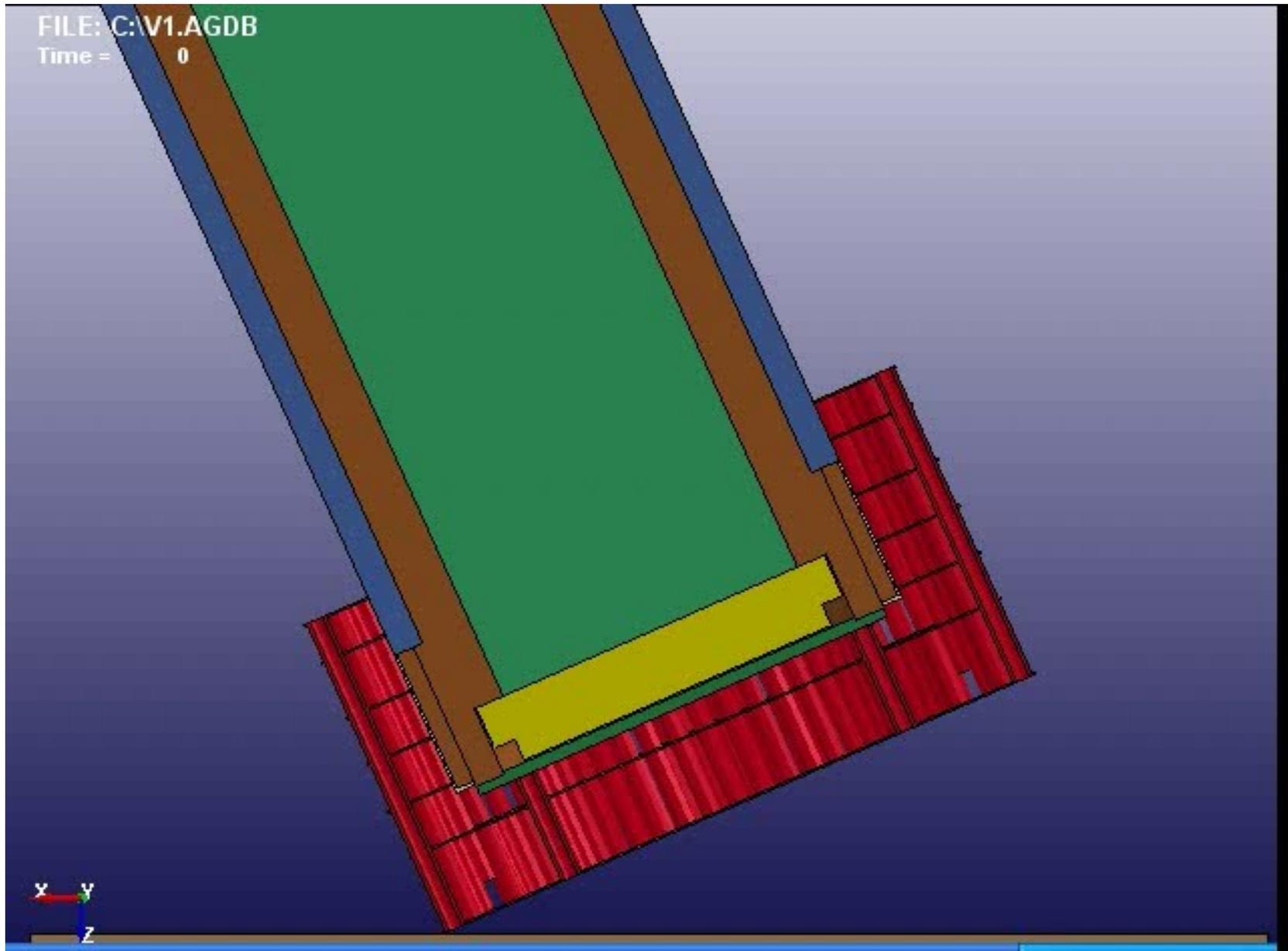


Второй расчетный случай (ЗДУ - сталь 08Х18Н10Т)



Испытание

Падение ТУК-146 (1ый расчетный случай)



Падение ТУК-146 (1ый расчетный случай)

