VII Научно-технической конференции
«КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

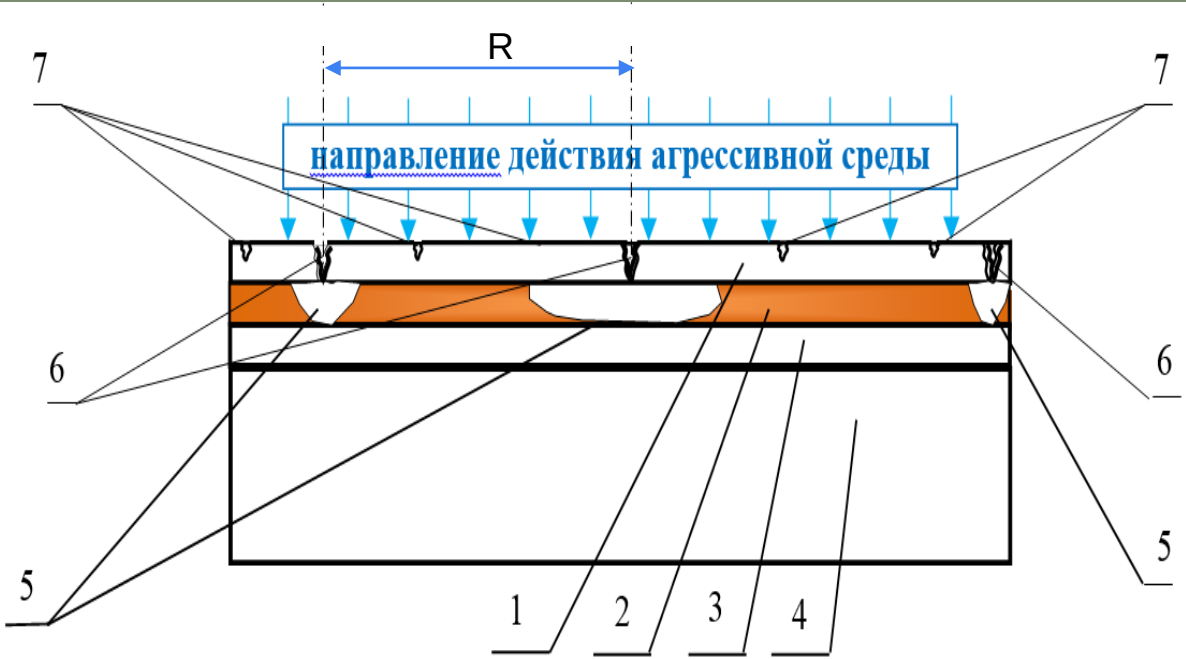
# Новые металлические материалы повышенной коррозионной стойкости, работающие по принципу «внутреннего протектора»

Д.т.н., профессор
**Розен Андрей Евгеньевич**
E-mail: aerozen@bk.ru

# Часть 1

# Инновационный материал повышенной коррозионной стойкости для работы в высоко агрессивных средах

# Принцип работы внутреннего протектора




1 – наружный слой; 2 – внутренний протектор; 3 – третий слой; 4 – базовый слой; 5 – линзы в протекторе из продуктов коррозии; 6 – сквозные питтинги первого слоя; 7 – питтинги, у которых прекратился рост ввиду электрохимического воздействия внутреннего протектора; R – радиус действия внутреннего протектора

| | |
|---|---|
| 1 слой | питтинговая коррозия |
| 2 слой | контактная коррозия |
| 3 слой | питтинговая коррозия |

Техническое решение запатентовано в 11 странах.

