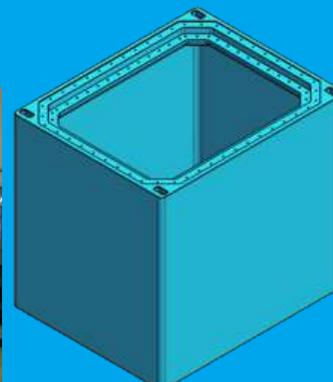


# Siempelkamp

Упаковочные комплекты и контейнеры из высокопрочного чугуна для хранения и захоронения РАО



# Структура Siempelkamp

**Siempelkamp Group 2011**  
Принятые заказы: 628.2 млн. €  
Оборот: 704.6 млн. €  
Штат: 3306



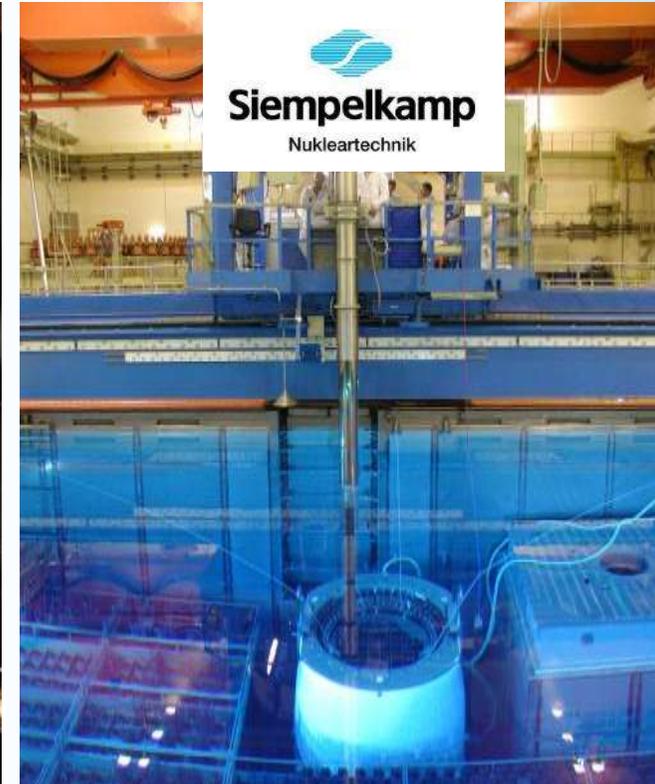
**Siempelkamp**  
Maschinen- und Anlagenbau

**Производственное оборудование:**  
Планирование и строительство фабрик под ключ для деревообрабатывающей промышленности, металлообработки и каучуковой промышленности.



**Siempelkamp**  
Giesserei

**Литейное производство:**  
Изготовление отливок оригинальной формовки из чугуна со сфероидальным графитом от 3 до 300 тонн.



**Siempelkamp**  
Nukleartechnik

**Атомная энергетика:**  
Продукты и услуги для ядерных объектов.

# Siempelkamp Nukleartechnik: факты и цифры 2012 г.

## Персонал



\* excluding apprentices

## Млн.Евро



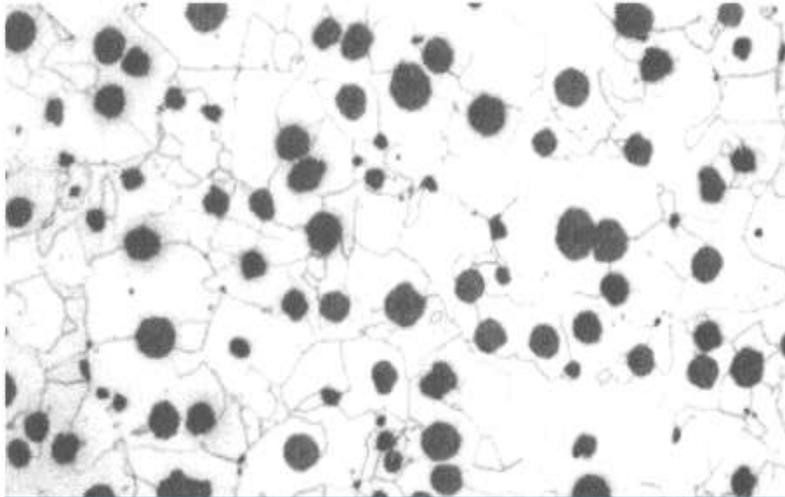
# Изготовление контейнеров



## Транспортирование и хранение радиоактивных отходов



# Материал: высокопрочный чугун



Микроструктура ферритного высокопрочного чугуна GJS-400

Чугун с шаровидным графитом в соответствии с DIN EN 1563 как GJS-400 в Европе и в ASTM A A 874 M-89 в США

## Технические характеристики высокопрочного чугуна (= чугуна с шаровидным графитом)

- **Матрица:** ферритный чугун
- **Углерод:** 3.3 – 3.8 % массы, преимущественно внедренной в матрицу как графитовые гранулы с небольшой долей перлита, поэтому отличается существенно большей прочностью, чем чугун с пластинчатым графитом

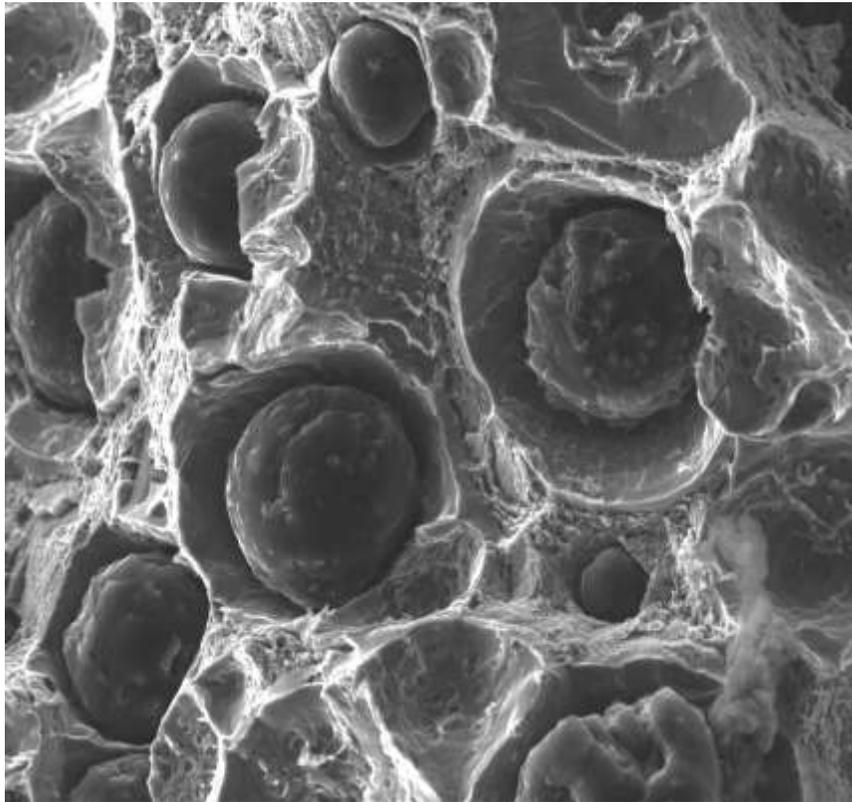
## Технические характеристики при комнатной температуре

- **предел текучести:**  $\geq 230$  МПа
- **предел прочности:**  $\geq 330$  МПа
- **относительное удлинение:**  $\geq 8\%$
- **вязкость разрушения:**  $\geq 50$  МПа (при  $-40^\circ\text{C}$ )
- **плотность:**  $\geq 7.1$  г/куб.см
- **коррозия:** после первичной коррозии формируется плотная, прилегающая, защитная оксидная пленка

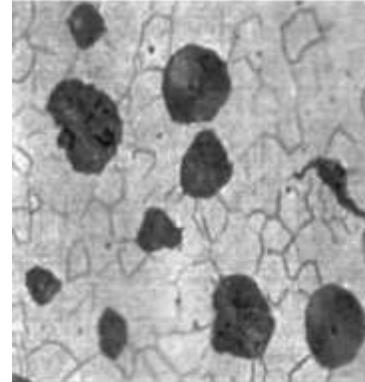


# Материал: высокопрочный чугун

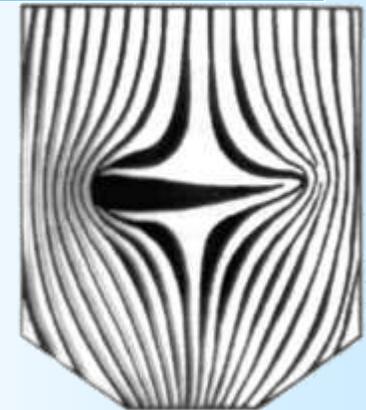
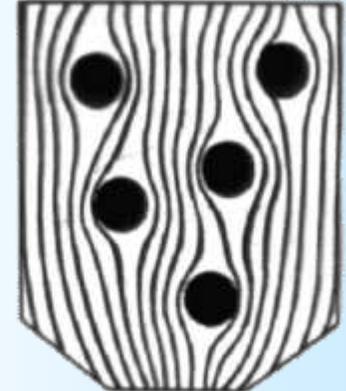
Высокопрочный чугун: минимальное напряжение, низкая концентрация напряжений



графитовые гранулы в отливке из высокопрочного чугуна



Серый чугун: максимальное напряжение, высокая концентрация напряжений





## Отливка контейнеров

- отобранное сырье и присадки наряду с химическим анализом обеспечивают безопасное изготовление в электрических печах
- процесс отливки занимает менее 120 секунд
- многократно используемая литейная форма обеспечивает быструю кристаллизацию и тем самым оптимальную микроструктуру
- объем расплавленного чугуна достигает 160 метрических тонн