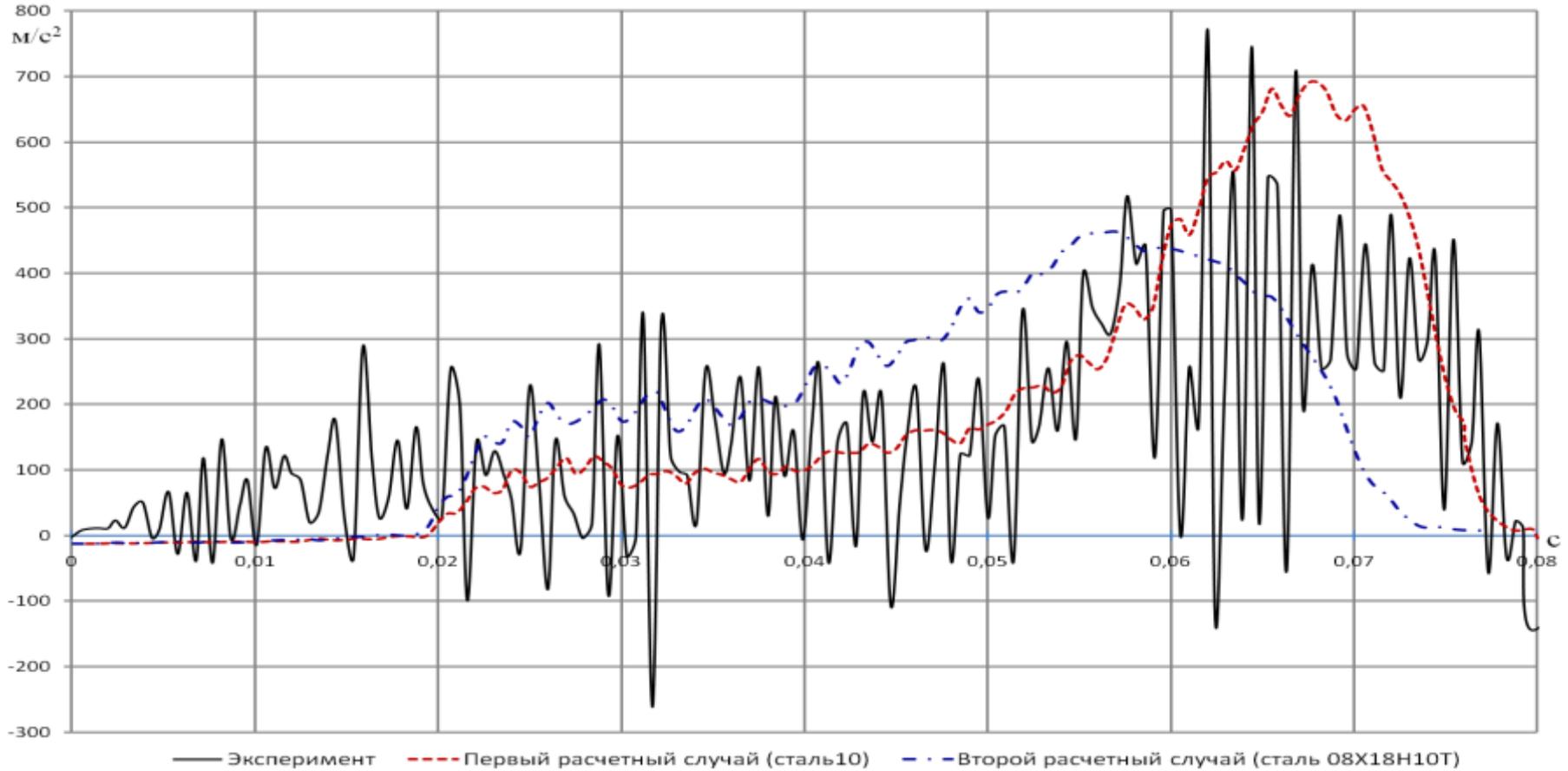
OKIvideo
1/1000 sec
frame : 0
Time : 14:44

1024 x 1024
+00.00.00.000

1000 fps
Start
Date : 2013/12/17



Зависимость ускорения центра тяжести контейнера от времени



Эксперимент:

$a = 730 \text{ м/с}^2$, перегрузка – 74g

Первый расчетный случай:

$a = 698 \text{ м/с}^2$, перегрузка – 71g

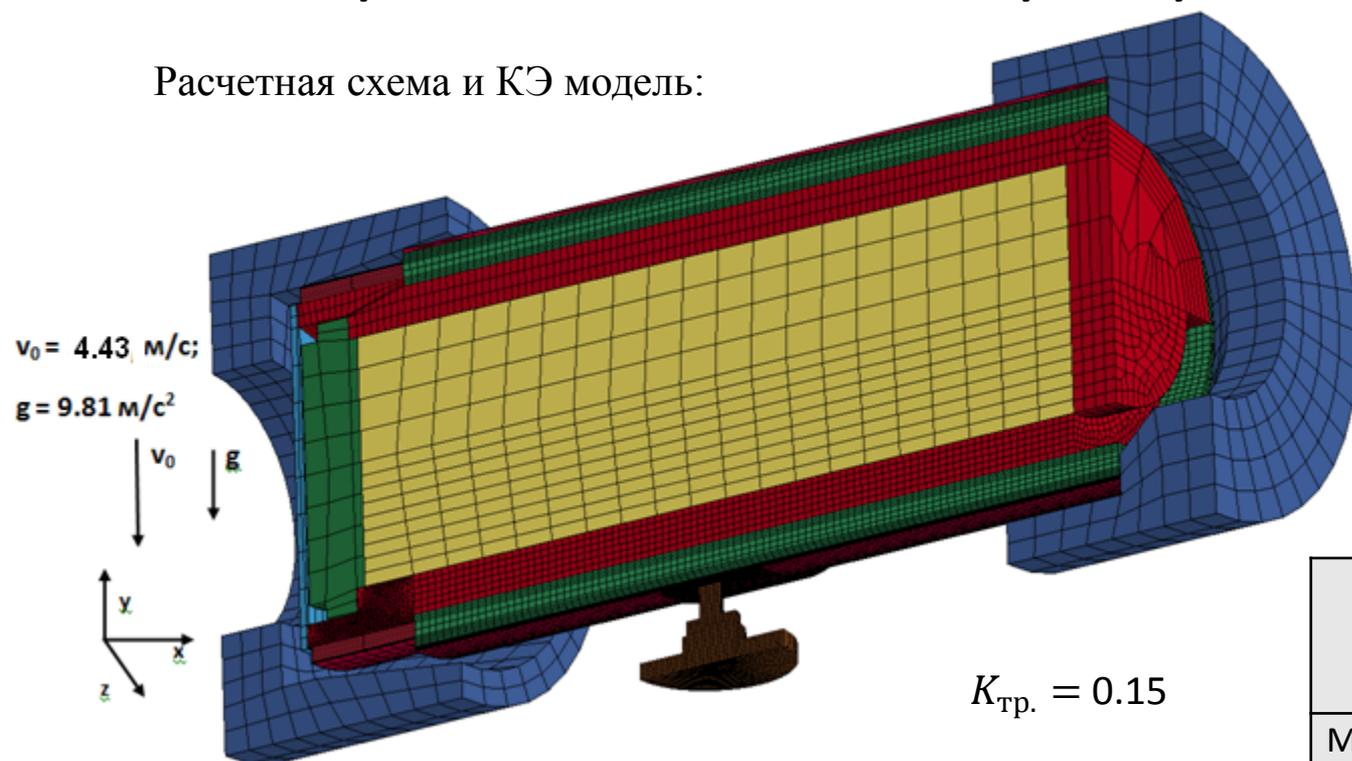
Второй расчетный случай:

$a = 730 \text{ м/с}^2$, перегрузка – 48g

Условия выполнены

Горизонтальное падение ТУК на штырь с 1 метра боковой поверхностью контейнера. Анализ динамических характеристик и НДС контейнера

Расчетная схема и КЭ модель:



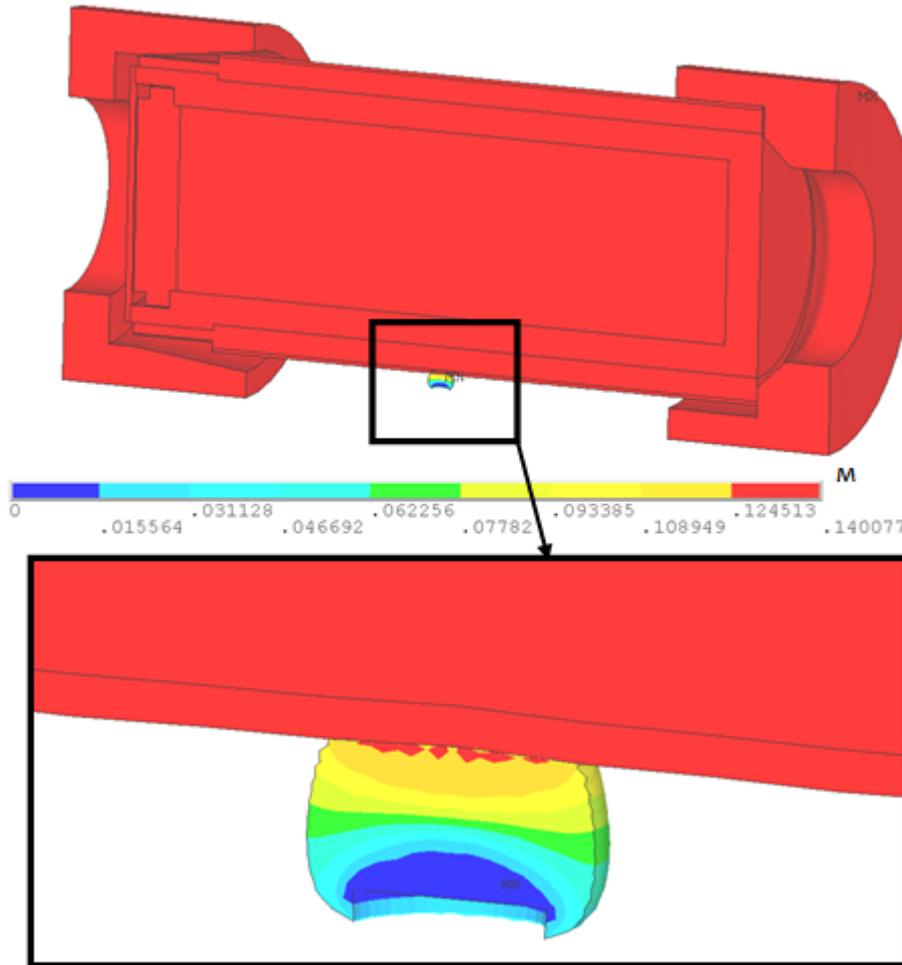
КЭ	Узлы
130 000	170 000

	Материал внешней оболочки
Модуль упругости	$2.1 \cdot 10^{11}$, Па
Коэффициент Пуассона	0.3
Плотность	7850, кг/м ³
Относительное удлинение	37, %
Условный предел текучести	236, МПа
Временное сопротивление	500

Граничные условия:

- На плоскости симметрии : $U_z = 0$
- На нижней плоскости штыря: $U_x = U_y = U_z = 0$

Горизонтальное падение ТУК на штырь боковой поверхностью контейнера. Анализ динамических характеристик и НДС контейнера