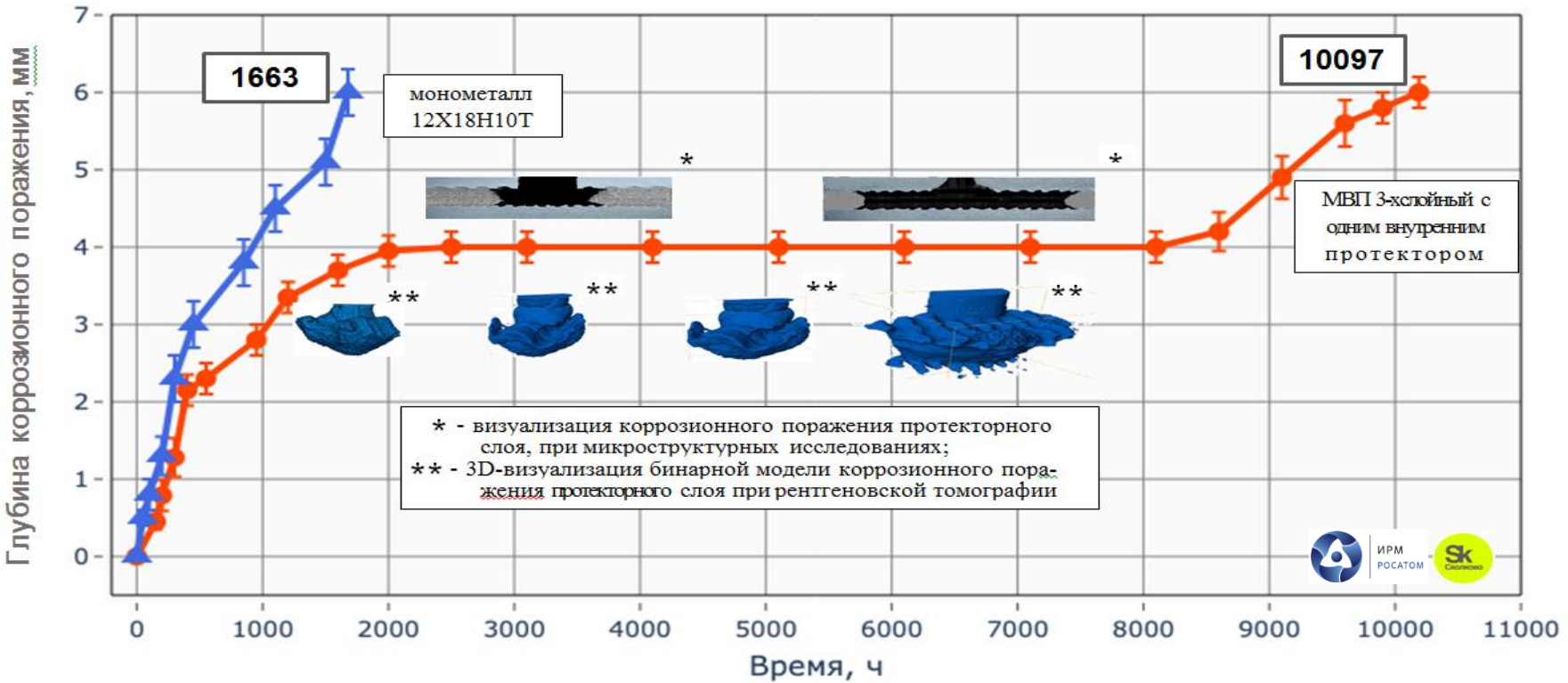
**Патент № 016878 ЕАПВ:**
**«Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости (варианты) и способы его получения».**

# Архитектура листового материала




1 – слои с высоким электрохимическим потенциалом; 2 – внутренние протекторы;
3 – основной слой, по которому рассчитывают прочность всей металлоконструкции

