

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УПАКОВОК С ОЯТ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

*Рябов А.А., Романов В.И., Куканов С.С., Маслов Е.Е., Леонтьев С.В., Цибереv К.В.  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г.Саров*

# Семейство транспортных упаковочных комплектов РФЯЦ-ВНИИЭФ



ТУК-117	ТУК-109Т	ТУК-137Т	ТУК-137Д	ТУК-S «Швейцария»	ТУК-С
36 ОТВС	150 ампул ПТ	18 ОТВС	20 ОТВС	31 ОТВС	30 ОТВС
ВВЭР-1000	РБМК-1000	ВВЭР-1000	ВВЭР-1000	РWR-1000	ЭГП-6
перевозка и длительное хранение	перевозка и промежуточное хранение	перевозка и промежуточное хранение	перевозка и длительное хранение	перевозка и длительное хранение	перевозка воздушным транспортом

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» с начала 90-х годов активно развивает направление деятельности в интересах атомной энергетики. Одним из таких направлений является разработка транспортных упаковочных комплектов (ТУК), предназначенных для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Одной из важнейших задач, стоящих перед разработчиками ТУК, является обеспечение безопасности конструкции в аварийных условиях транспортировки, регламентированных российскими и международными нормами. Одними из наиболее жестких аварийных механических воздействий на упаковки типа В является свободное падение под любым углом с высоты 9 метров на жесткое основание и падение с высоты 1 метр на штырь, а для упаковки типа С – удар о жесткую преграду со скоростью не менее 90 м/с.

## Базовые компоненты

### Супер-ЭВМ



Отечественное прикладное программное обеспечение для имитационного моделирования на супер-ЭВМ

#### ЛОГОС-

Тепломассоперенос



ЛОГОС-Прочность  
(ЛЭГАК-ДК)



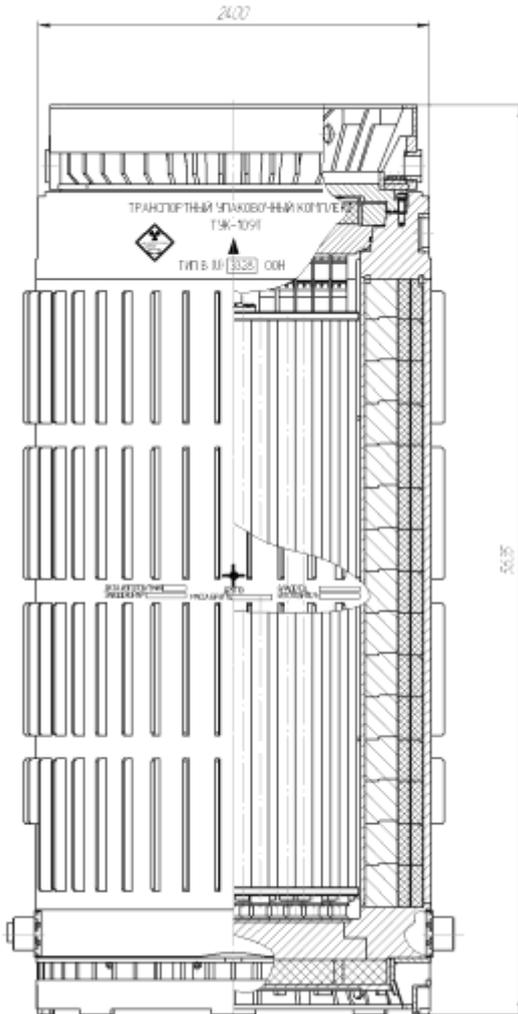
ДАНКО+ГЕПАРД



НИМФА

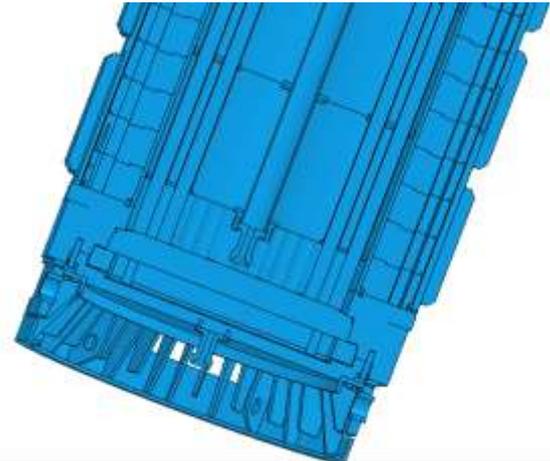


# ТУК-109Т (АТ749)



Общий вид

- 150 ампул с пучками ТВЭЛов РБМК-1000
- Высота – 5635 мм, диаметр – 2400мм.
- Многослойный цилиндрический корпус с нейтронной и радиационной защитой
- Две герметизирующие крышки.
- Стальные торцевые демпферы, боковые ребра.
- Полная масса 106т