ZDF

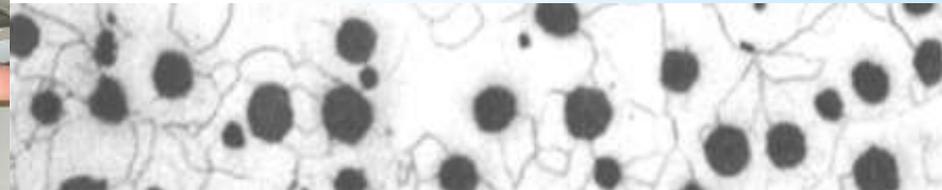
abenteuer  
wissen 



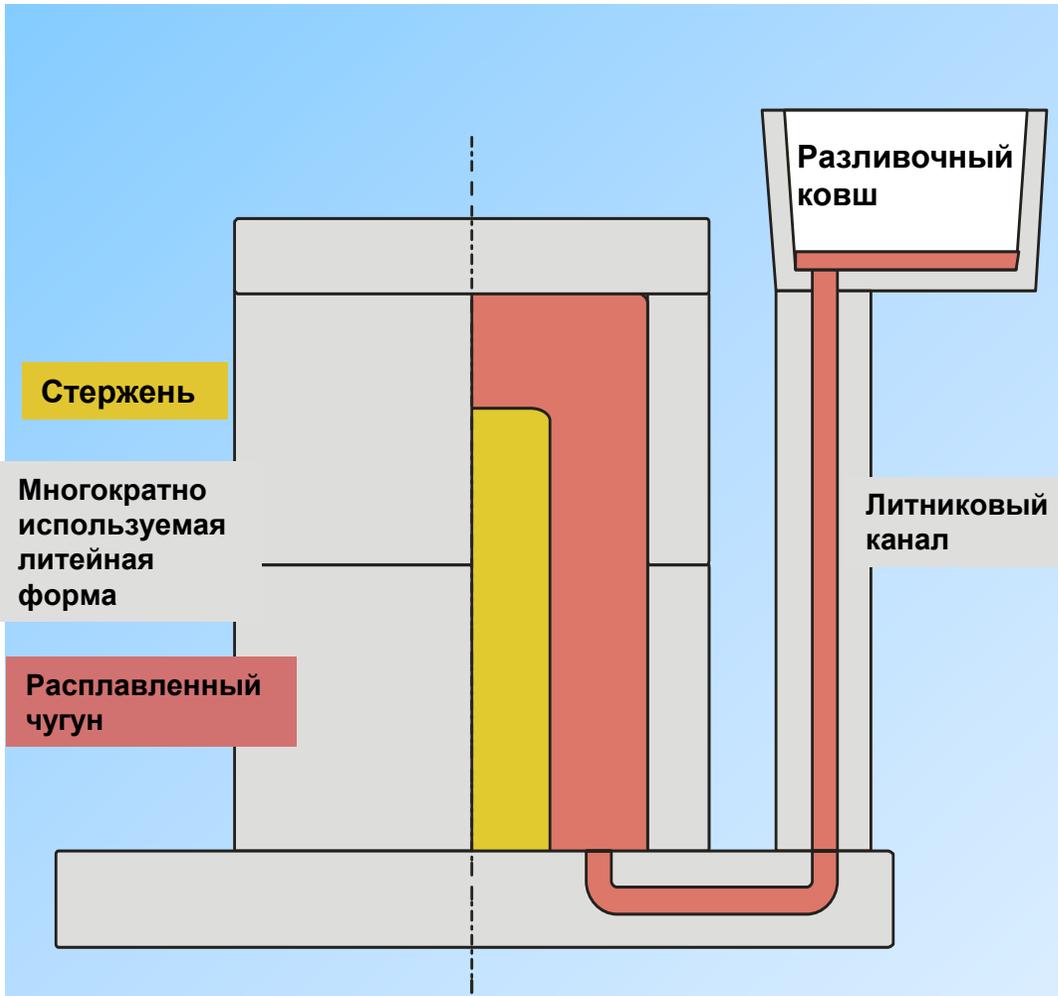
# Гарантия качества



- **извлечение образцов методом сверления**
- **определение механических и технологических свойств (например, испытание на разрыв, структурный анализ)**
- **100% ультразвуковой контроль, проводимый SNT**
- **контроль проникающим красителем, проводимый SNT**
- **100 % контроль измерений**
- **изготовление и приемка согласно техническим требованиям**



# Основная схема изготовления отливки



## Ограничение турбулентности с помощью вертикального литья

### Технические характеристики:

- **равномерное заполнение изложницы**  
→ **равномерное распределение температуры и тепловой нагрузки**
- **ограниченный забор кислорода**  
→ **сокращение дефектов структуры**
- **перенос частиц остаточного шлака на дно контейнера**  
→ **упрощение процесса механической обработки**



## Перечень выполненных работ

(с 31/12/2011 по настоящее время изготовлено 10518 контейнеров)

Тип	Количество, штук
CASTOR® *	613
MOSAİK® *	6646
Чугунный контейнер (CIC) *	251
Гранулированный бетонный контейнер	2802
Особый контейнер	206
Всего	10518

# Контейнеры для немецкого рынка



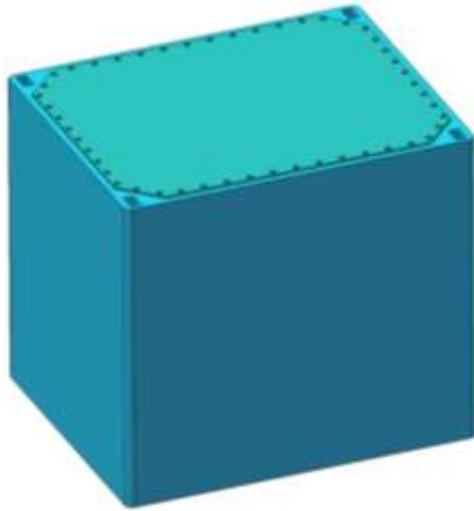
## Номенклатура изделий

- **CASTOR®** - корпуса контейнеров
- **MOSAİK®** - контейнеры
- **Чугунные контейнеры**



# Контейнеры для международного рынка

## BlueBox™ и Blue Barrel



**BlueBox™**



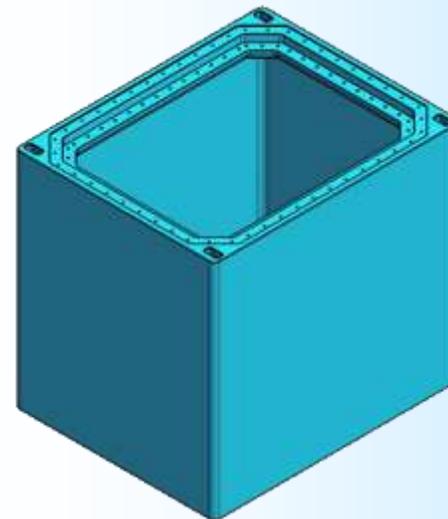
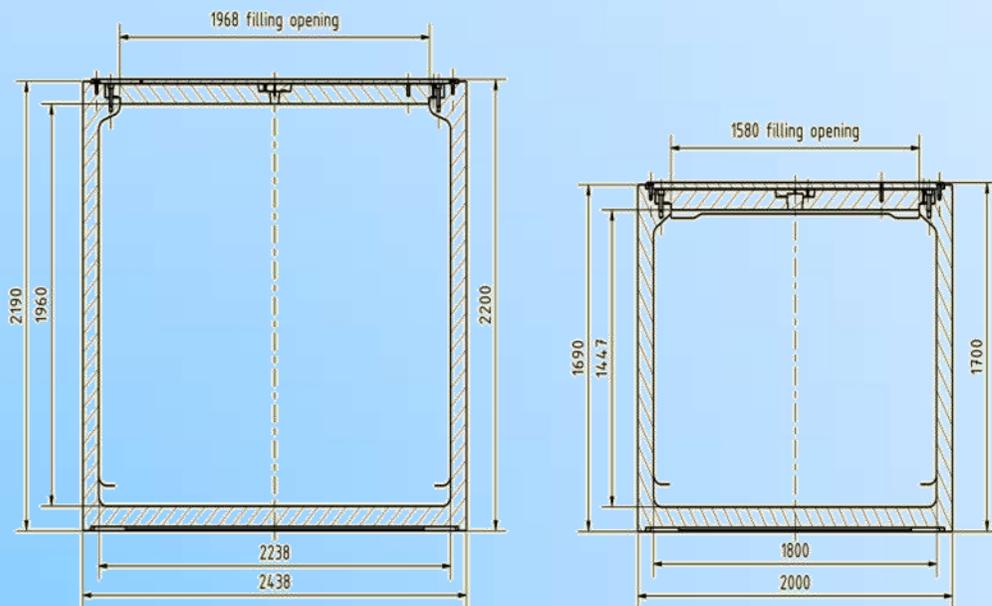
**BlueBarrel**

- Разработка новых типов контейнеров на основе международных стандартов
- Успешное начало процедуры лицензирования в соответствии с международными стандартами (концептуальные оценки, испытания на бросание)

