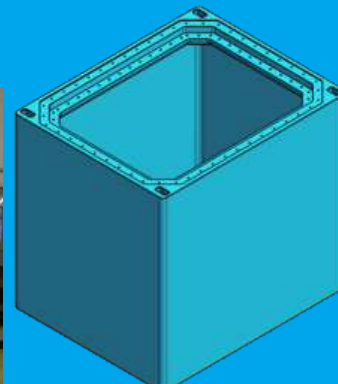




Siempelkamp

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



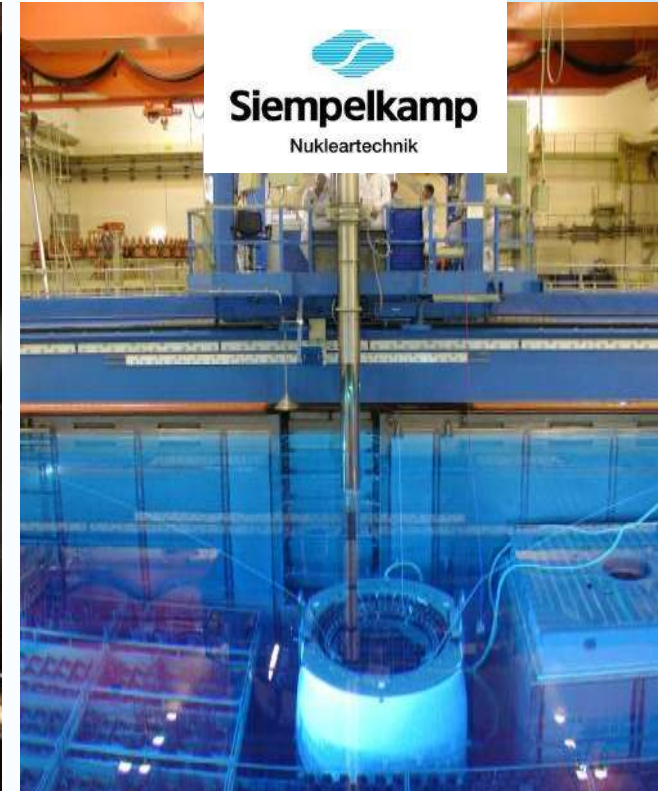
Siempelkamp
Maschinen- und Anlagenbau

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



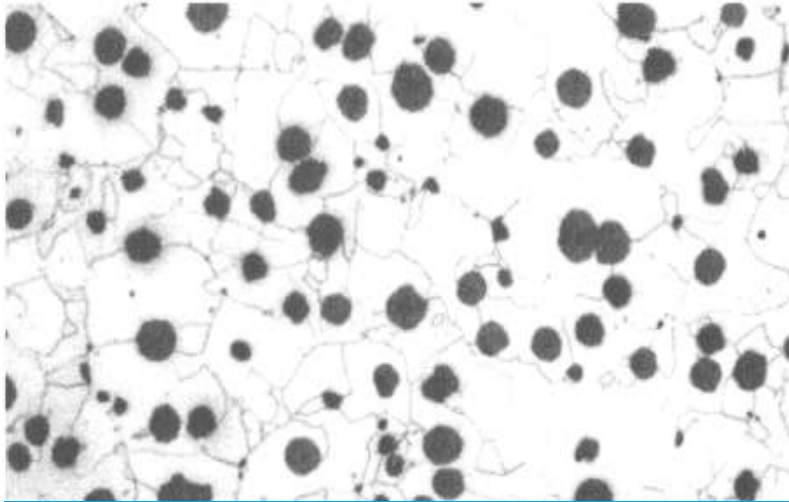
Изготовление контейнеров



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

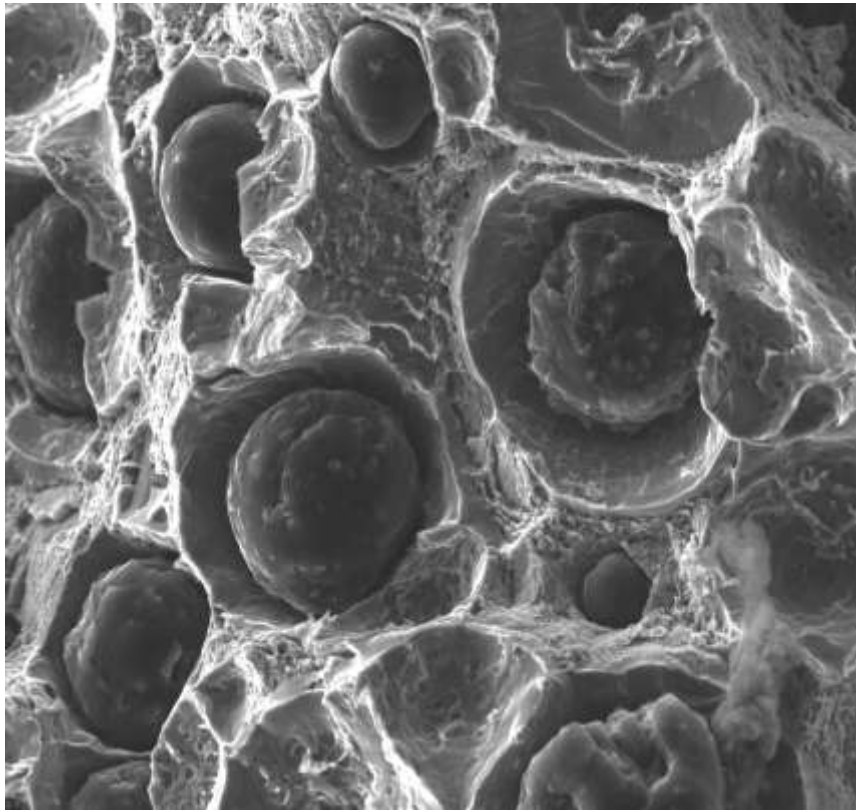
Технические характеристики при комнатной температуре

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

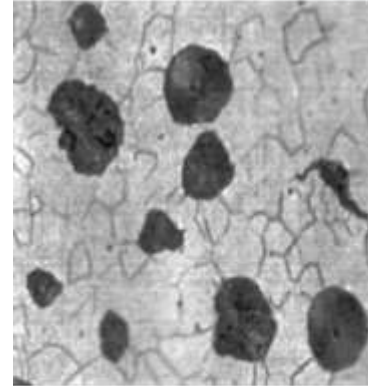


Материал: высокопрочный чугун

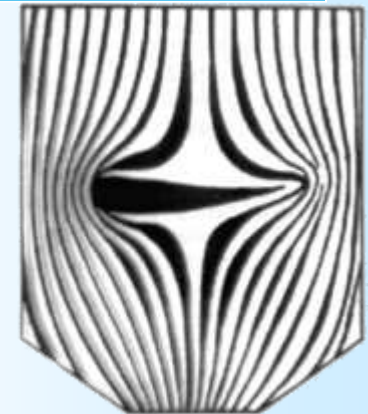
Высокопрочный чугун: минимальное напряжение, низкая концентрация напряжений