# Сравнительные коррозионные испытания

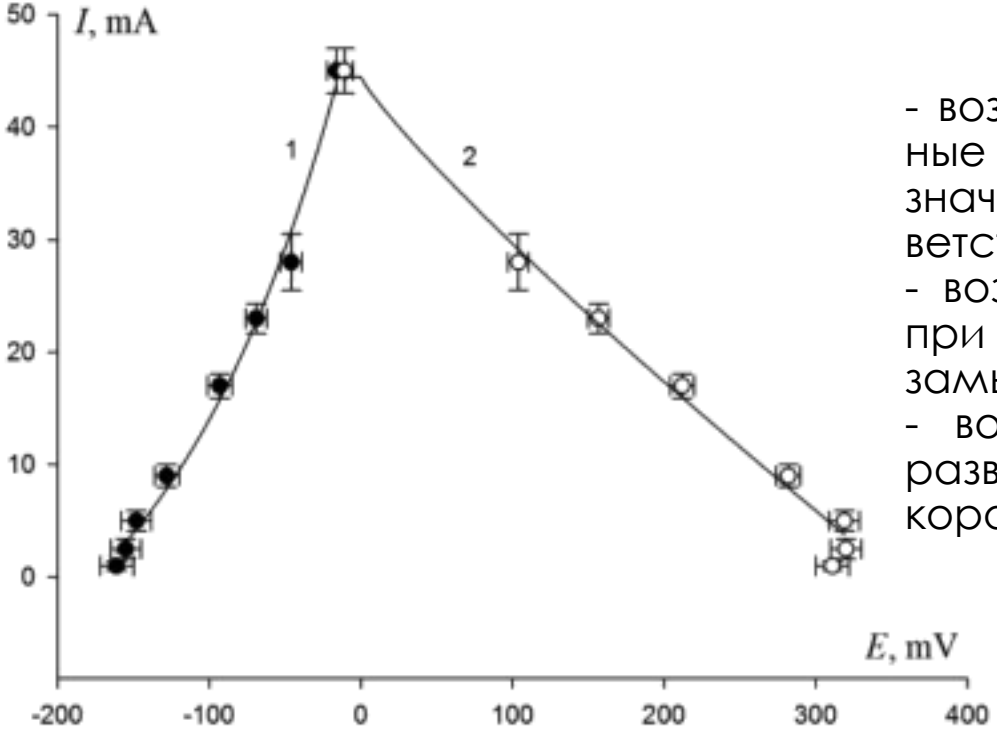



Состав агрессивной среды: 10% раствор трихлорида железа ($FeC1_3$ - $6H_2O$)

Повышение коррозионной стойкости в **6 раз** при одном ВП и в **23 раза** при двух ВП

# Ускоренные коррозионные испытания

Патент РФ № 2533344
«Электрохимический метод ускоренных коррозионных испытаний МВП»




**Преимущества :**

- возможность исследовать коррозионные процессы при низких и высоких значениях силы тока (мкА и мА соответственно);
- возможность проводить измерения при токах, близких к току короткого замыкания;
- возможность прогнозировать развитие коррозионных процессов за короткое время (не более 2-х часов).

**Зависимость электрохимических потенциалов стали 09Г2С (линия 1) и 08Х18Н10Т (линия 2) от силы тока**

# Локализация технологического цикла (сварка взрывом)











Максимальная площадь листа МВП за один подрыв – до **12 м²**

Иссинский КСМ

ООО «Иссинский комбинат строительных материалов», Пензенская обл., пос. Исса

# Локализация технологического цикла

**Аттестованы и сертифицированы лаборатории:**

1. Механических испытаний
2. Коррозионных испытаний
3. Неразрушающего контроля









# Локализация технологического цикла




**Печь с выдвижным подом для термической обработки**

Отработаны технологии:

1. Термической обработки
2. Правки  на листоправильных машинах
3. Правки на листоправильных прессах




**Машина листоправильная**




**Пресс листоправильный**

# Локализация технологического цикла




**Многовалковый стан**







**Пресс листогибочный**

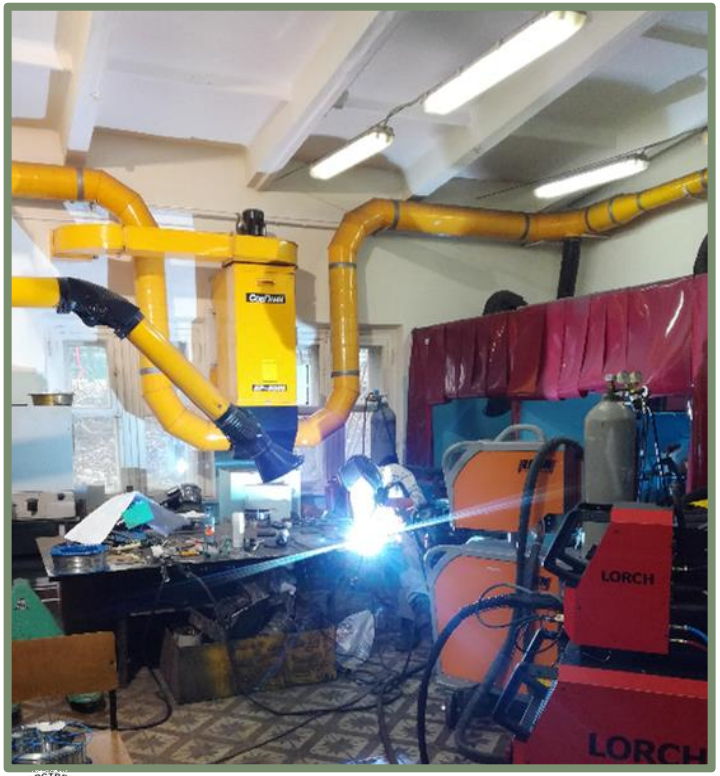
**Отработаны технологии:**

1. Горячего листового проката
2. Объёмной штамповки
3. Холодной гибки
4. Горячей гибки




**Производство эллиптических днищ**

# Локализация технологического цикла




**Отработаны промышленные способы дуговой сварки МВП :**

- ручная дуговая покрытыми электродами (**РД**);
- ручная аргонодуговая неплавящимся электродом (**РАД**);
- механизированная аргонодуговая плавящимся электродом (**МАДП**);
- автоматическая под флюсом (**АФ**);
- автоматическая аргонодуговая неплавящимся электродом (**ААД**);
- автоматическая аргонодуговая плавящимся электродом (**ААДП**);
- автоматическая под флюсом на флюсовой подушке (**АФф**).