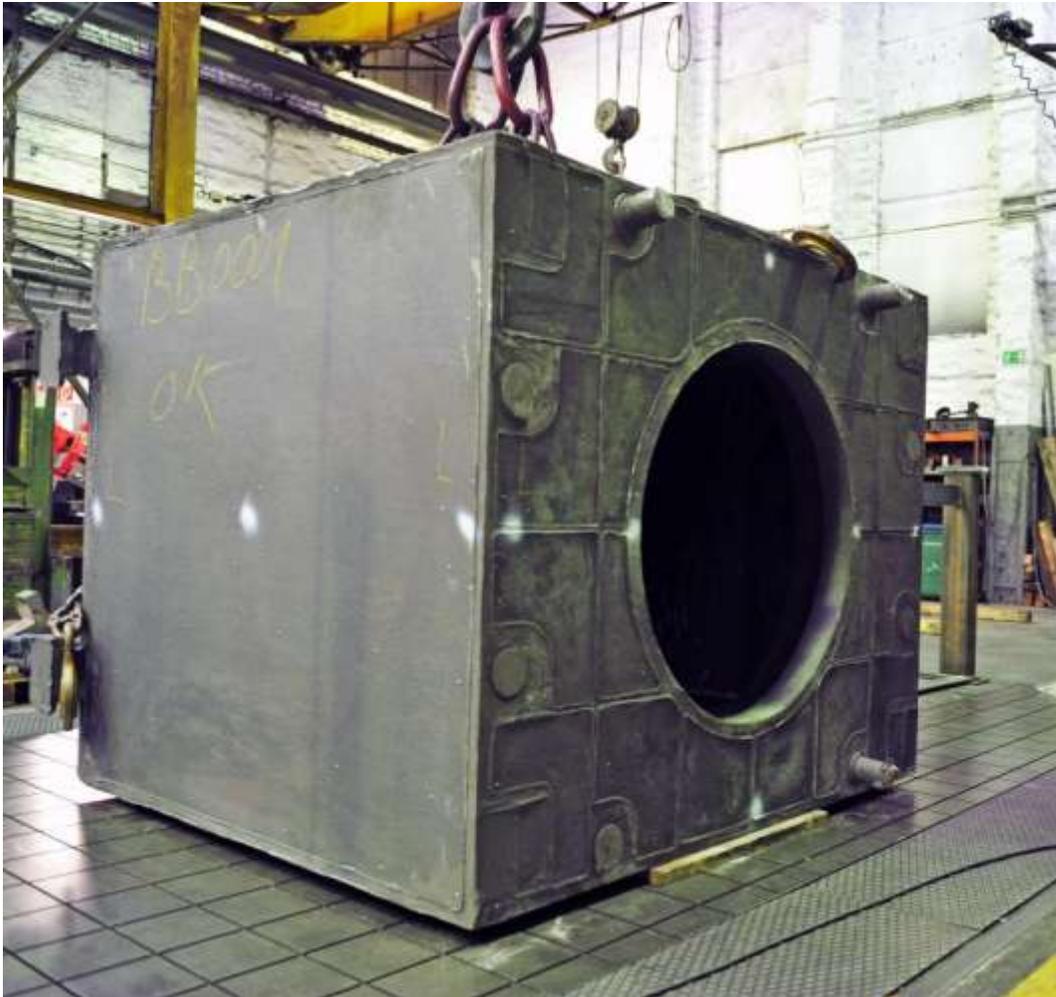
# Контейнеры для международного рынка

## BlueBox™ – два основных исполнения (1/2)

- прямоугольные отверстия для эффективной загрузки
- дополнительные литые защитные элементы за отверстиями поворотного замка
- скругленные со всех сторон края контейнера

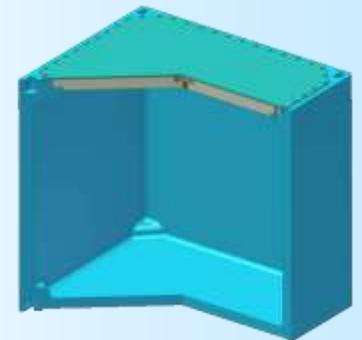


# Контейнеры для международного рынка



## Контейнер BlueBox™ (2/2)

- 4 установочные точки крепления, каждая на верхней и нижней части (принцип поворотного замка)
- самоцентрируемое штабелирование без дополнительной помощи
- дезактивационный слой краски на внешней поверхности
- Испытания на бросание в NUTEC (UK), 17 февраля 2013 – высота 5.2 m, пустой контейнер



# Контейнеры для международного рынка

Испытание на падение с 5.2 м высоты для упаковок типа BlueBox™



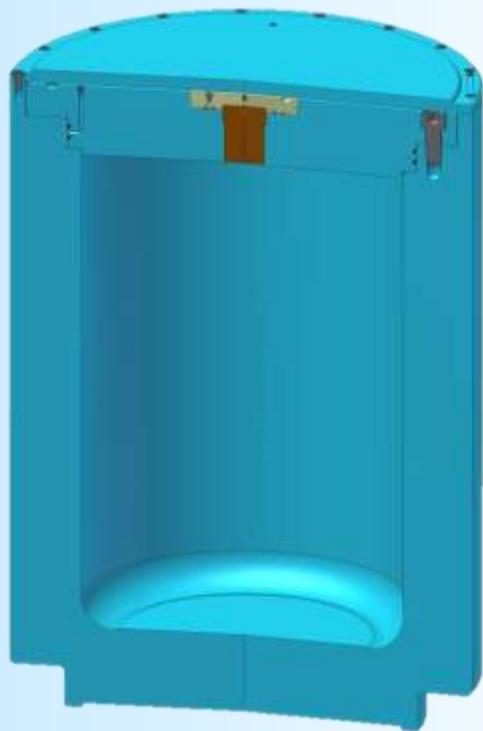
Испытание проведены в  
INUTEC (Великобритания)

17 февраля 2013

Пустой контейнер с высоты  
5.2 м

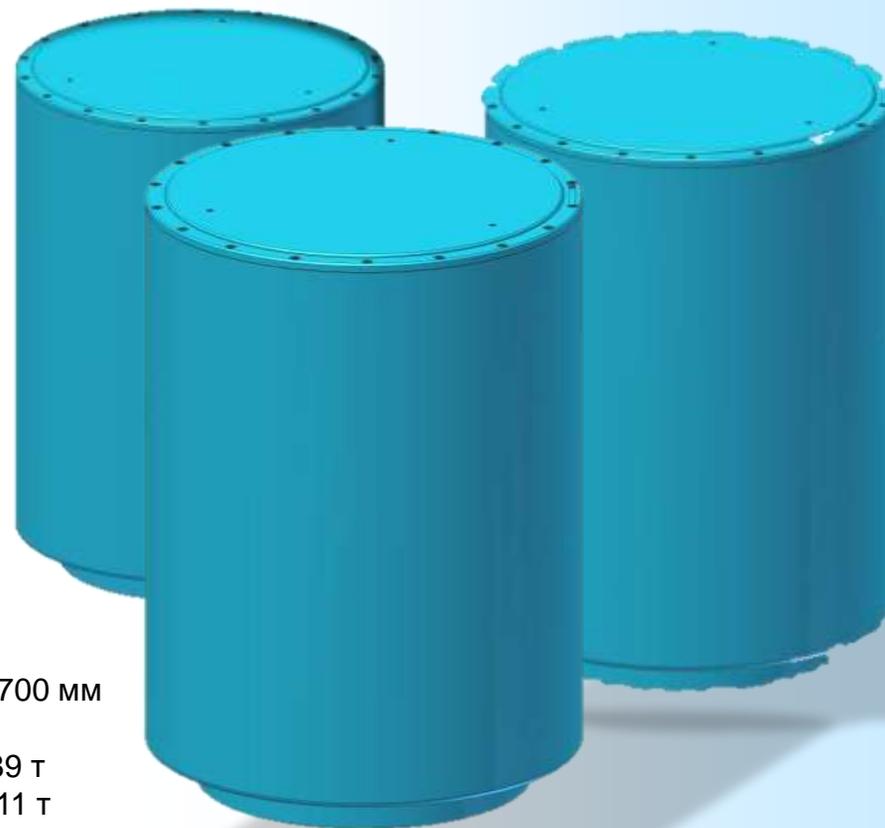
# Контейнеры для международного рынка

## “BlueBarrel” – Цилиндрический тип

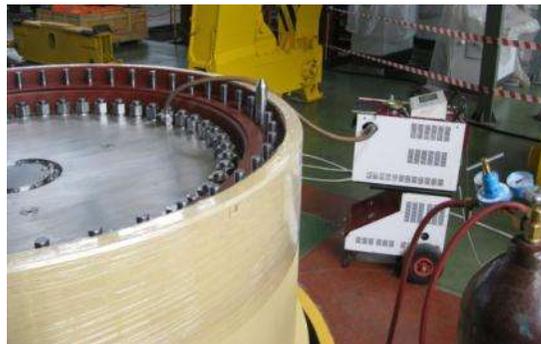


Размеры (D x H):  
Толщина стенок:  
Общая масса контейнера  
Грузоподъемность:

1,200 x 1,700 мм  
200 мм  
около 8.89 т  
около 5.11 т



# Контейнеры для международного рынка



«ТУК-140» : проект для отработанных тепловыделяющих элементов, совместно реализованный с ОАО ИЦЯК, Москва, Россия





Galileo



# Конструкция

## Воздействующие факторы



# Типы отходов (Германия)

## Кондиционирование

В результате эксплуатации и вывода из эксплуатации ядерных установок и площадок, и использования изотопов в исследованиях, промышленности и для медицинских целей образуются радиоактивные отходы, которые должны содержаться в промежуточных хранилищах до ввода в эксплуатацию объектов окончательной изоляции РАО.