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

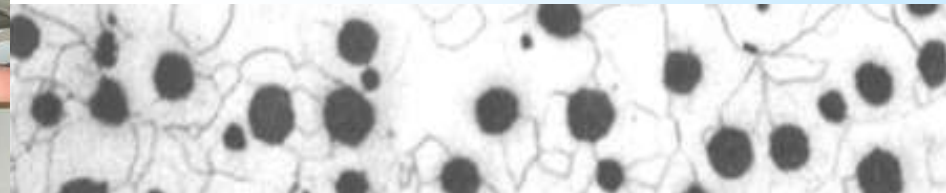
abenteuer
wissen 



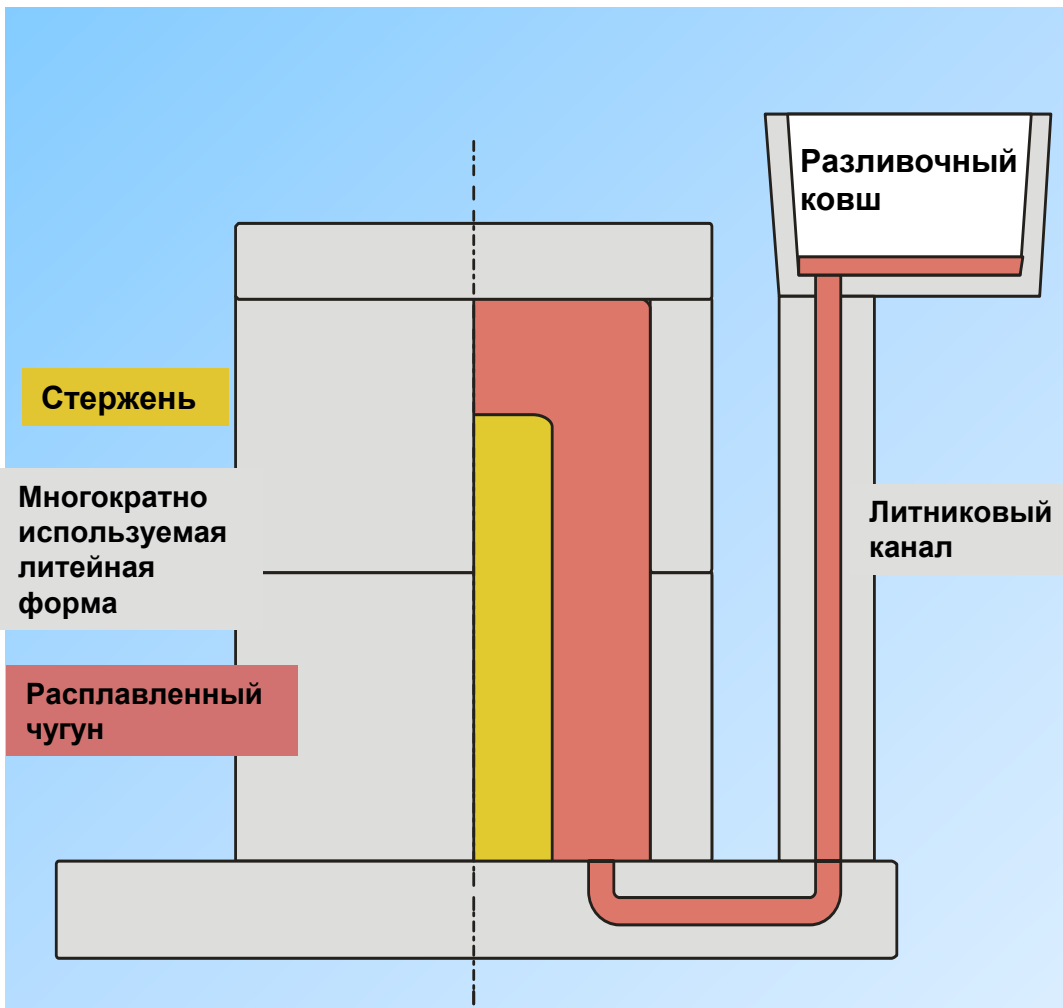
Гарантия качества



- **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



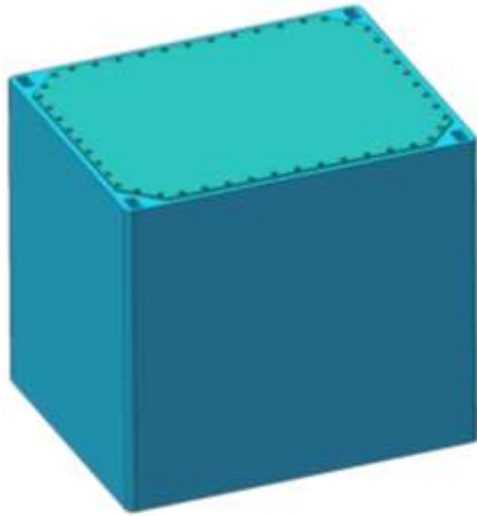
Номенклатура изделий

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



Контейнеры для международного рынка

BlueBox™ и Blue Barrel



BlueBox™



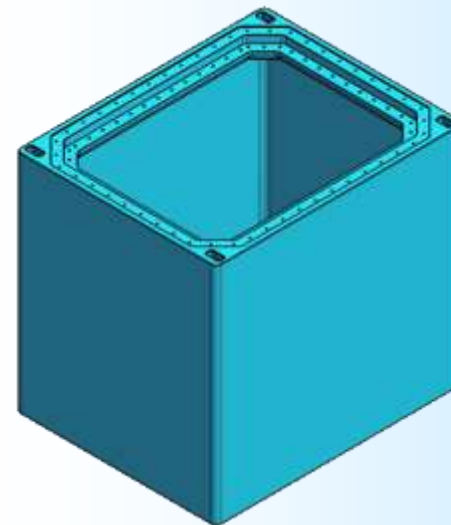
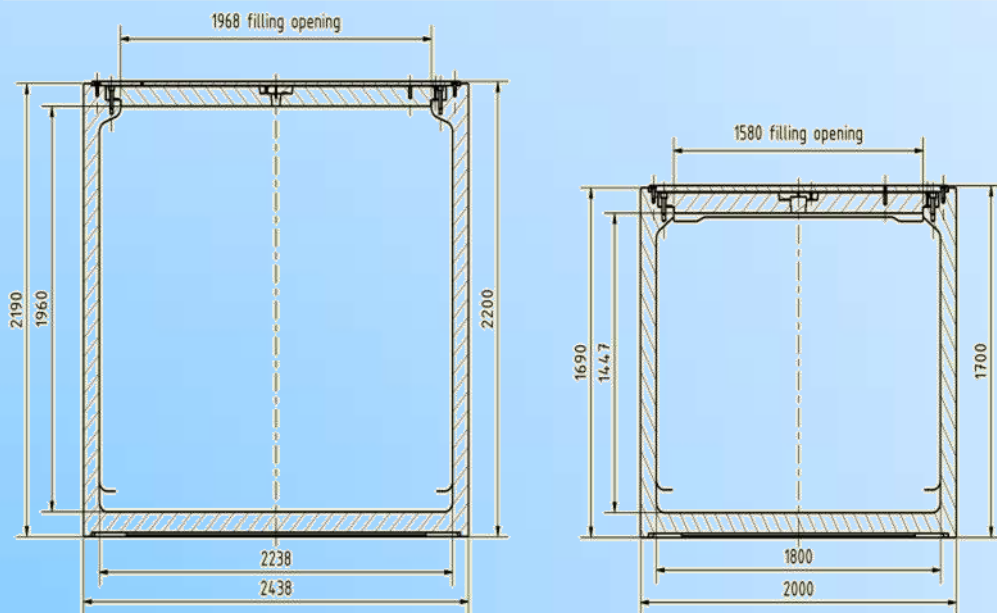
BlueBarrel