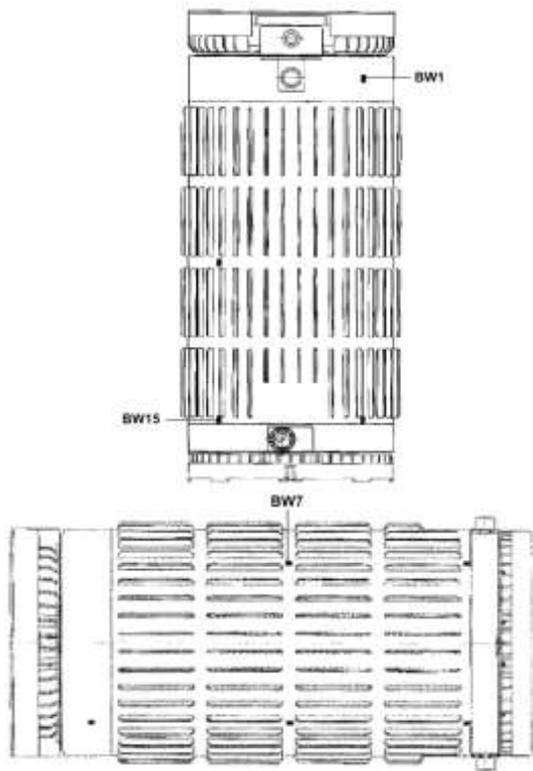


Угловое падение на верхний демпфер с высоты 9м

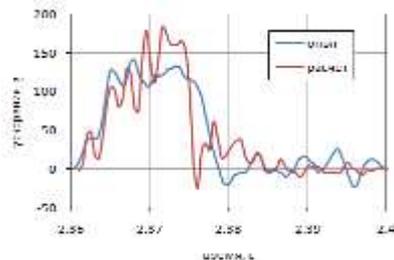


ТУК-109Т перед падением с высоты 9м. 2013г.

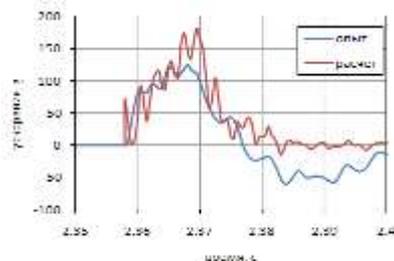
# ТУК-109Т – сравнение результатов расчетов и экспериментов



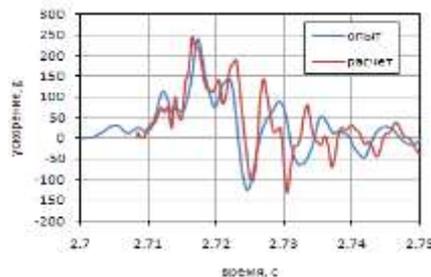
На основе сравнительного анализа расчетных результатов с результатами испытаний полномасштабного образца ТУК-109Т подтверждена высокая точность расчетного прогноза, выполненного до проведения испытаний.