Кондиционирование РАО должно начинаться с предварительной стадии, а именно сбора и сортировки. Кондиционирование может также включать переработку и/или упаковку. Данный процесс состоит из ряда процедур и установок, некоторые из которых испытываются и/или используются на протяжении многих лет:

- **Твердые первичные отходы** и промежуточные продукты РАО перерабатываются посредством измельчения, компактирования, сушки, сжигания, пиролиза, плавления, или цементирования.
- **Жидкие отходы** могут быть переработаны посредством выпарки, цементирования или остекловывания.
- В целом, упаковка РАО базируется на системе стандартизированных контейнеров для РАО, которые проектируются в соответствии с требованиями по безопасности и согласуются различными сторонами, вовлеченными в процесс.

Source: Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU)

# Пример: Немецкая площадка по захоронению РАО «Landessammelstelle»

## Используемые требования

### Приняты:

- Твердые, несжигаемые отходы
- Радиационные источники закрытого типа
- Отходы, полученные от поставщика
- Твердые, сжигаемые РАО, упакованные в сертифицированные емкости
- Отвержденные жидкие РАО

### Исключены:

- Некондиционированные или сжигаемые отходы
- Специфичные отходы медицинских учреждений
- Взрывоопасные или воспламеняемые материалы или смеси

Источник: Министерство Внутренних дел Земли Мекленбург-Западная Померания

# Основные типы контейнеров

## Типы

**Варианты:**

Контейнер  
для хранения

Транспортный  
контейнера

Многоцелевой  
контейнер

**Цели  
применения:**

Временное хранение/  
Окончательное  
захоронение

Транспорти  
рование

Временное хранение  
Транспортирование  
Окончательное  
захоронение

**Основные  
требования:**

Герметичность  
Коррозионная защита  
Условия хранения

Целостность  
Сценарии аварий

Герметичность  
Коррозионная защита  
Условия хранения

Целостность  
Сценарии аварий



**Правильно спроектированные контейнеры из высокопрочного чугуна идеально подходят под вышеуказанные требования**

# Типы упаковок (1/3)

## Транспортирование радиоактивных материалов

### Международные требования к упаковочным комплектам

Критерии	IP-1	IP-2	IP-3
<b>Конструкционные требования</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Основные требования для всех типов упаковок</li> <li>Дополнительные требования по температуре и давлению (в случае воздушных перевозок)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Основные требования для всех типов упаковок</li> <li>Дополнительные требования по температуре и давлению (в случае воздушных перевозок)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Основные требования для всех типов упаковок</li> <li>Дополнительные требования по температуре и давлению (в случае воздушных перевозок)</li> <li>Требования к упаковкам типа А</li> </ul>
<b>Требования к испытаниям</b> - Нормальные условия транспортирования		<ul style="list-style-type: none"> <li>Свободное падение (от 0,3 до 12 м. в зависимости от веса упаковки)</li> <li>Штабелирование или сжатие</li> </ul>	<p>Каждый из тестов должен предшествовать тест на устойчивость к воздействию водяных брызг:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Свободное падение (от 0,3 до 12 м. в зависимости от веса упаковки)</li> <li>Штабелирование или сжатие</li> <li>Проницаемость (6 кг стержень, сброшенный с 1 м)</li> </ul>



# Типы упаковок (2/3)

## Транспортирование радиоактивных материалов

### Тип А Требования к упаковочным комплектам

Критерии	Требования
<b>Конструкционные требования</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Основные требования для всех типов упаковок</li><li>▪ Дополнительные требования по температуре и давлению (в случае воздушных перевозок)</li><li>▪ Требования к упаковкам типа А (изоляция, крепление, температура, низкое давление, вентили)</li></ul>
<b>Требования к испытаниям - Нормальные условия транспортирования</b>	<p>Каждый из тестов должен предшествовать тест на устойчивость к воздействию водяных брызг</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Свободное падение (от 0,3 до 12 м. в зависимости от веса упаковки)</li><li>• Штабелирование или сжатие</li><li>• Проницаемость (6 кг стержень, сброшенный с 1 м)</li></ul>

Source: WNTI

# Типы упаковок (3/3)

## Транспортирование радиоактивных материалов

### Тип А Требования к упаковочным комплектам

Критерии	Требования
<b>Конструкционные требования</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Основные требования для всех типов упаковок</li><li>▪ Дополнительные требования по температуре и давлению (в случае воздушных перевозок)</li><li>▪ Требования к упаковкам типа А</li><li>▪ Дополнительные требования к упаковкам типа В (внутр. теплогенерация, и максим. температура поверхности )</li></ul>
<b>Требования к испытаниям - Нормальные условия транспортирования</b>	<p>Каждый из тестов должен предшествовать тест на устойчивость к воздействию водяных брызг:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Свободное падение (от 0,3 до 12 м. в зависимости от веса упаковки)</li><li>▪ Штабелирование или сжатие</li><li>▪ Проницаемость (6 кг стержень, сброшенный с 1 м)</li></ul>
<b>Требования к испытаниям - Аварийные условия транспортирования</b>	<p>Кумулятивный эффект:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Падение с 9 м или динамический тест на сжатие (падение 500 кг груза с 9 м на образец)</li><li>▪ Испытание на прокол</li><li>▪ Высокая температура (огонь 800°C в течение 30 мин)</li><li>▪ Водонепроницаемость (15 м на 8 ч)</li><li>▪ Более жесткие условия для упаковок, содержащих большое количество радиоактивных материалов (200 м в течение 1 ч)</li></ul>

Source: WNTI

# Типы радиоактивных отходов

## Категории РАО (Пример -Великобритания)

- **Высокоактивные отходы**

Отходы, где температура может быть значительна в результате радиоактивности материала, таким образом, данный фактор следует принять во внимание при проектирование объектов временного хранения или окончательной изоляции.

- **Среднеактивные отходы**

Отходы, чей уровень радиоактивности, превышает установленный для НАО, но при этом не требуется учитывать вопрос избыточного тепловыделения при проектирование объектов временного хранения или окончательной изоляции.

→ Основные типы САО – сталь, графит, цемент, песок, компоненты реактора, оболочка ТВС и др.

- **Низкоактивные отходы**

**Отходы с удельной радиоактивностью 4 ГБк/т для альфа-излучения, или 12 ГБк/т для бета/гамма-излучения.**

→ Основные типы НАО – грунт, строительный мусор, металлические конструкции, и др от работ по ВЭ реакторов и ядерных установок.

Source: Nuclear Decommissioning Authority

# Временное хранение (Германия)



- Региональные хранилища ОЯТ

## Обозначения

-  АЭС
-  Исследовательский реактор
-  Временное хранилище
-  Центр сбора РАО
-  Действующий
-  В стадии ВЭ

Источник: BfS – Federal Office for Radiation Protection

# Объект временного хранения в Аhaus (Германия)



**370 позиций для двухцелевых контейнеров (транспортирование и хранение) для ОЯТ от легководяных реакторов, из них 6 - уже занято.**

**А также**

**305 CASTOR® THTR/AVR**

**18 CASTOR® MTR2**

# Объект временного хранения в Gorleben (Германия)

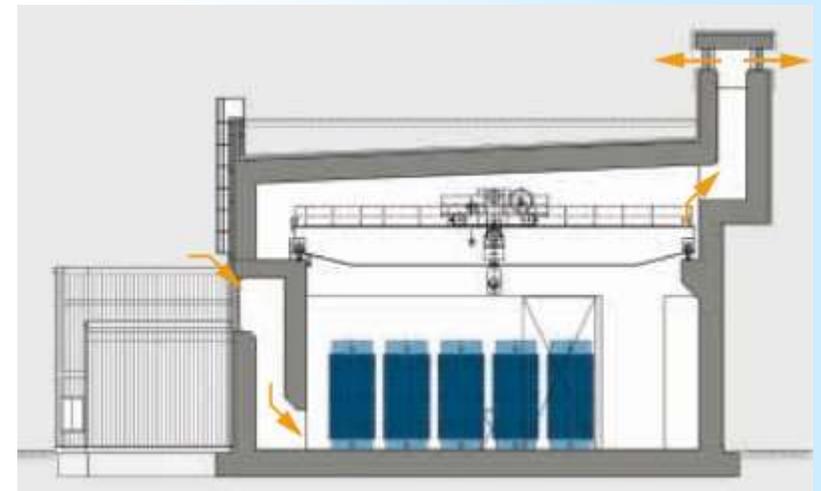
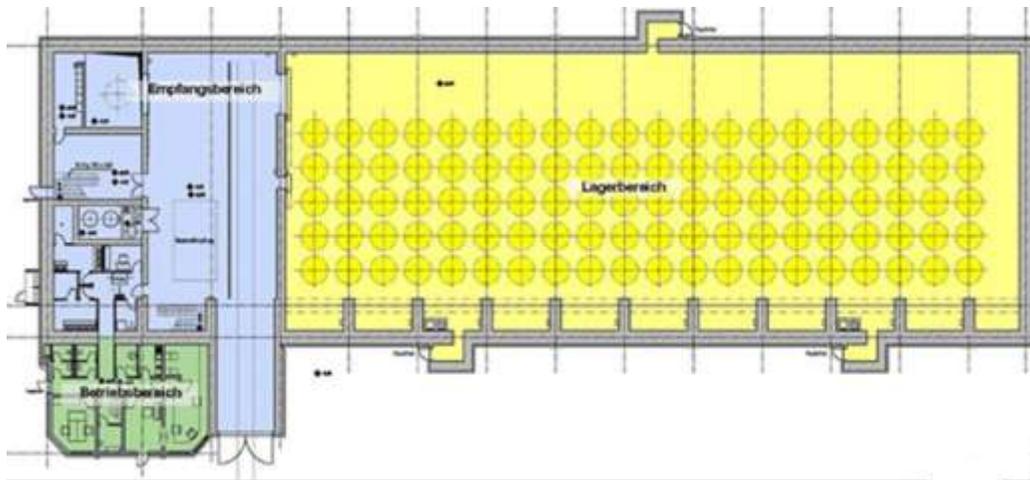
Место отгрузки	Дата	Кол-во контейнеров перевезенных	Кол-во контейнеров на хранении
Philippsburg	25-04-1995	1	
La Hague	08-05-1996	1	
Neckarwestheim, Gundremmingen La Hague	05-03-1997	3+1+2	
La Hague	29-03-2001	6	
La Hague	14-11-2001	6	
La Hague	14-11-2002	12	33
La Hague	12-11-2003	12	
La Hague	09-11-2004	12	57
La Hague	22-11-2005	12	
La Hague	13-11-2006	12	
La Hague	11-11-2008	11	
La Hague	09-11-2010	10	102
La Hague	28-11-2011	11	113