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

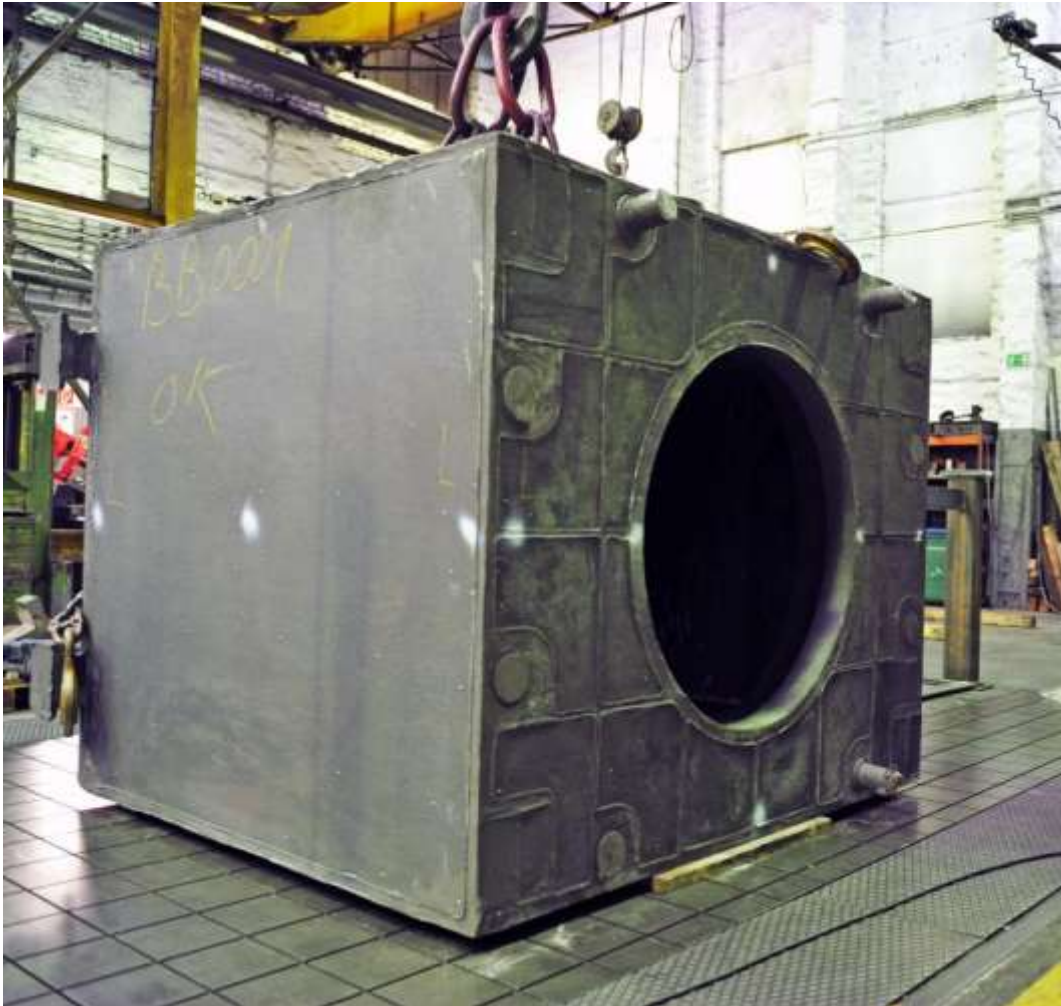
Контейнеры для международного рынка

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

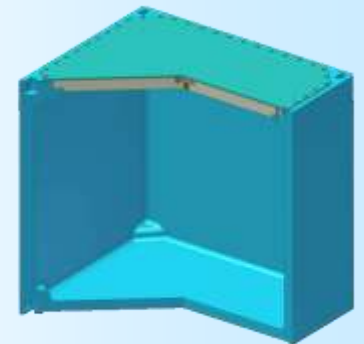


Контейнеры для международного рынка



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™



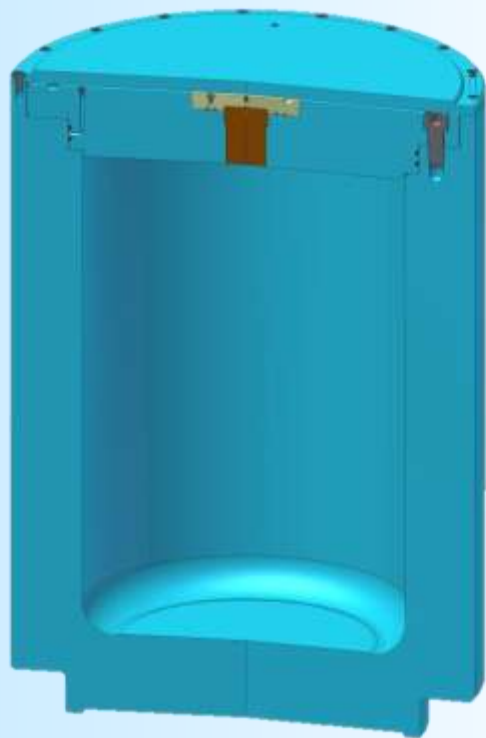
Испытание проведены в
INUTEC (Великобритания)

17 февраля 2013

Пустой контейнер с высоты
5.2 м

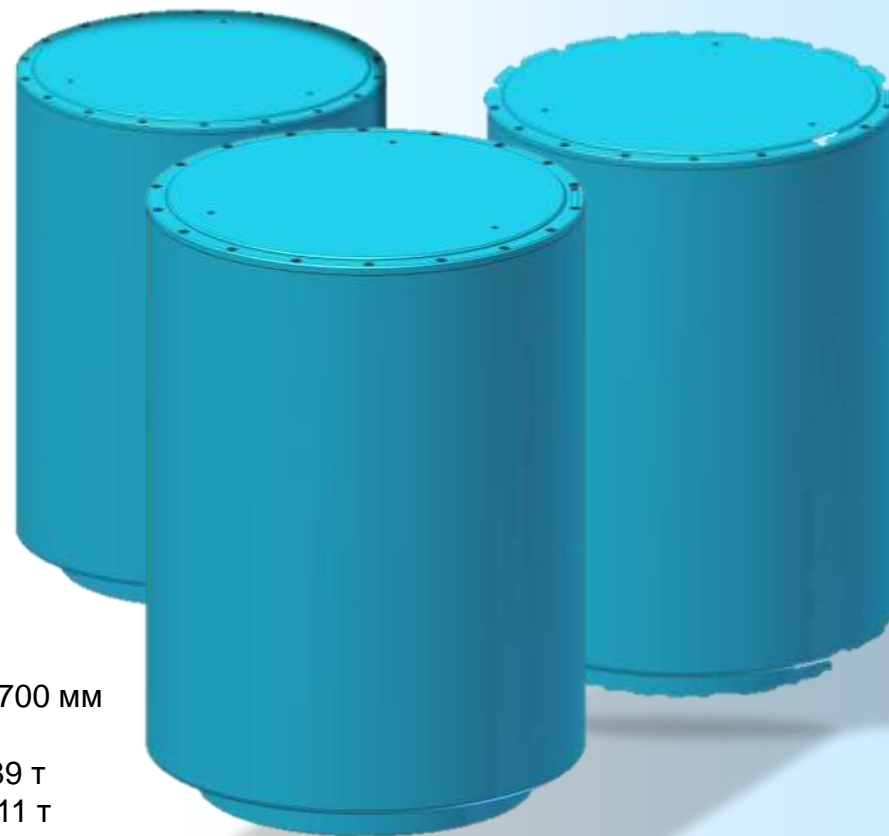
Контейнеры для международного рынка

“BlueBarrel” – Цилиндрический тип

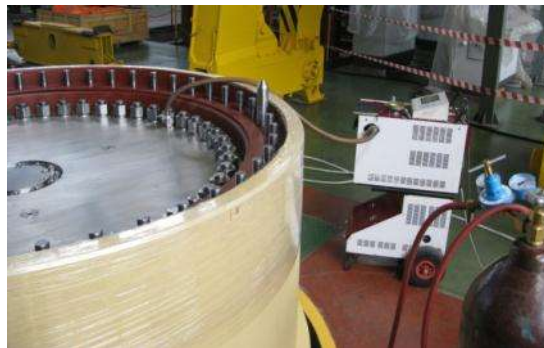


Размеры (D x H):
Толщина стенок:
Общая масса контейнера
Грузоподъемность:

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



Контейнеры для международного рынка



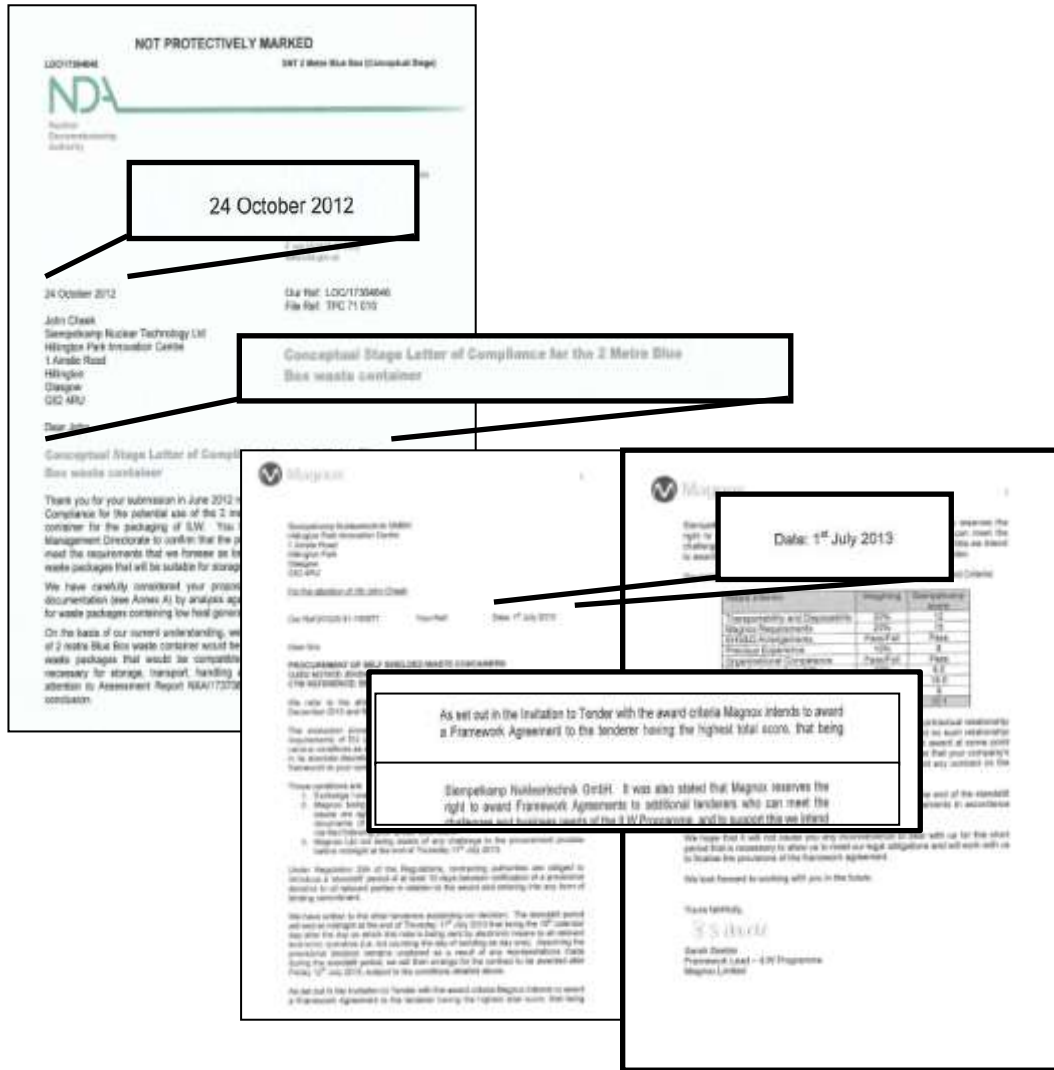
«ТУК-140» : проект для отработанных тепловыделяющих элементов, совместно реализованный с ОАО ИЦЯК, Москва, Россия





Galileo

Контейнеры для международного рынка



- Получение лицензии на концепт BlueVox™ в Великобритании в 2012 г. и на BlueBarrel в 2013 г.
- Положительное заключение по результатам испытаний бросания с 5,2 м без амортизатора ударов
- Проект Магнокс по поставке контейнеров емкостью 50 м³ (Великобритания):
 - Сделан заказ на поставку 50 BlueBoxes™

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



Типы упаковок (2/3)

Транспортирование радиоактивных материалов

Тип А Требования к упаковочным комплектам

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

Source: WNTI

Типы упаковок (3/3)

Транспортирование радиоактивных материалов

Тип А Требования к упаковочным комплектам

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

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 Ahaus (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)

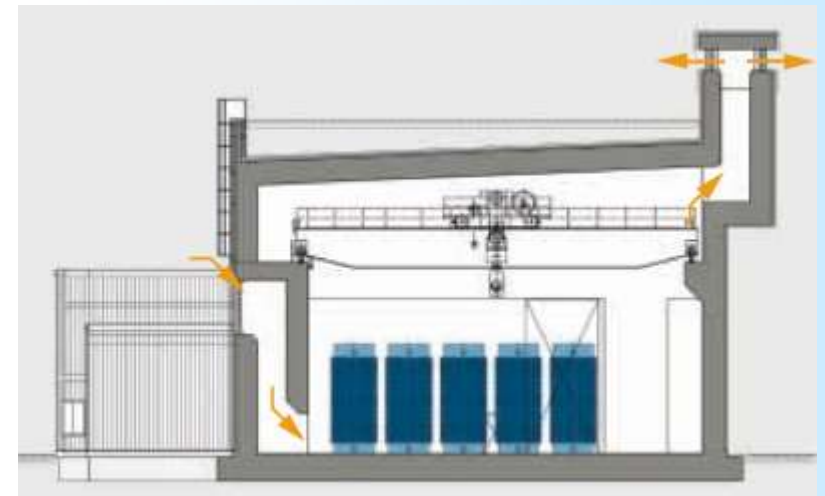
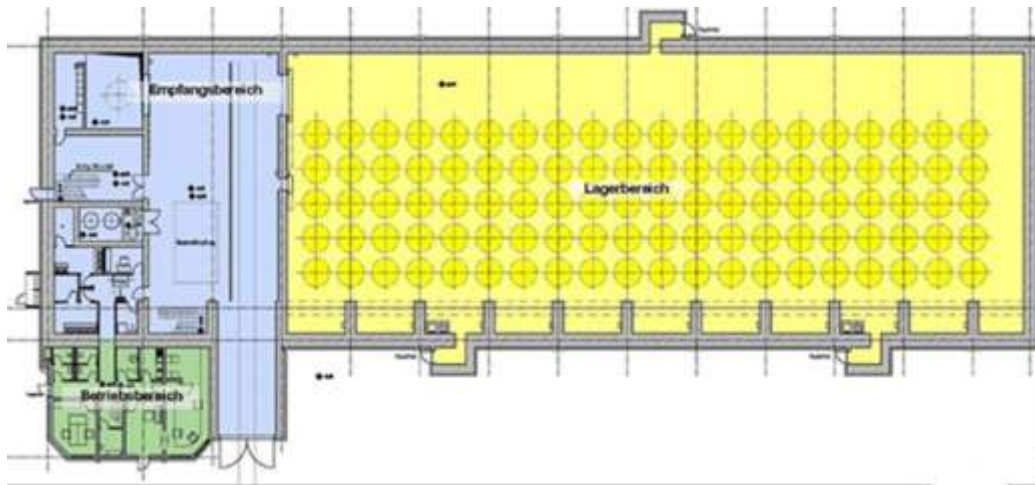
Место отгрузки	Дата	Кол-во контейнеров перевезенных	Кол-во контейнеров на хранении
Philippsburg	25-04-1995	1	
La Hague	08-05-1996	1	
Neckarwestheim, Gundremmingen La Hague	05-03-1997	3+1+2	
La Hague	29-03-2001	6	
La Hague	14-11-2001	6	
La Hague	14-11-2002	12	33
La Hague	12-11-2003	12	
La Hague	09-11-2004	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