Датчик BW1



Датчик BW15



Датчик BW7



Эксперимент

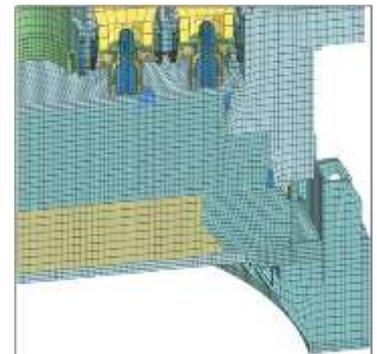
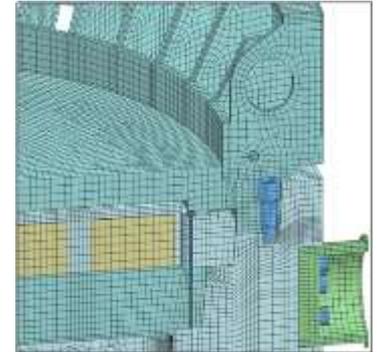
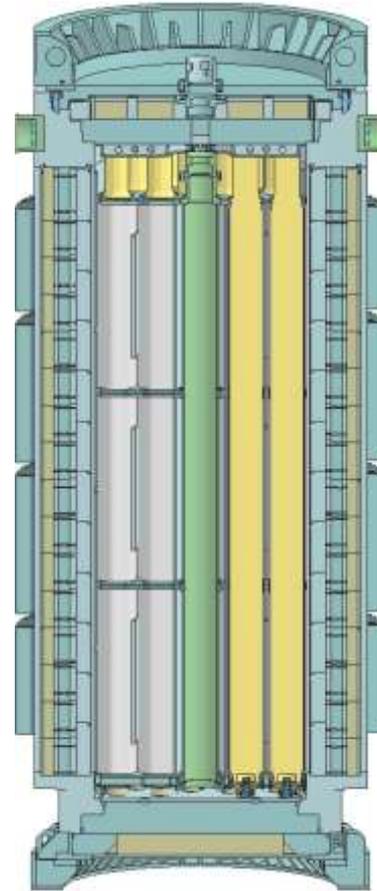
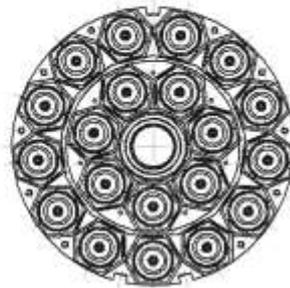
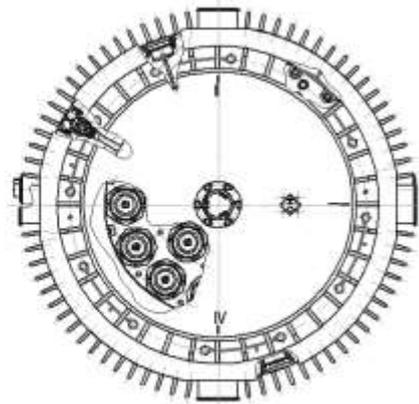
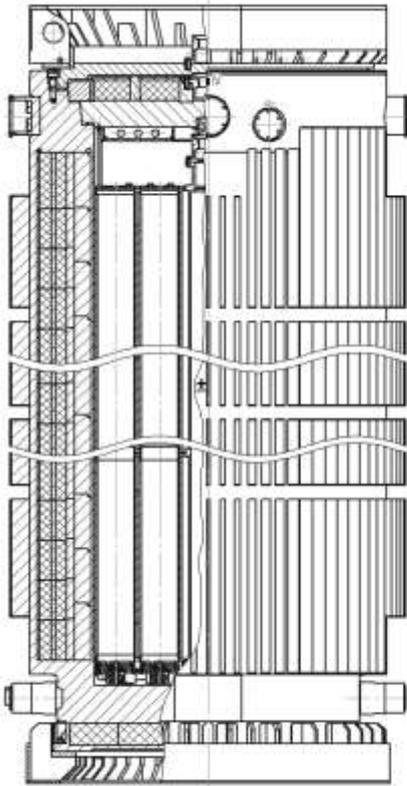


Расчет



	Опыт	Расчет
Глубина вмятины	75 мм	76 мм

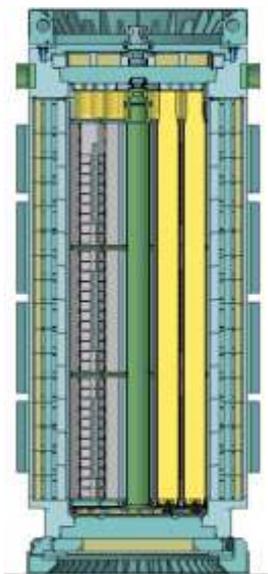
# ТУК-137Д (АТ758)



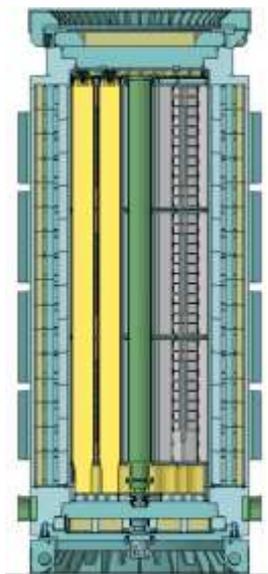
- 20 ОТВС ВВЭР-1000/1200
- Высота – 6260 мм, диаметр – 2400мм.
- Полная масса 120т