# Концепция объекта временного хранения (Германия)

## Концепция STEAG

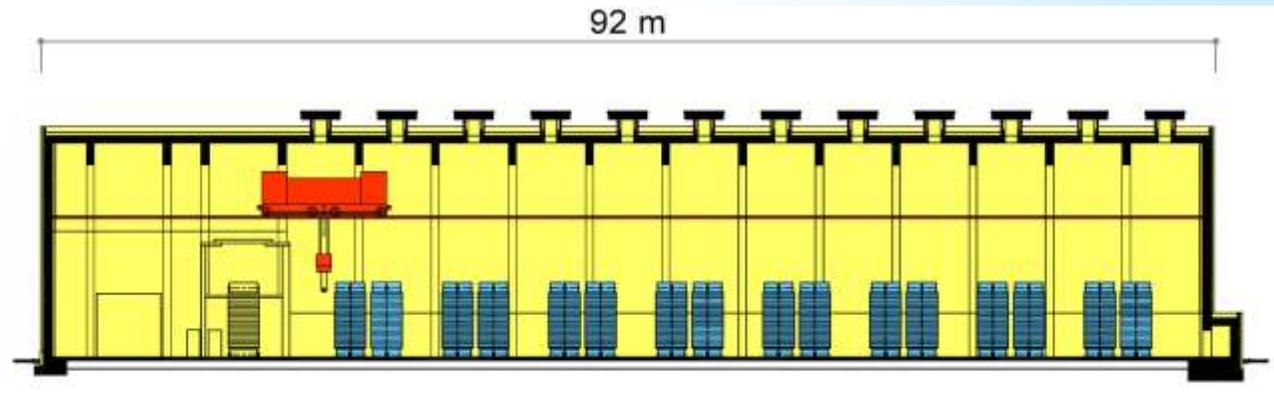
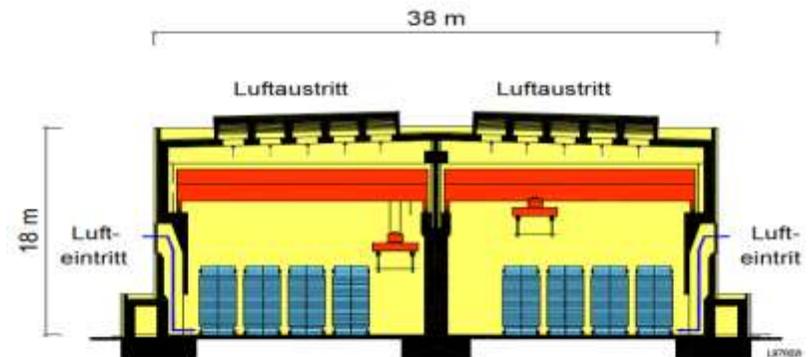
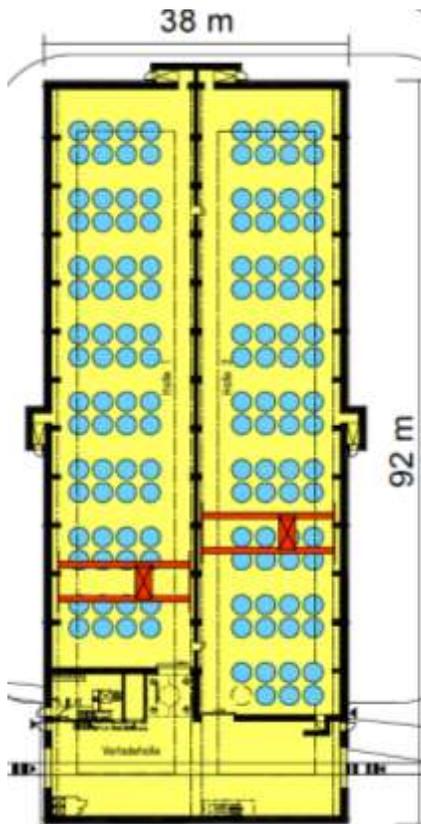
Основные параметры: утолщенные строительные конструкции, толщина стенок – ок. 1.2 м, толщина перекрытий - 1.3 м, одиночное строение



# Концепция объекта временного хранения (Германия)

## Концепция WTI/GNS

Основные параметры: строения по аналогии с объектами в Gorleben, Ahaus и Lubmin/Greifswald; толщина стенок – ок. 70 - 85 см., толщина перекрытий - 55 см, сдвоенные сооружения, разделенные перегородкой



# Пример: Критерии приемлемости отходов (временное хранение) и упаковки

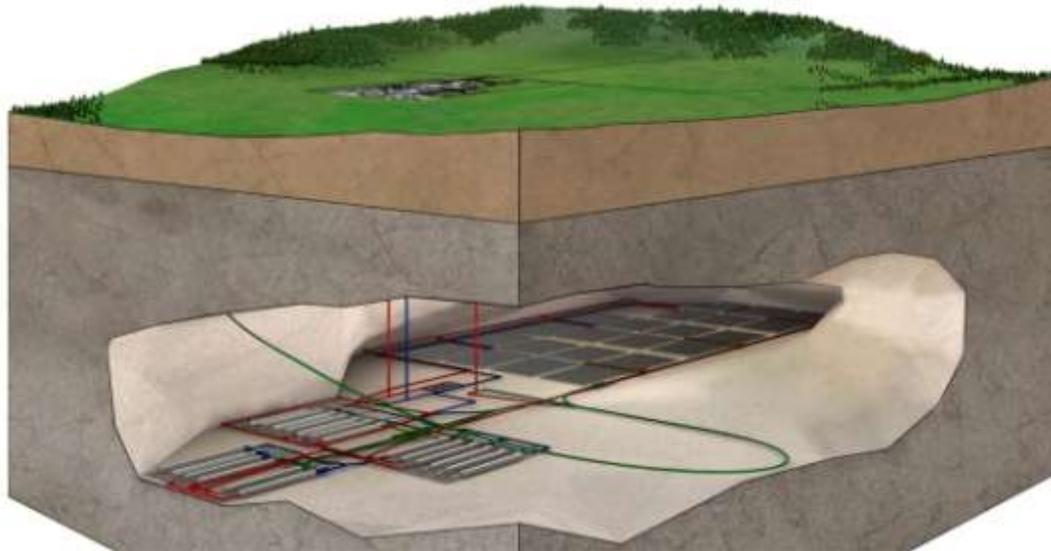


- Хранилище НАО в Тrawsfynydd (Великобритания)

Источник: Nuclear Decommissioning Authority

# Объекты окончательной изоляции

## Ключевые вопросы



- В основе – большие и стабильные геологические формации
- Использование горнопроходческих технологий для создания необходимых туннелей (на глубине более, чем 500 м ниже уровня моря)

- Вмещающая порода
  - Различные слои породы
  - Поверхностный покров
- Долгосрочная стабильность
- Вопросы коррозии
- Сложение грунта и структура почвы
- Общий подход - стабилизация
  - Максимальная высота
  - Установка контейнеров друг на друга
  - Использование дополнительных демпферов нагрузок

Источник: Nuclear Decommissioning Authority

# Концепции объектов окончательной изоляции (Германия)

## Свойства вмещающих пород

Свойство	Соль	Глина / Глинистая порода	Кристаллическая порода (например, гранит)
Теплопроводность	Высокая	Низкая	Средняя
Проницаемость	Практически проницаема	От очень низкой до низкой	Очень низкая – высокая проницаемость (трещиноватая)
Прочность	Средняя	От низкой до средней	Высокая
Деформационное поведение	Вязко-пластическая	От пластической до хрупкой	Хрупкая
Стабильность пустот	Самоподдерживающие	Необходимо упрочнение	От высокой (целостная) до низкой (высоко-трещиноватая)
Местное напряжение	Изотопный	Анизотропический	Анизотропический
Степень выщелачивания	Высокая	Очень низкая	Очень низкая
Сорбционное поведение	Очень низкая	Очень высокая	От средней до высокой
Тепловое сопротивление	Высокое	Низкое	Высокое

Источник: Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi)