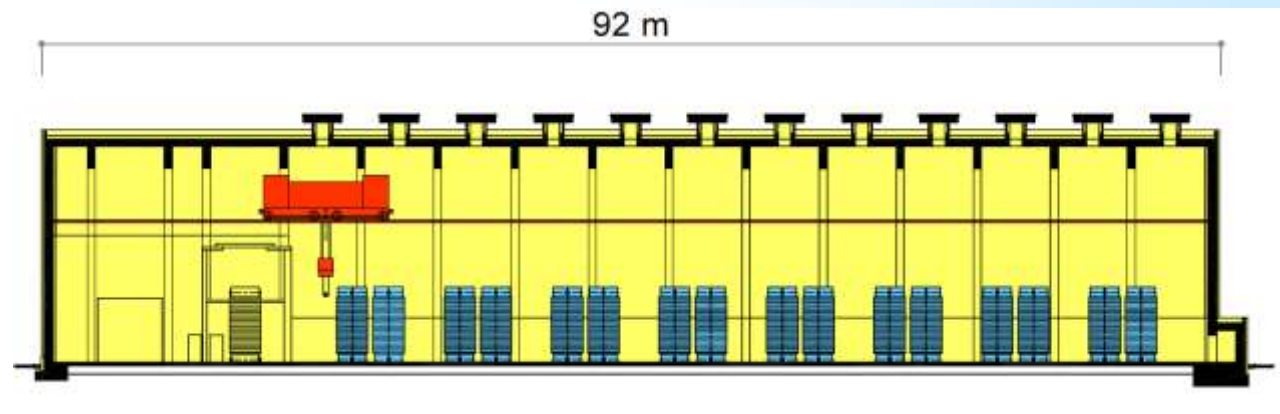
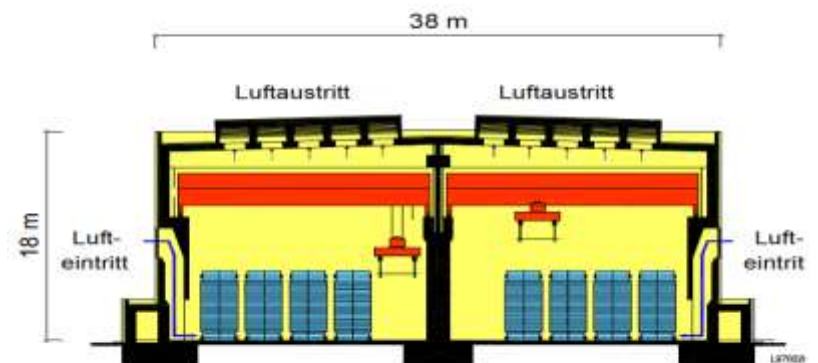
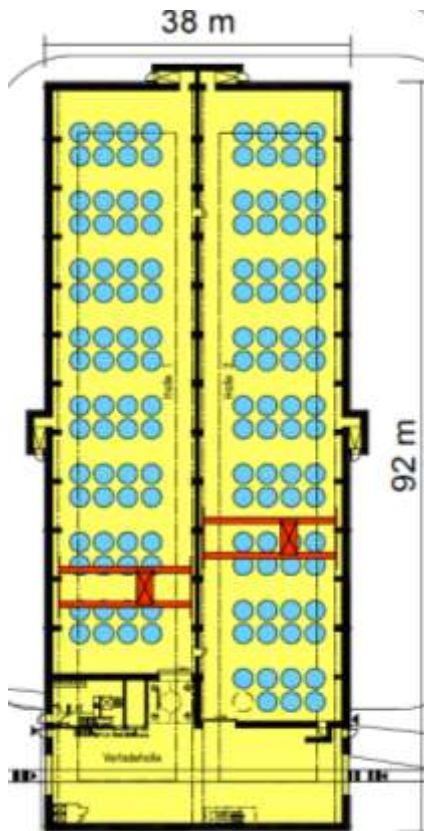
Основные параметры: утолщенные строительные конструкции, толщина стенок – ок. 1.2 м, толщина перекрытий - 1.3 м, одиночное строение



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

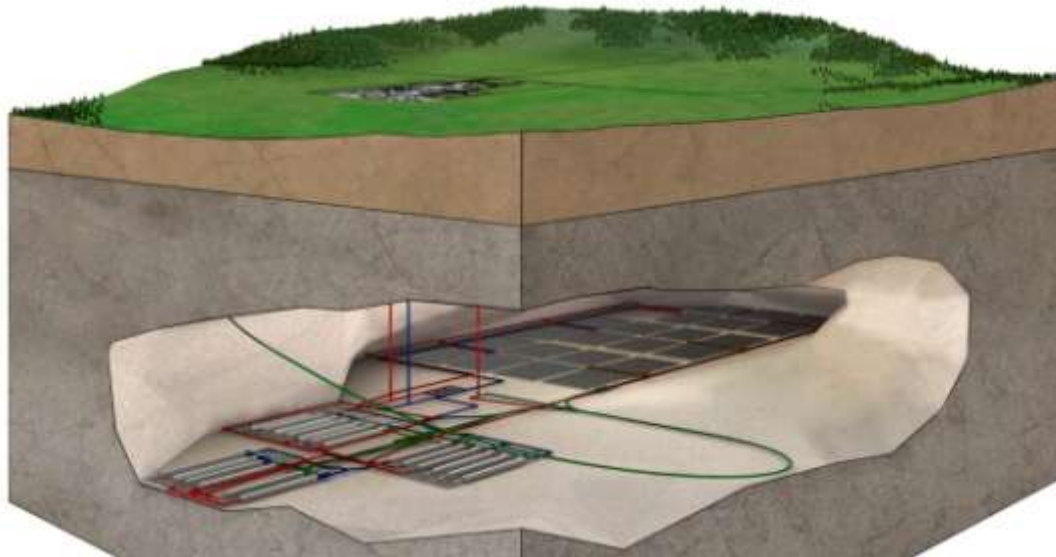


- Хранилище НАО в Тrawsfynydd (Великобритания)

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)

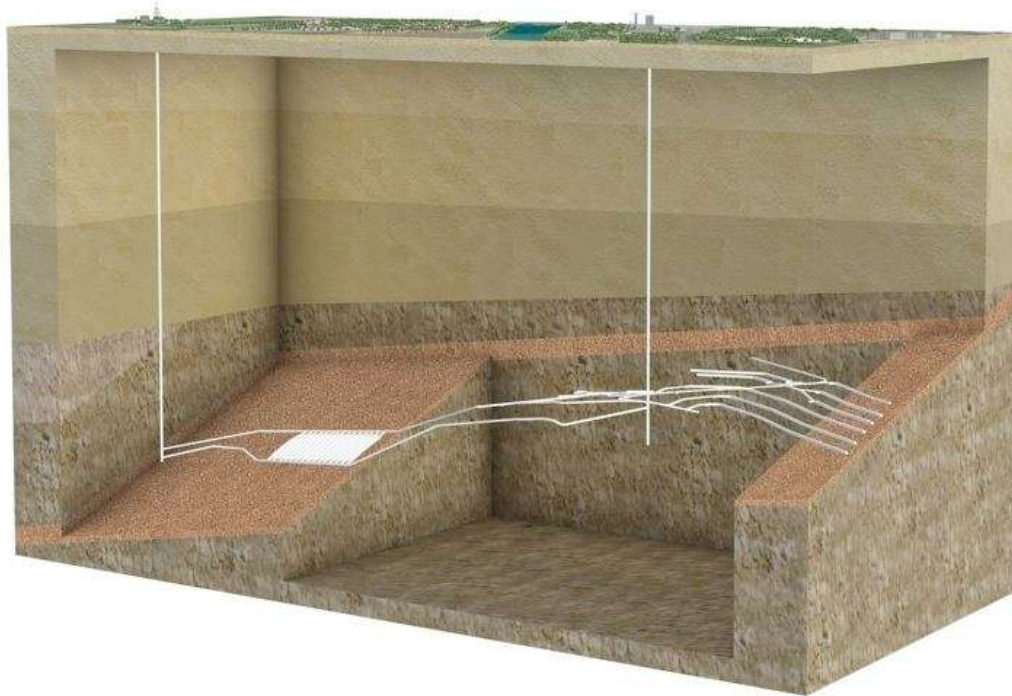
Сравнение нескольких концепций захоронения