Компьютерная модель ТУК-137Д  
8 640 000 конечных элементов

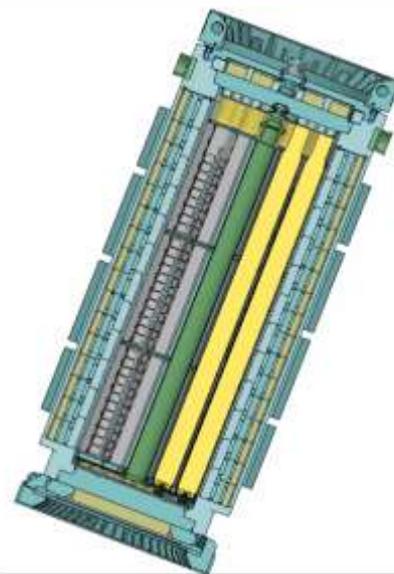
# ТУК-137Д – результаты расчетов аварийных падений с высоты 9м



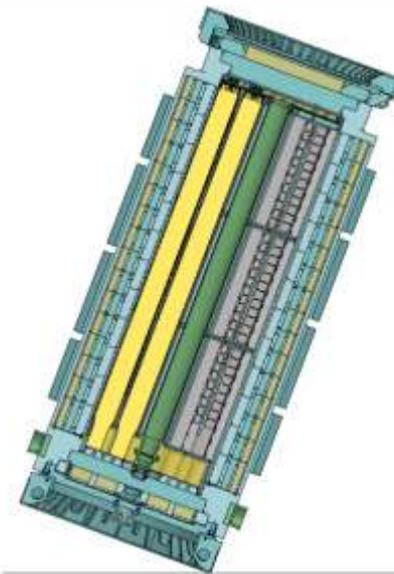
Падение на  
нижний демпфер



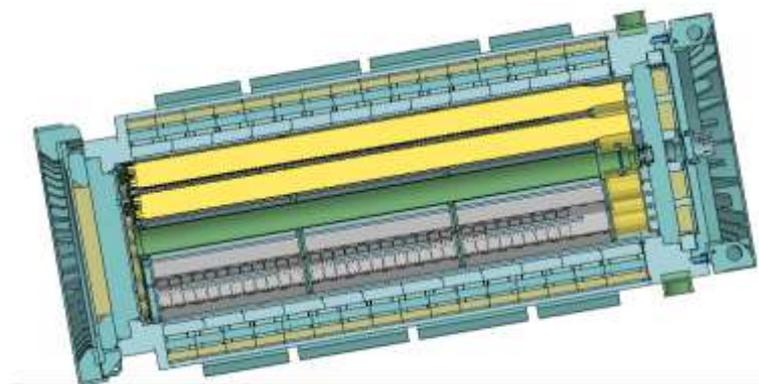
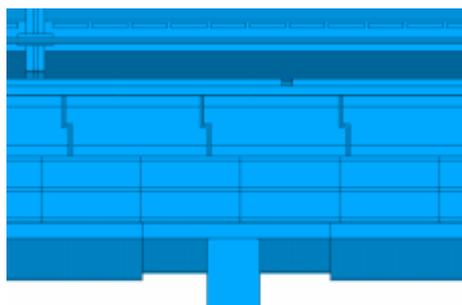
Падение на  
верхний демпфер