# Концепции объектов окончательной изоляции (Германия)

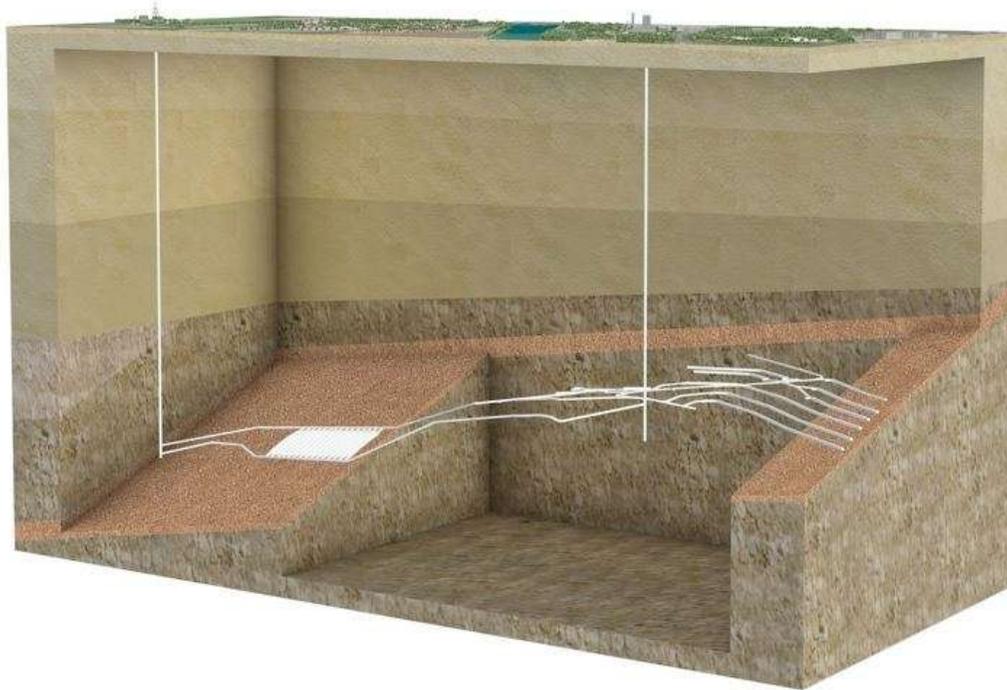
## Сравнение нескольких концепций захоронения

Property	Соль	Глина / Глинистая порода	Кристаллическая порода (например, гранит)
Глубина залегания	Около 900 м	Около 500 м	500 – 1200 м
Технология хранения	Шахты и скважины	Шахты и/или неглубокие скважины	Шахты и скважины
Температура хранения	Макс. 200°C	Макс. 100°C	Макс. 100°C (заполнение бентонитом)
Материал заполнения	Размолотая соль	Бентонит	Бентонит
Срок временного хранения	Мин. 15 лет	Мин. 30-40 лет	Мин. 30-40 лет
Упрочнение выработки	Нет необходимости	Необходимо и сложно для реализации	Частично необходимо для разломов
Конструкция контейнера	Сформирована	Необходимы новые проекты для Германии	Необходимы новые проекты для Германии
Горнопроходческий опыт	Значительный (добыча соли)	Небольшой	Значительный (добыча руды)

Источник: Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi)

# Объекты окончательной изоляции

## Pit Konrad (Германия)



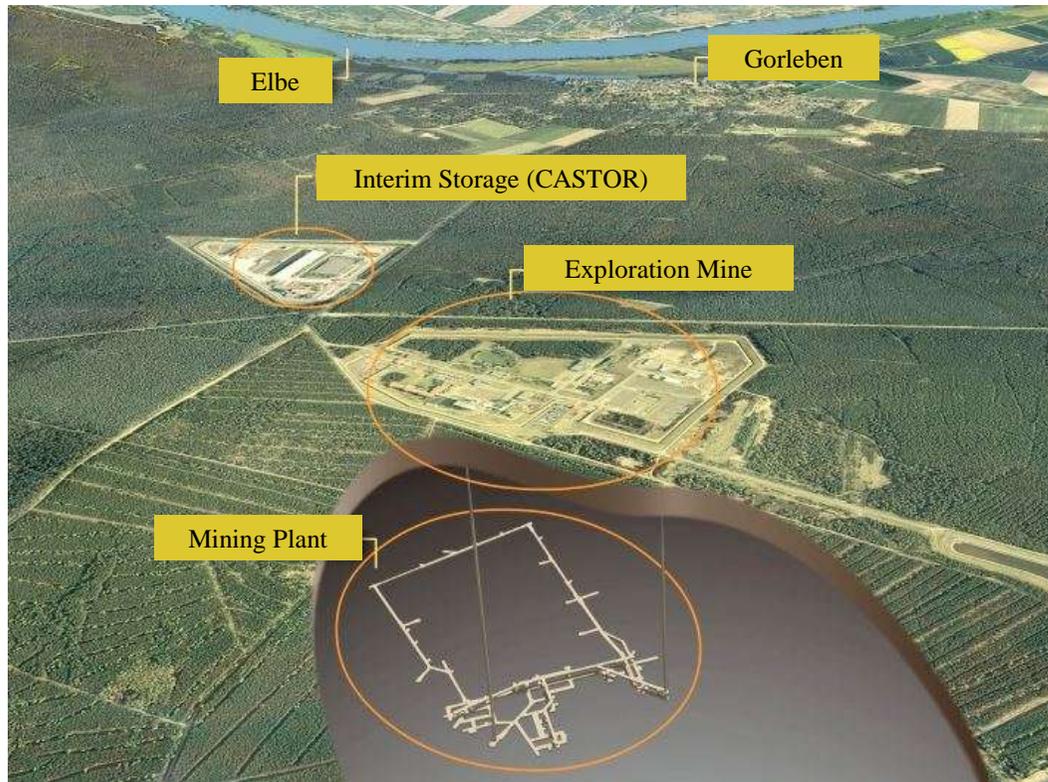
- Предложено в качестве глубокого геологического могильника для НАО и САО
- Ранее шахта для добычи железной руды
- Лицензировано в мае 2002 г.

Модель различных слоев породы и поверхностного покрова

Источник: BfS – Federal Office for Radiation Protection

# Объекты окончательной изоляции

## Gorleben (Германия)



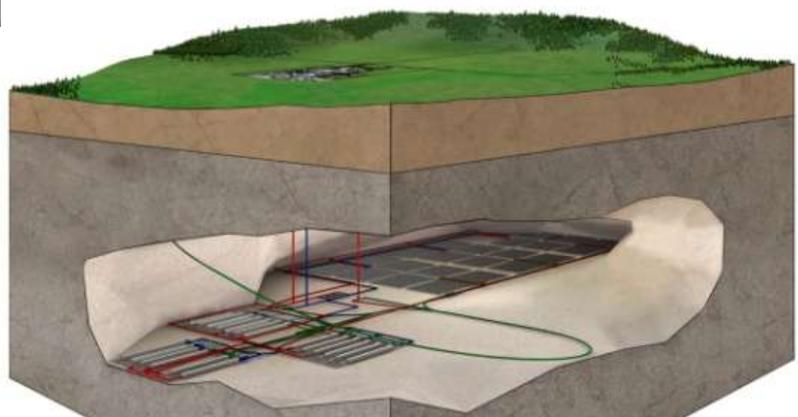
Выработка, временное хранение и окружающая среда

- Два объекта промежуточного хранения РАО
- Планировался для использования в качестве объекта окончательной изоляции РАО (вместе с соляным сводом)
- Используется для кратковременного хранения ОТВС и ВАО
- Хранение в «сухих» контейнерах, размещенных в специальном помещении выше поверхности земли
- Получено разрешение на хранение 420 контейнеров на месте

Источник BfS – Federal Office for Radiation Protection

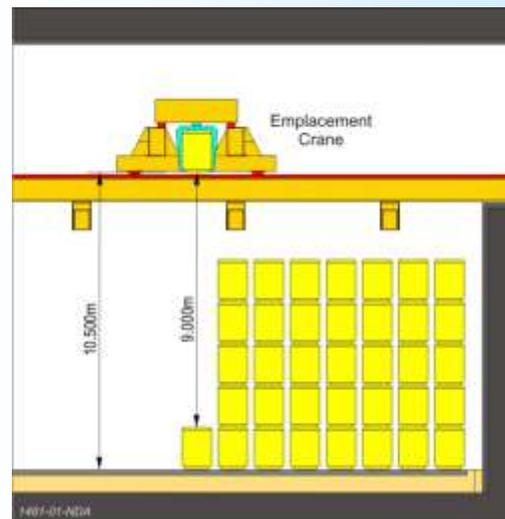
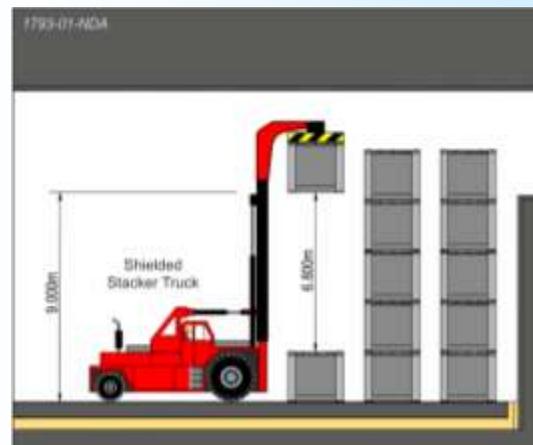
# Объекты окончательной изоляции