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)



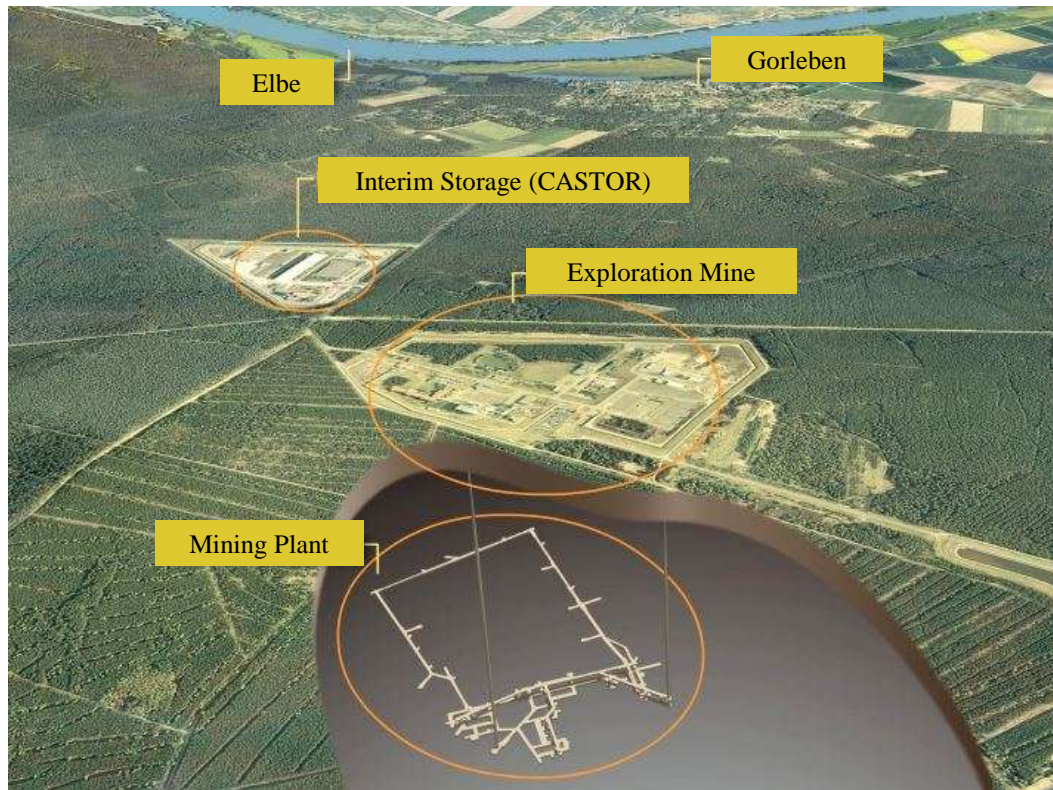
- Предложено в качестве глубокого геологического могильника для НАО и САО
- Ранее шахта для добычи железной руды
- Лицензировано в мае 2002 г.

Модель различных слоев породы и поверхностного покрова

Источник: BfS – Federal Office for Radiation Protection

Объекты окончательной изоляции

Gorleben (Германия)



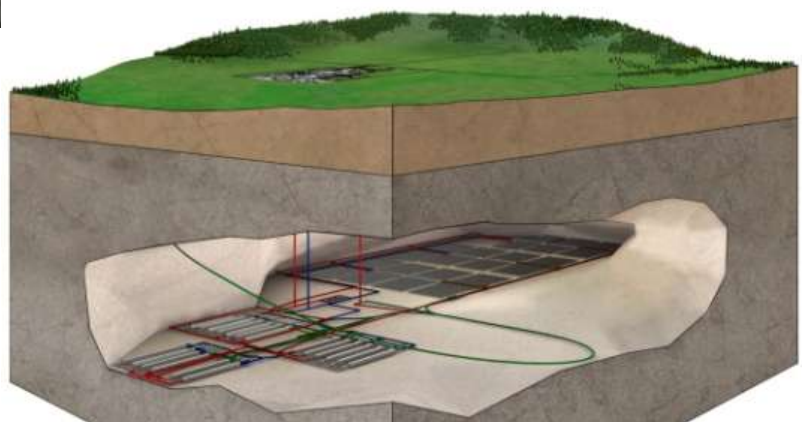
Выработка, временное хранение и окружающая среда

- 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

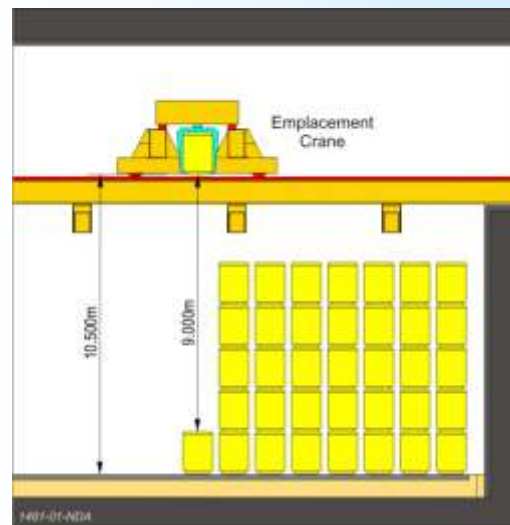
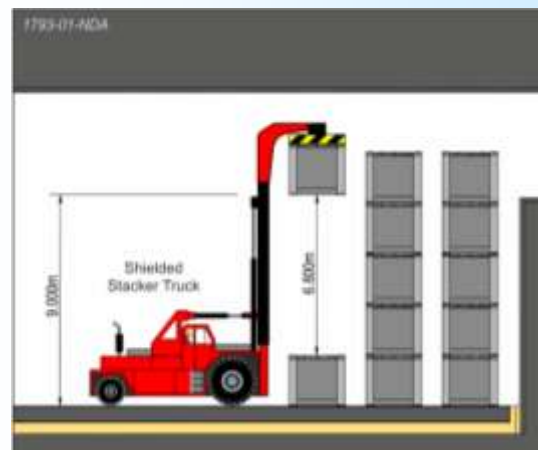
Объекты окончательной изоляции

Геологическое хранилище (Великобритания)