# Работа в рамках ЕОТП ГК «Росатом»

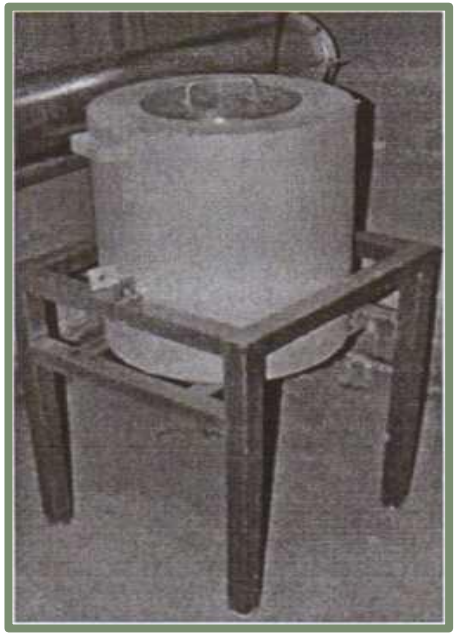
**Тема:** «Создание и разработка нормативных требований к новым коррозионно-стойким многослойным металлическим материалам с внутренним протектором для объектов хранения радиоактивных отходов (РАО) (ЕОТП-МТ-85)»

Уровень технологической готовности **TRL 6**

**Результат:** при условии обеспечения высоких механических и технологических свойств и сохранения указанных качеств в сварных соединениях при изготовлении объектов для хранения РАО коррозионная стойкость нержавеющих сталей аустенитного класса повышается в **6 раз** при наличии одного ВП и в **23 раза** при наличии двух ВП.

## Команда проекта

# Проведение натурных испытаний



**Экспериментальный образец для натурных испытаний V=50 л**

В «горячих» камерах АО «ИРМ» проведены натурные испытания опытного образца ёмкости из **МВП** с одним внутренним протектором в составе наливной (**НСК**) и контролируемой (**КСК**) спец. канализации ЖРО с добавкой от **0,3** до **10%** массовых Долей $\mathbf{FeCl_3 \cdot 6H_2O}$ в условиях радиационного воздействия.

С помощью поправочных коэффициентов произведён перерасчёт для реальных сред ЖРО.



Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНСТИТУТ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ»
(АО «ИРМ»)

УТВЕРЖДАЮ

ПРОГРАММА и МЕТОДИКА



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ»
(ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

ТЕХНИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Москва, 2023

# Результаты натурных испытаний

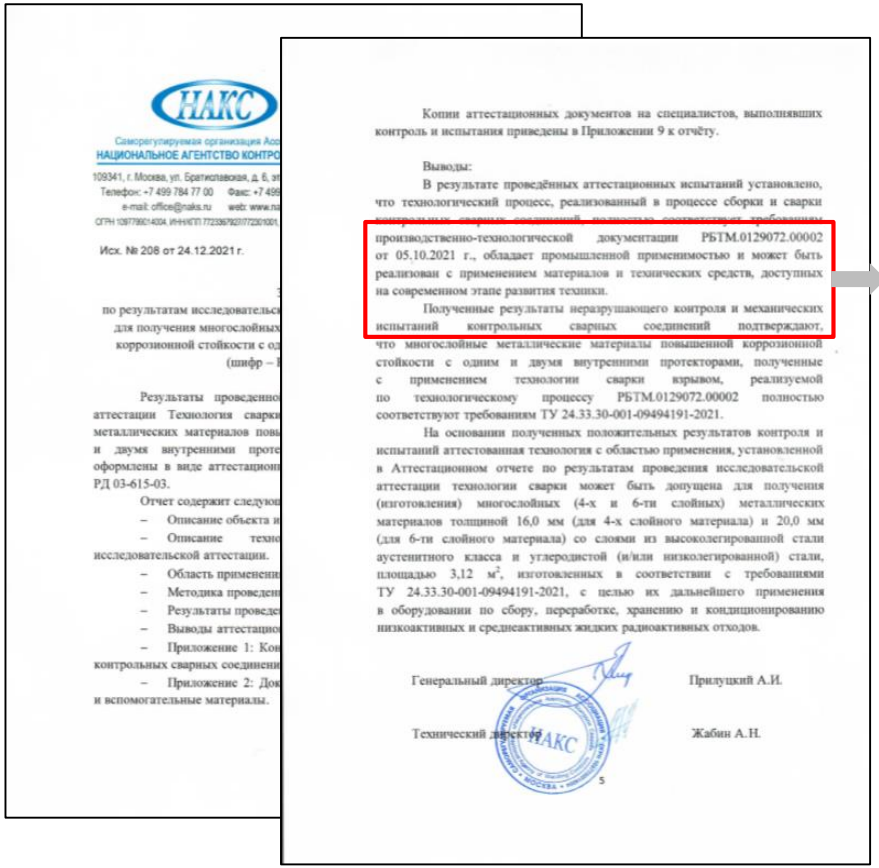
Монометалл 12Х18Н10Т → 100 лет

МВП с одним внутренним протектором → 600 лет в НСК

900 лет в КСК

**Создан материал, способный с высокой степенью надёжности и экологической безопасности многократно повышать ресурс работы аппаратов и изделий в атомной промышленности**

# Аттестация технологии сварки взрывом (НАКС)



Копии аттестационных документов на специалистов, выполнявших контроль и испытания приведены в Приложении 9 к отчёту.

Выводы:

В результате проведённых аттестационных испытаний установлено, что технологический процесс, реализованный в процессе сборки и сварки [illegible] производственно-технологической документации РБТМ.0129072.00002 от 05.10.2021 г., обладает промышленной применимостью и может быть реализован с применением материалов и технических средств, доступных на современном этапе развития техники.

Полученные результаты неразрушающего контроля и механических испытаний контрольных сварных соединений подтверждают, что многослойные металлические материалы повышенной коррозионной стойкости с одним и двумя внутренними протекторами, полученные с применением технологии сварки взрывом, реализуемой по технологическому процессу РБТМ.0129072.00002 полностью соответствуют требованиям ТУ 24.33.30-001-09494191-2021.

На основании полученных положительных результатов контроля и испытаний аттестованная технология с областью применения, установленной в Аттестационном отчете по результатам проведения исследовательской аттестации технологии сварки может быть допущена для получения (изготовления) многослойных (4-х и 6-ти слойных) металлических материалов толщиной 16,0 мм (для 4-х слойного материала) и 20,0 мм (для 6-ти слойного материала) со слоями из высоколегированной стали аустенитного класса и углеродистой (и/или низколегированной) стали, площадью 3,12 м$^2$, изготовленных в соответствии с требованиями ТУ 24.33.30-001-09494191-2021, с целью их дальнейшего применения в оборудовании по сбору, переработке, хранению и кондиционированию низкоактивных и среднеактивных жидких радиоактивных отходов.

Генеральный директор Прилуцкий А.И.

Технический директор Жабин А.Н.

5

**Технологический процесс:**

полностью соответствуют требованиям производственно-технологической документации …

обладает промышленной примени-мостью ….

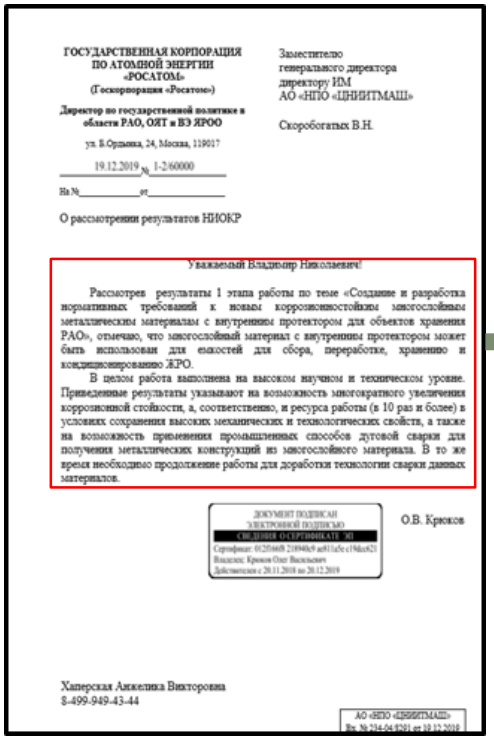
может быть реализован с применением материалов и технических средств, доступных на современном этапе развития техники.