## Геологическое хранилище (Великобритания)



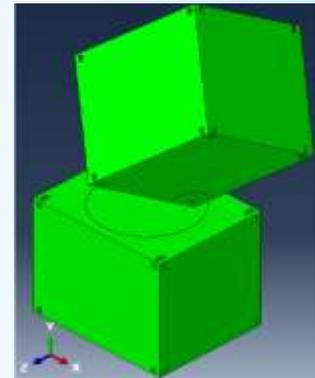
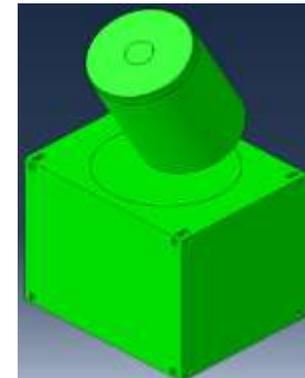
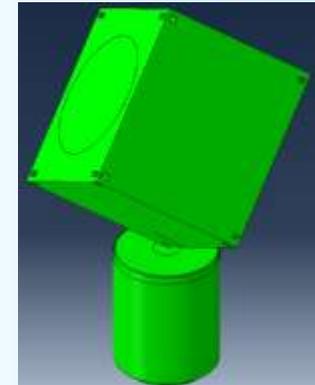
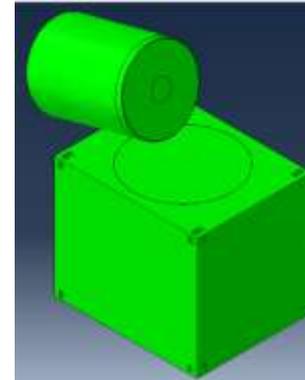
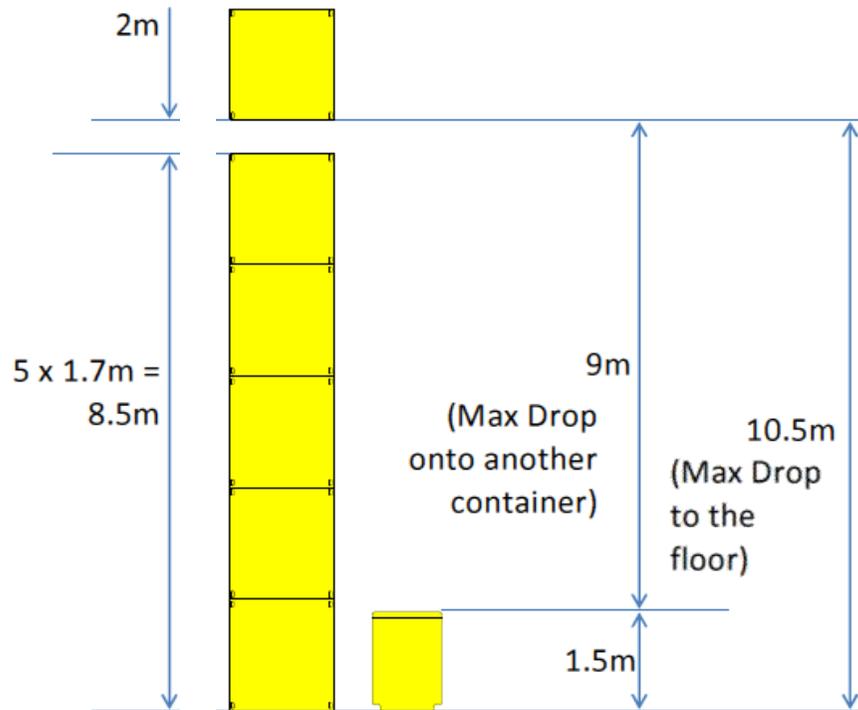
Источник: Nuclear Decommissioning Authority

## Существующие проекты (Великобритания)



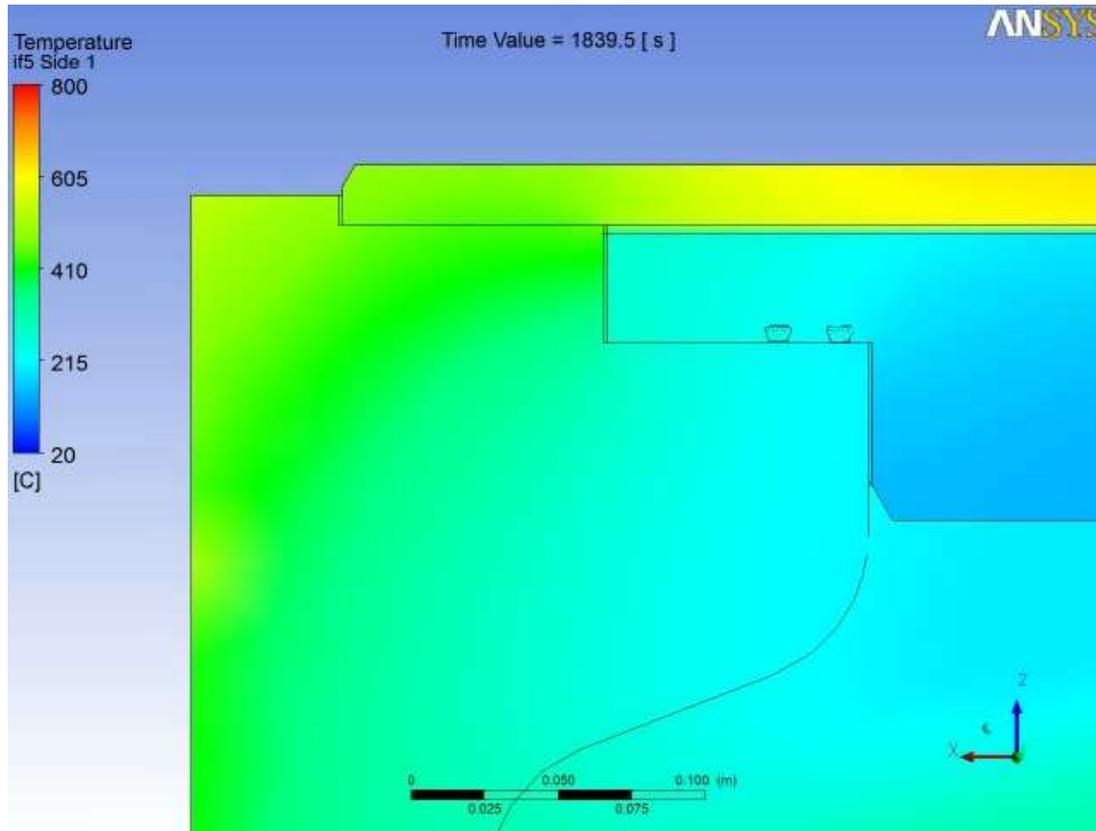
# Объекты окончательной изоляции

## Аварийные сценарии (Великобритания)



Источник: Nuclear Decommissioning Authority

# Аспекты горючей нагрузки

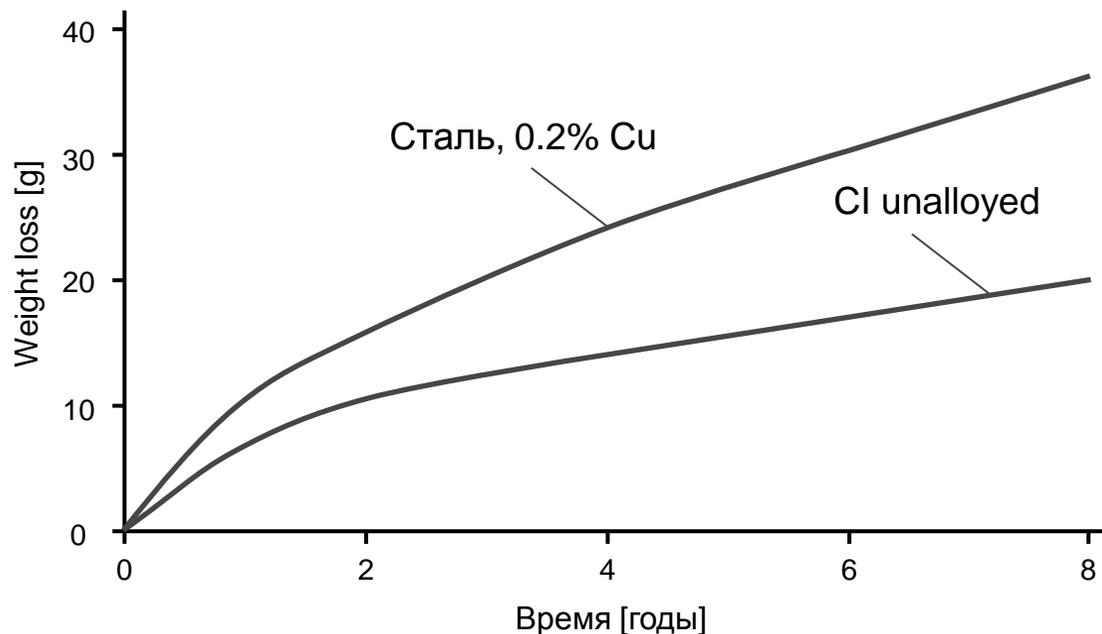


- В соответствии с правилами МАГАТЭ для контейнеров типа IP-2 не устанавливаются горючие нагрузки
- Тем не менее, контейнеры BlueBox™ способны выдерживать 800°C в течение 30 мин. на основе эластомерных уплотнителей (тип В)