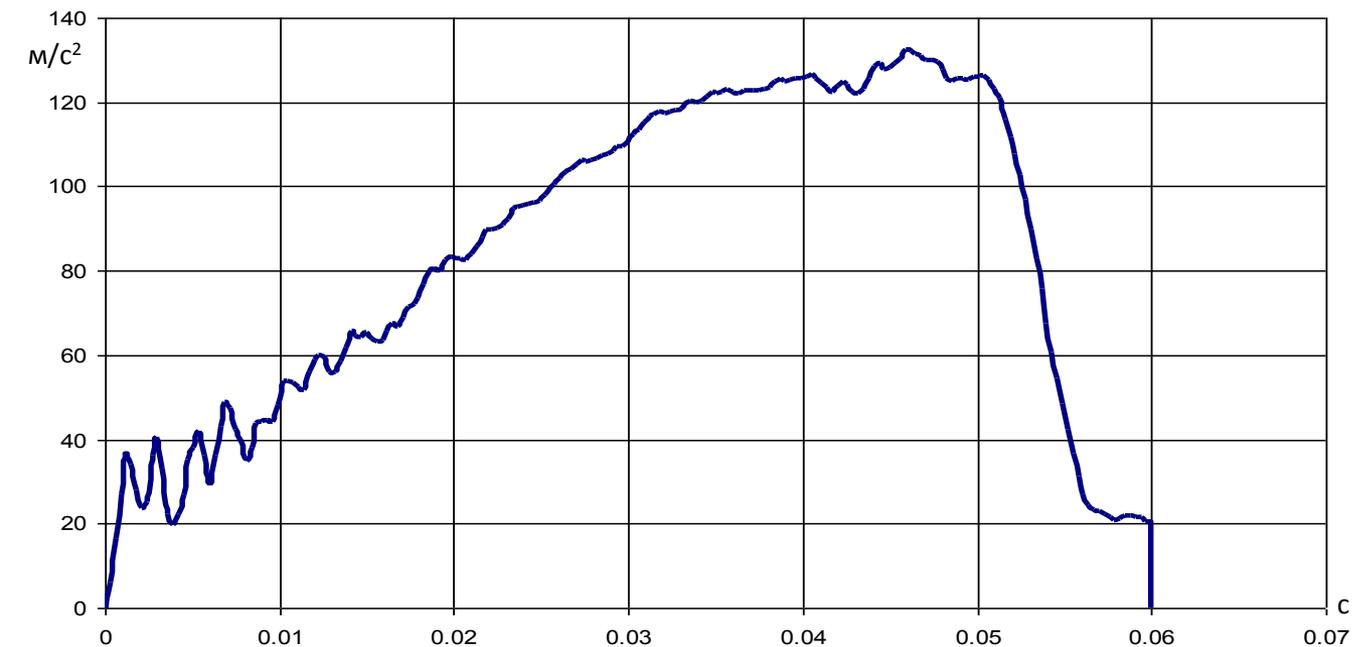
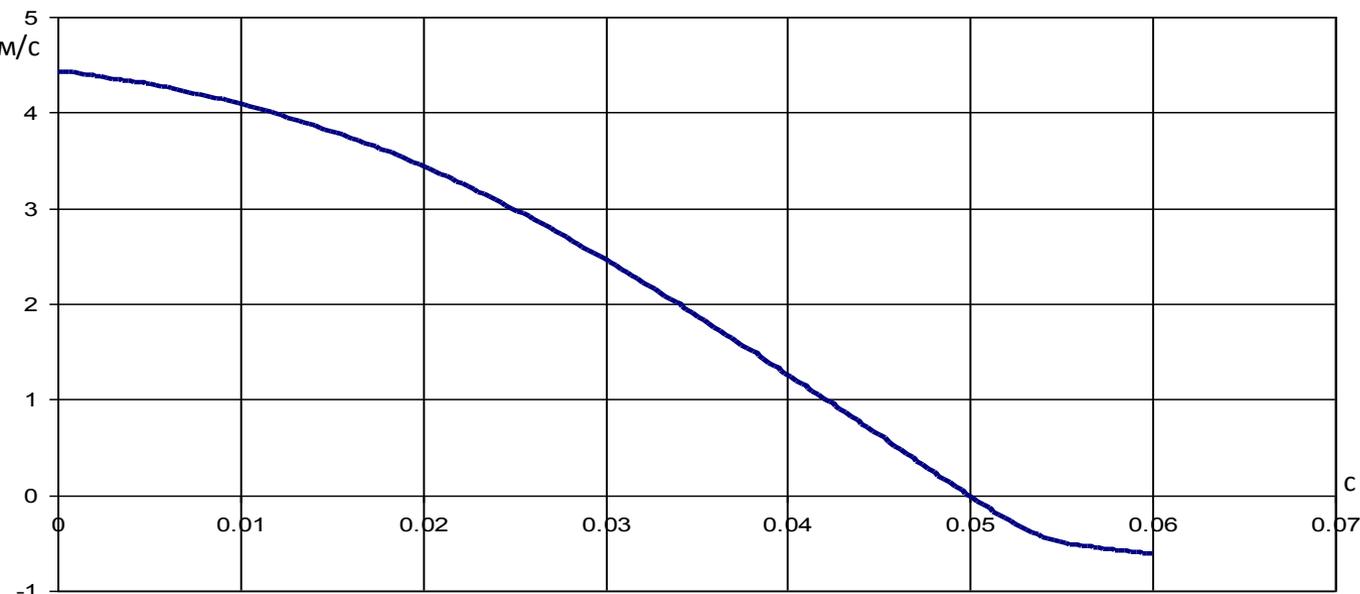
Распределение вертикальных перемещений в конструкции ТУК в момент полного гашения скорости при падении на штырь с 1 м боковой поверхностью контейнера