Угловое падение на  
нижний демпфер

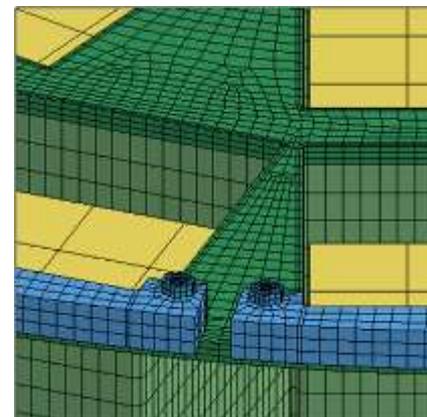
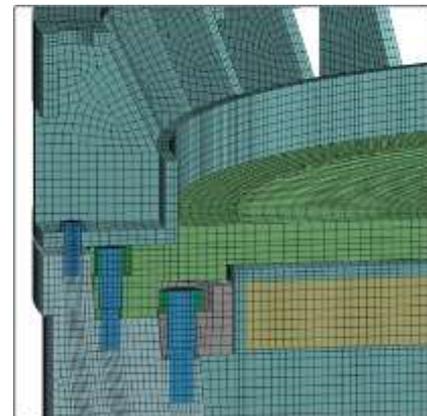
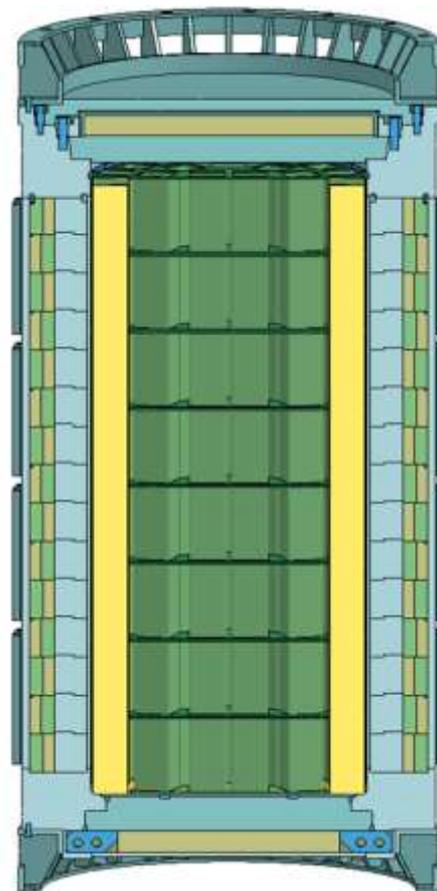
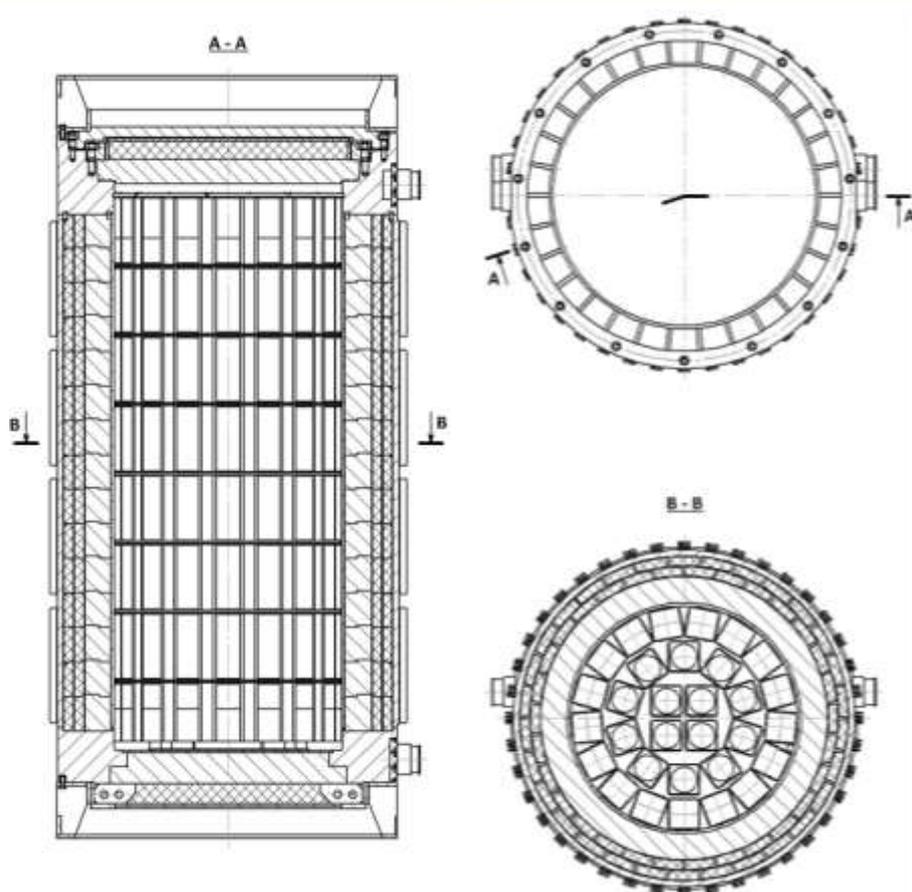