# Долговременная целостность

## Коррозия

### Чугун в сравнении со сталью



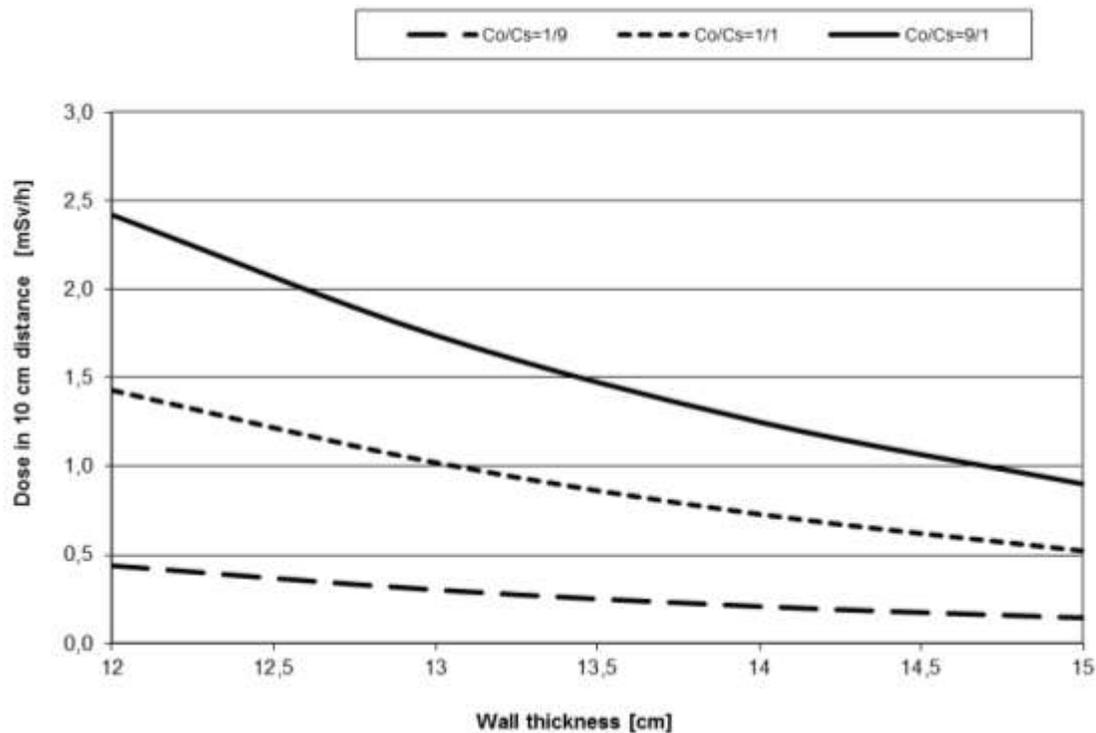
- Высокопрочный чугун имеет лучшие характеристики по долгосрочной целостности против коррозии из-за структуры материала и увеличенный пассивирующий слой;
- Следовательно, требования к безопасности могут быть достижимы даже при условии долгосрочного хранения



- Сфероидальный графит влияет на поведение
- Коррозионная стойкость имеет преимущества применительно к долгосрочному хранению

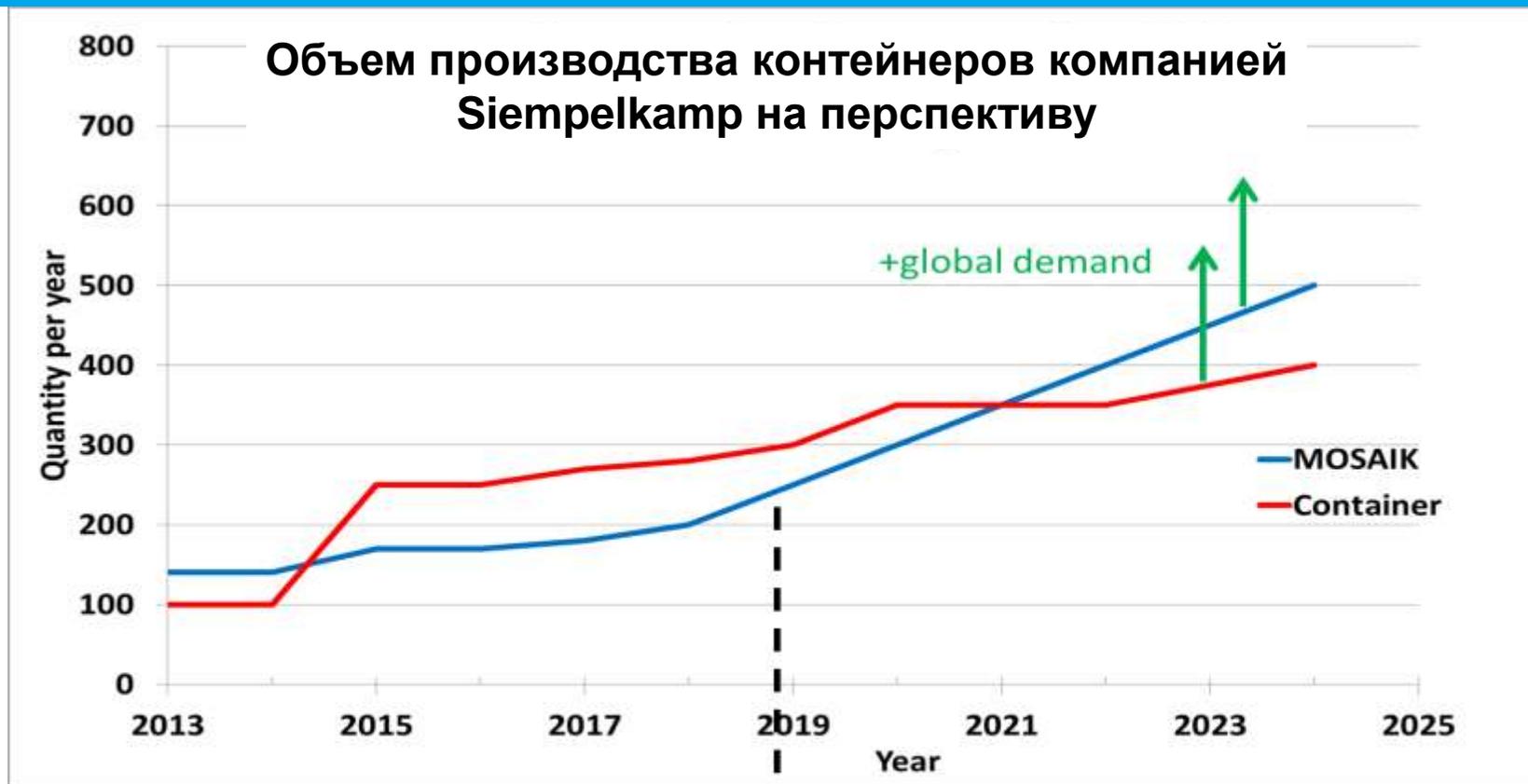
Источник: S. Hasse, Duktiles Gusseisen, Schiele & Schön, 1996

# Радиационная защита высокопрочным чугуном



- Влияние толщины стенок на дозу на расстоянии 10 см для референтных объемов 1 ТБк
- 1 ТБк: Co-60 и Cs-137

# Потребности рынка в контейнерах и упаковочных комплектах



2019 start decommissioning in Germany:  
enhanced demand



# SIEMPELKAMP

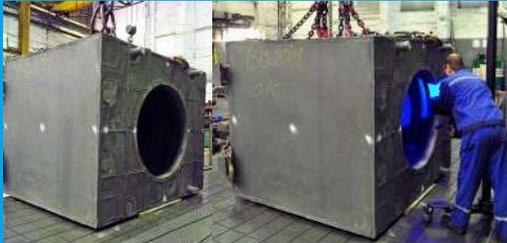
Дополнительная информация



# Высокопрочный чугун в сравнении с БЕТОНОМ

Параметр	Материал	Высокопрочный чугун	Бетон	
Технические данные				
	• Механическая прочность	XX	O	
	• Пластичность при низких температурах	XX	O	
	• Защита от гамма-излучения	X	O	
	• Нейтронная защита	X	XX	
	• Теплопроводность	XX	O	
	• Максимальная рабочая температура	XX	O	
	• Дефектоскопия	XX	--	
Обозначение:	-- низкая	O средняя	X хорошая	XX превосходная

# Высокопрочный чугун в сравнении с БЕТОНОМ

Параметр	Материал	Высокопрочный чугун	Бетон
Общая оценка			
• Экономика		Более высокий уровень цен	Более низкий уровень цен
• Безопасность при транспортировке		очень высокая	низкая
• Технологические требования		высокие	низкие

# Высокопрочный чугун в сравнении

## Высокопрочный чугун в сравнении с БЕТОНОМ/СТАЛЬЮ

	Высокопрочный чугун (80-200 мм)	Толстостенная стальная плита / бетон
Защита от радиации	++ ( $\rho = 7.2 \text{ г/см}^3$ )	0 ( $\rho_{\text{бетон}} = 2.3 \text{ г/см}^3$ )
Сопротивление высоким нагрузкам	++ (одна отливка)	- (сварка приводит к трещинам / газообразованию)
Трещинообразование	+	+
Прекращение формирования трещин	++	0 (сварка)
Температурное сопротивление	++	+ бетон растрескивается при высоких температурах (газообразование)
Герметизация	++	0

# Высокопрочный чугун в сравнении

## Высокопрочный чугун в сравнении со СТАЛЬЮ/СВАРИВАЕМОЙ СТАЛЬЮ

- Проблемы с лицензированием и обоснованием требований по безопасности стальных контейнеров из ковanej стали со сварными швами.
- Сварные швы могут быть проверены с помощью UT, VT, RT. Отсутствуют заключения по свойствам сварного металла и основного материала. Это может быть сделано только за счет использования иного образца, имеющего другие базовые свойства.
- Образцы высокопрочного чугуна могут быть взяты как напрямую из корпуса контейнера, так и тестовой отливки. При этом свойства во всех образцах остаются аналогичными.

# Краткие выводы

- **Высокопрочный чугун соответствует высоким требованиям, присутствующим во многих областях атомной промышленности, в том числе:**
  - динамические пиковые нагрузки
  - циклическое нагружение
- **Прежде всего, высокопрочный чугун характеризуется:**
  - энергосберегающим производством
  - высокая гибкость в части внедрения компонентов (форма/конструкция, вес)
- **В связи с перспективами использования, высокопрочный чугун становится очень востребованным материалом**

**Siempelkamp и российский партнер ОАО «ИЦЯК» готовы поставить необходимый объем упаковочных комплектов и контейнеров для формирующего рынка России.**

# Упаковочные комплекты и контейнеры - по всему миру



Вывод:

*Контейнеры, изготовленные на Siempelkamp, представляют отработанную технологию для безопасной транспортировки и хранения радиоактивных отходов во всем мире*



[www.siempelkamp.com](http://www.siempelkamp.com)