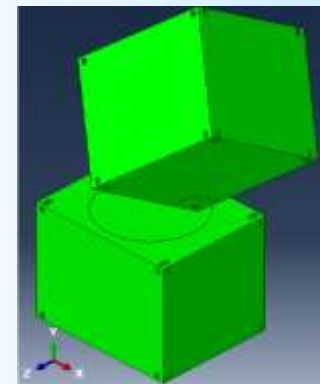
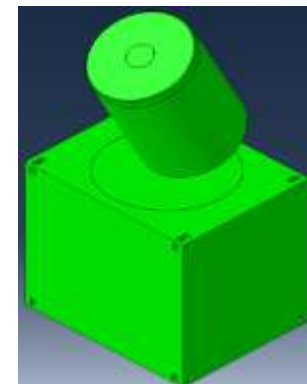
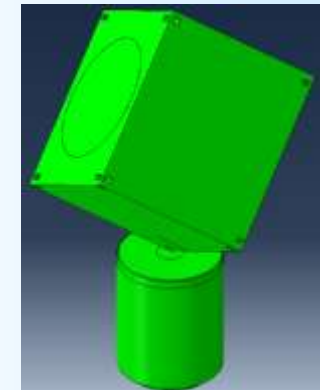
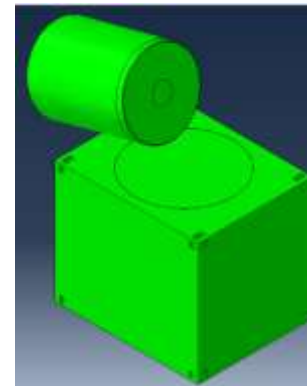
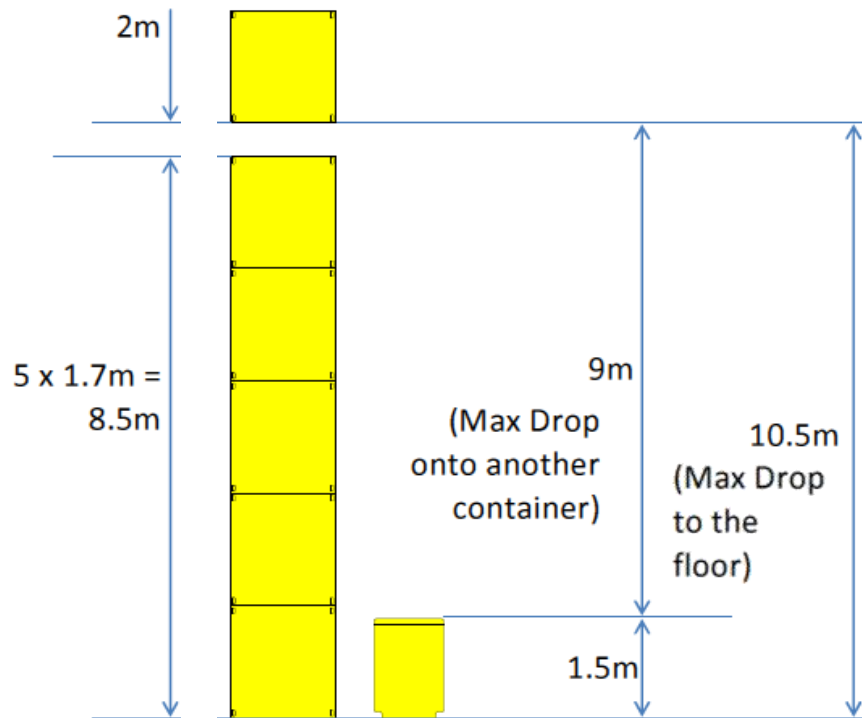
Источник: Nuclear Decommissioning Authority

Существующие проекты (Великобритания)



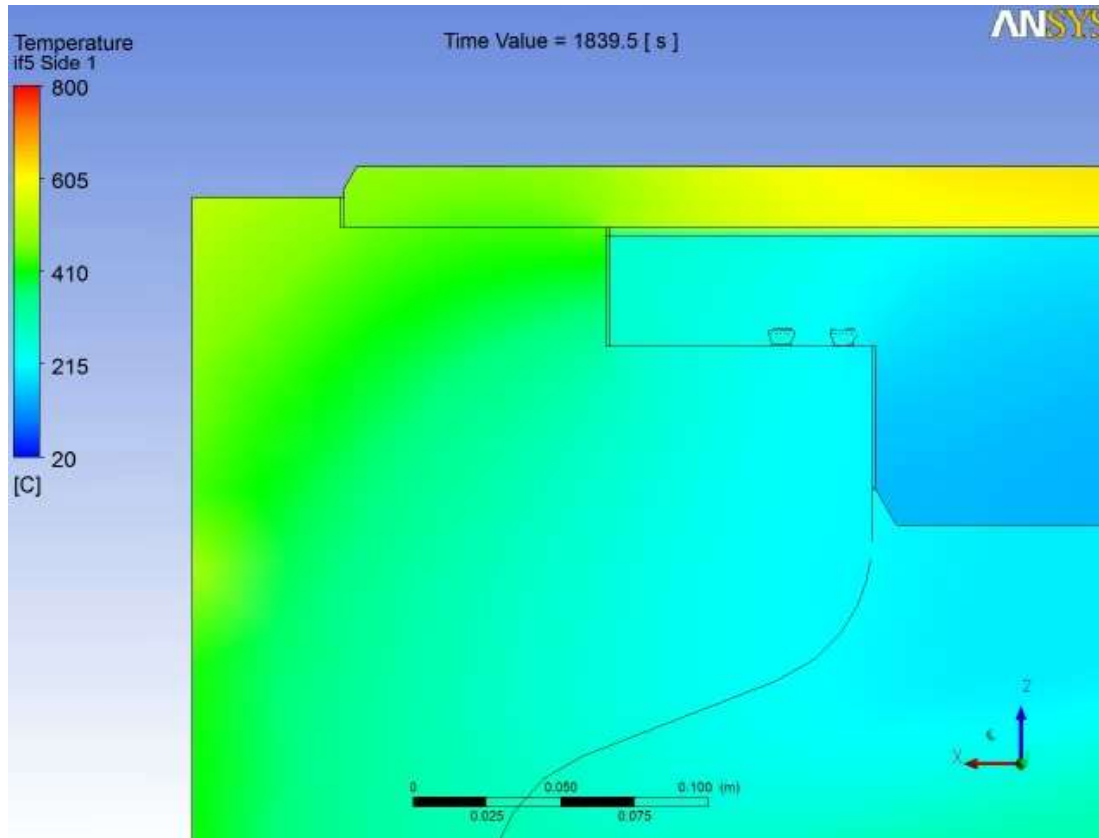
Объекты окончательной изоляции

Аварийные сценарии (Великобритания)



Источник: Nuclear Decommissioning Authority

Аспекты горючей нагрузки

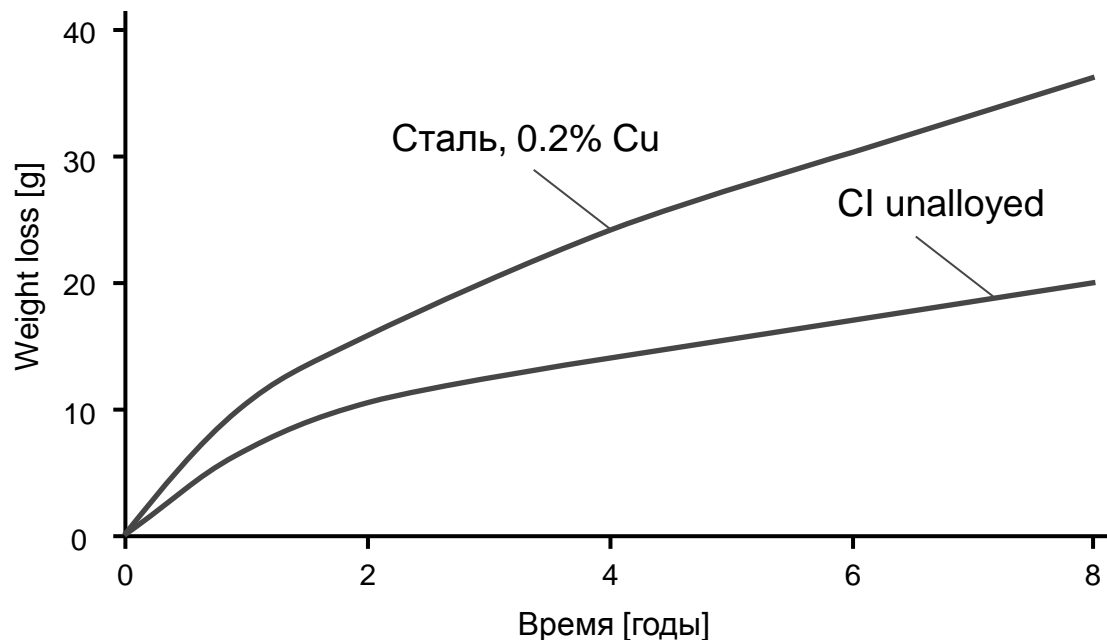


- В соответствии с правилами МАГАТЭ для контейнеров типа IP-2 не устанавливаются горючие нагрузки
- Тем не менее, контейнеры BlueBox™ способны выдерживать 800°C в течение 30 мин. на основе эластомерных уплотнителей (тип В)