Угловое падение на  
верхний демпфер



Боковое падение под углом 10°

# ТУК-S «Швейцария» (АТ759)

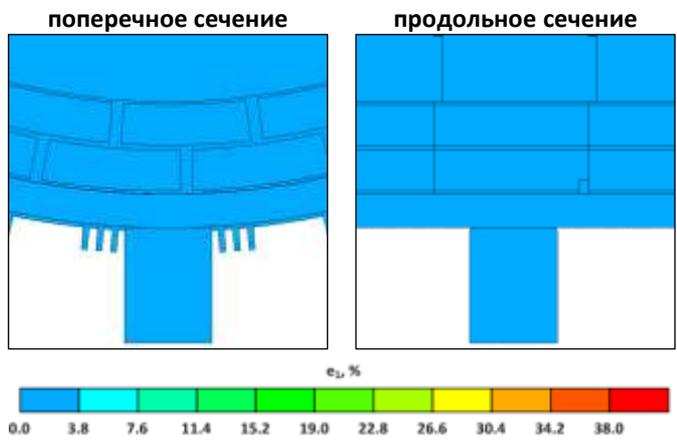
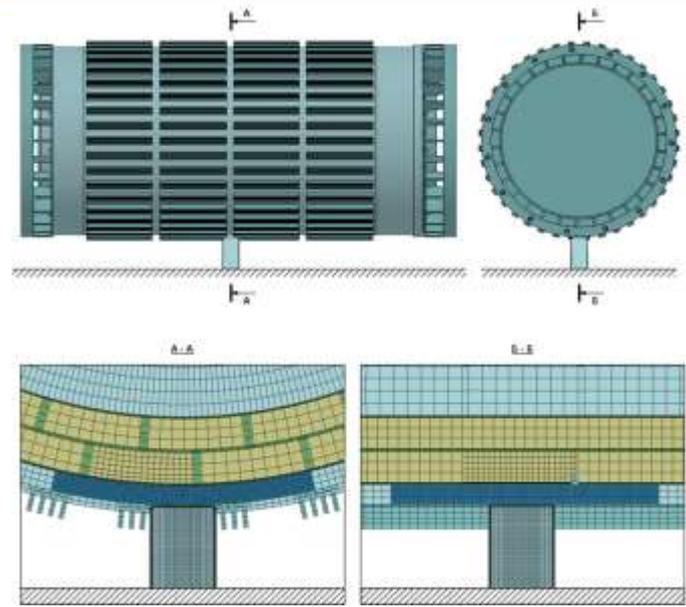
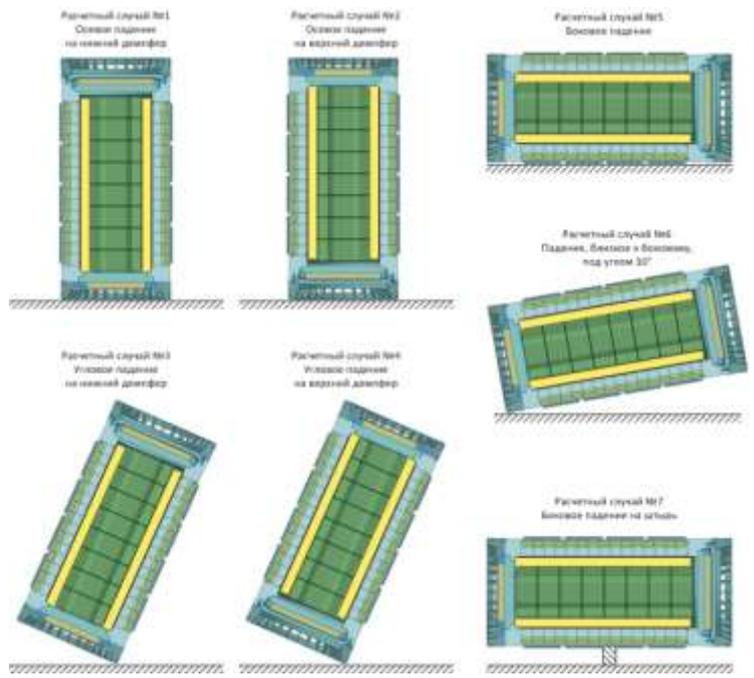