Чугунный корпус:

$$\sigma_1 = 39 \text{ МПа} < [\sigma_1] = 208 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^{\text{ЭКВ}} = 117 \text{ МПа} < [\sigma_2] = 653 \text{ МПа}$$

Горизонтальное падение ТУК на штырь боковой поверхностью контейнера. Анализ динамических характеристик и НДС контейнера

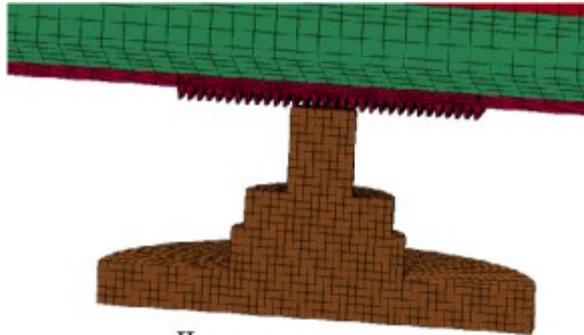


Испытания

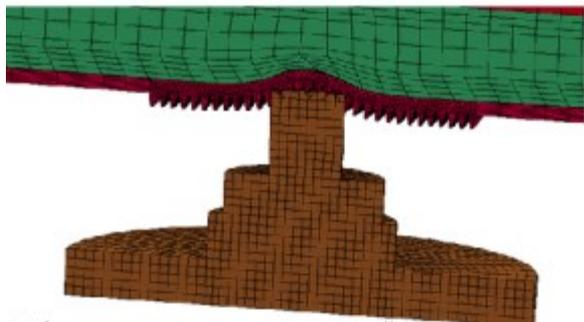
Падение на штырь боковой
поверхностью



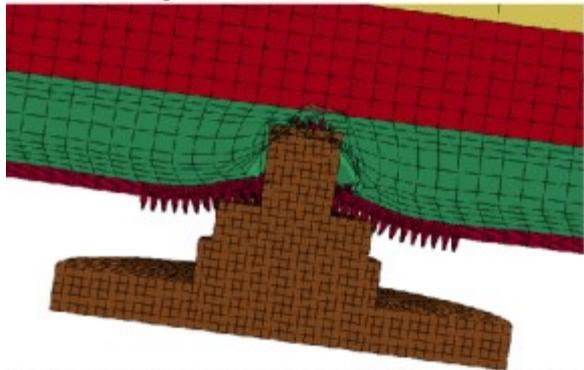
Деформированные состояния ТУК при падении на штырь



Начало процесса удара



Деформированное состояние контейнера в момент времени $t=0.015$ с



Деформированное состояние контейнера в конце процесса удара

Деформированное состояние контейнера ТУК после его испытаний на падения с высоты 1 м на штырь



Чугунный корпус:

$$\sigma_1 = 102 \text{ МПа} < [\sigma_1] = 208 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^{\text{ЭКВ}} = 156 \text{ МПа} < [\sigma_2] = 653 \text{ МПа}$$

Падение ТУК-146 на штырь боковой поверхности

OKIvideo

1/1000 sec

frame : 64

Time : 14:05

1024 x 768

+00:00:00.064

1000 fps

Start

Date : 2013/12/19



Падение ТУК-146 на штырь боковой поверхностью



Заключение

			Уровень перегрузок, g	Герметичность контейнера
Падение с 9 метров	Под углом	МКЭ Расчетный сл. 1	71	+
		МКЭ Расчетный сл. 2	48	+
		Эксперимент (расч. сл. 1)	70	+
	Вертикально	МКЭ Расчетный сл. 2	67	+
		Мат. Модель Расчетный сл. 2	82	
Падение с 1 метра на штырь		МКЭ Расчетный сл. 1	14	+
		МКЭ Расчетный сл. 2	-	+
		Эксперимент (расч. сл. 1)	-	+
Допустимое значение			200	+

Спасибо за внимание!