Долговременная целостность

Коррозия

Чугун в сравнении со сталью



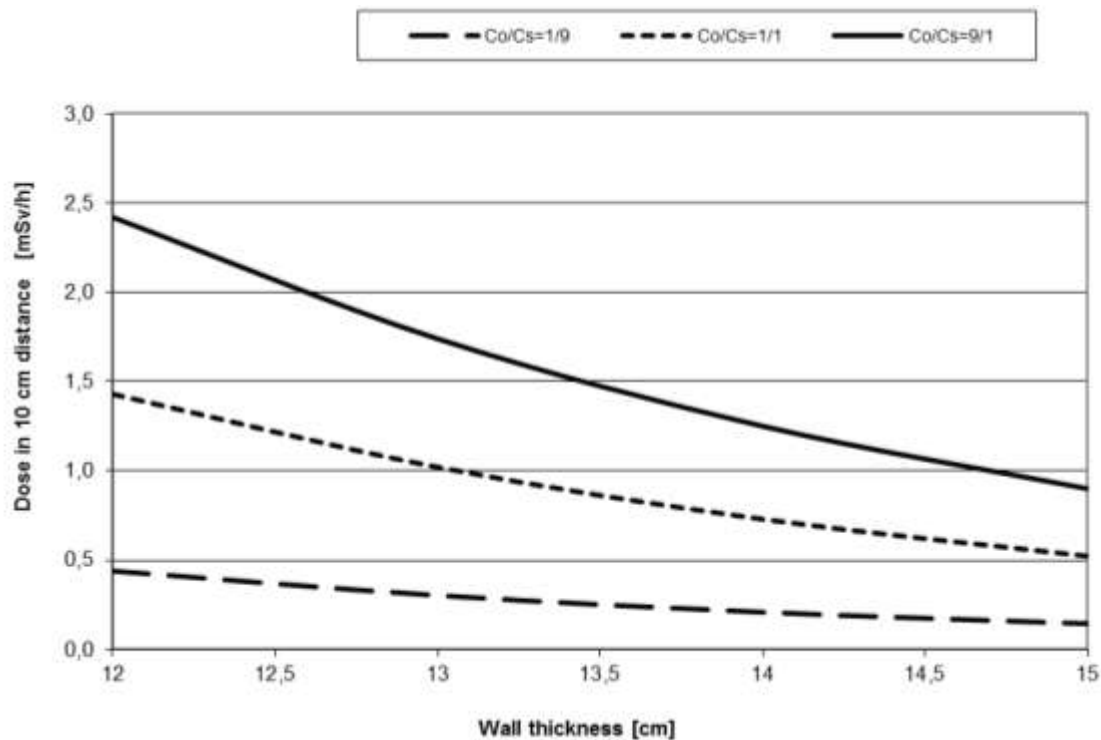
- Высокопрочный чугун имеет лучшие характеристики по долгосрочной целостности против коррозии из-за структуры материала и увеличенный пассивирующий слой;
- Следовательно, требования к безопасности могут быть достижимы даже при условии долгосрочного хранения



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

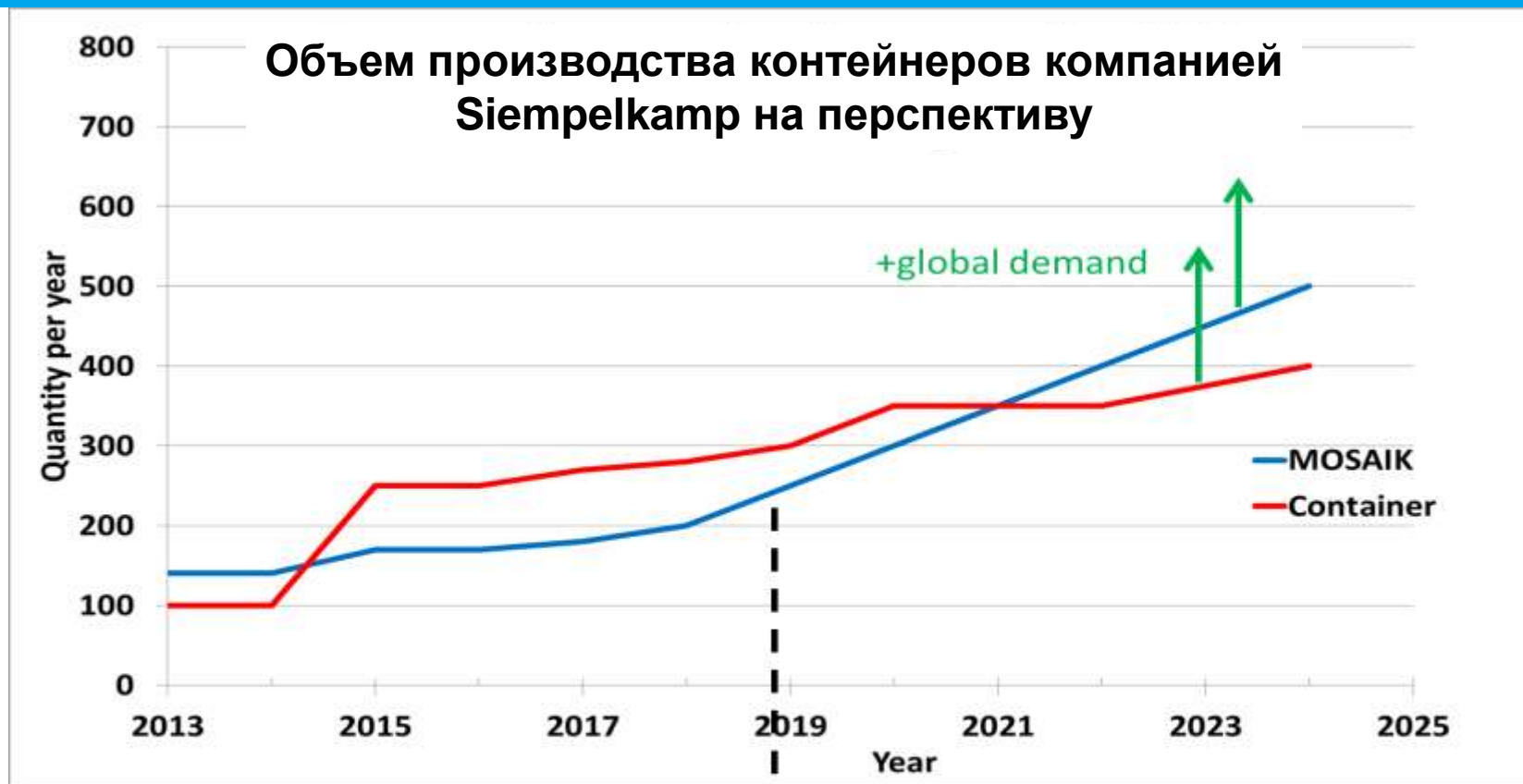
Источник: S. Hasse, Duktiles Gusseisen, Schiele & Schön, 1996

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