- 31 ОТВС реактора PWR
- Высота – 5835 мм, диаметр – 2700мм.
- Полная масса 128т

Компьютерная модель ТУК-137Д

8 800 000 конечных элементов

# ТУК-S «Швейцария» (АТ759)

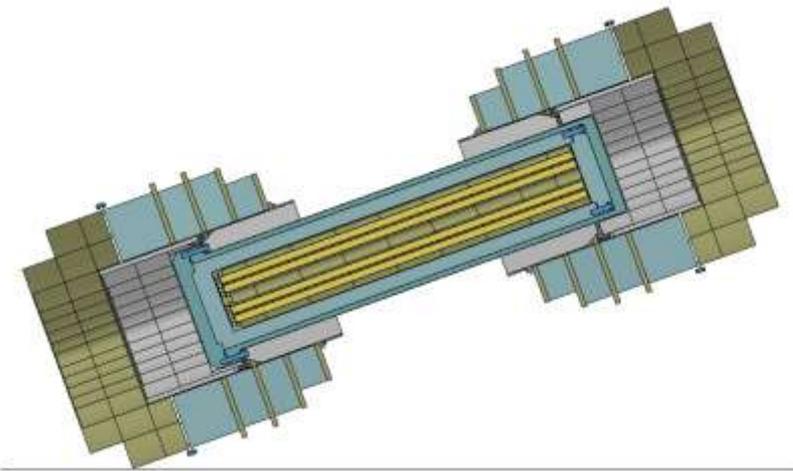
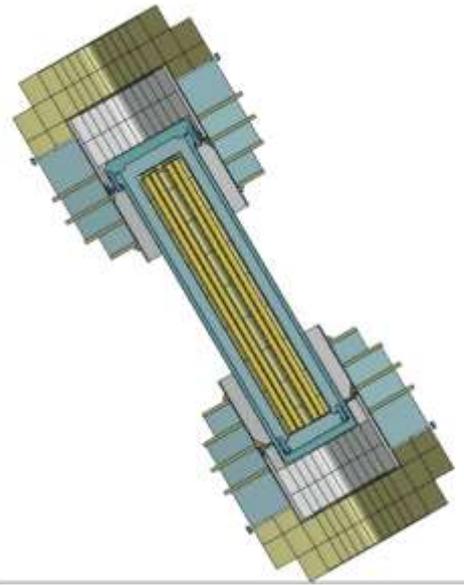
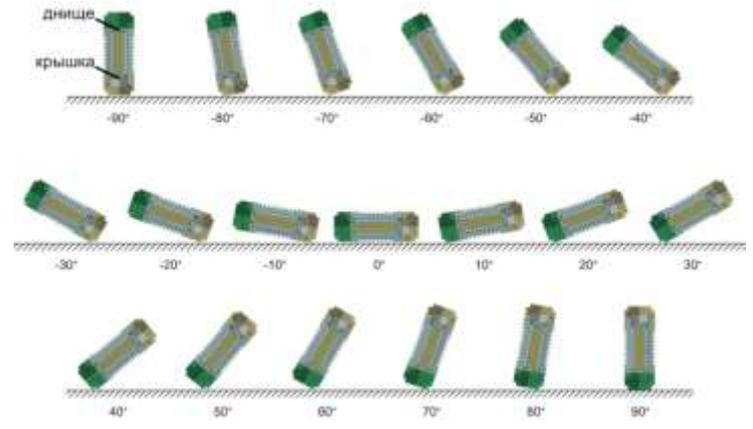


Развитие растягивающих деформаций в корпусе контейнера

# ТУК-С – вывоз ОЯТ с Билибинской АЭС воздушным транспортом



19 расчетных случаев



Удар о жесткую преграду на скорости 90 м/с

На примере успешного опыта разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» семейства транспортных упаковочных комплектов, показаны практически значимые возможности современного трехмерного имитационного моделирования применительно к решению задач прочности конструкций контейнеров для транспортировки ядерного топлива АЭС.

Результаты проведенных исследований показывают, что квалифицированное применение имитационного моделирования позволяет уже на стадии разработки конструкции выявлять ее недостатки и формулировать рекомендации по их устранению, и тем самым существенно сокращать материальные и временные затраты на проектирование и испытания.

**СПАСИБО  
ЗА  
ВНИМАНИЕ!**