**РБТМ.0129072.00002 – Технология сварки взрывом для получения многослойных металлических материалов повышенной коррозионной стойкости с одним и двумя внутренними протекторами**

# Разработанная нормативная документация

1. **СТО ИСМ 001.007.18-0001-2021** Сварочные работы при производстве изделий из многослойных металлических материалов повышенной коррозионной стойкости с внутренним протектором для оборудования по сбору, переработке, хранению и кондиционированию низко- и среднеактивных ЖРО.
2. **ТУ 24.33.30-001-09494191-2021** Многослойные металлические материалы повышенной коррозионной стойкости с внутренним протектором для оборудования по сбору, переработке, хранению конденсированию низко- и среднеактивных ЖРО (документ подготовлен к регистрации).
3. **РБТМ.0129072.00002** Технология сварки взрывом для получения многослойных металлических материалов повышенной коррозионной стойкости с одним и двумя внутренними протекторами.
4. **РБТМ.6029072.00004** Операционная технологическая карта сварки взрывом многослойных металлических материалов с двумя внутренними протекторами.
5. **РБТМ.6029072.00005** Операционная технологическая карта сварки взрывом многослойных металлических материалов с одним внутренним протектором.

# Отзывы на результаты НИОКР



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
(Госкорпорация «Росатом»)
Директор по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО
ул. Б.Ордынка, 24, Москва, 119017
19.12.2019 № 1-2/60000
На №_____от_____

Заместителю генерального директора директору ИМ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Скоробогатых В.Н.

О рассмотрении результатов НИОКР

Уважаемый Владимир Николаевич!

Рассмотрев результаты 1 этапа работы по теме «Создание и разработка нормативных требований к новым коррозионностойким многослойным металлическим материалам с внутренним протектором для объектов хранения РАО», отмечаю, что многослойный материал с внутренним протектором может быть использован для емкостей для сбора, переработке, хранению и кондиционированию ЖРО.

В целом работа выполнена на высоком научном и техническом уровне. Приведенные результаты указывают на возможность многократного увеличения коррозионной стойкости, а, соответственно, и ресурса работы (в 10 раз и более) в условиях сохранения высоких механических и технологических свойств, а также на возможность применения промышленных способов дуговой сварки для получения металлических конструкций из многослойного материала. В то же время необходимо продолжение работы для доработки технологии сварки данных материалов.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП
Сертификат: 012f04e8 218940c9 ad611a5e c19dc621
Владелец: Крюков Олег Васильевич
Действителен с 20.11.2018 по 20.12.2019

О.В. Крюков

Хаперская Анжелика Викторовна
8-499-949-43-44

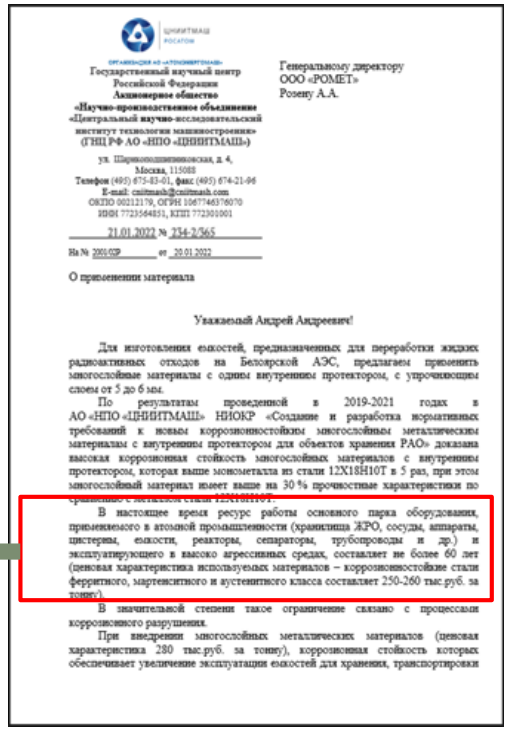
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Вх. № 234-04/8291 от 19.12.2019

Рассмотрев результаты работы отмечаю, что **МВП** может быть использован для емкостей по сбору, переработке, хранению и кондиционированию ЖРО. Работа выполнена на высоком научном и техническом уровне.
Приведенные результаты указывают на возможность многократного увеличения коррозионной стойкости, а, соответственно, и ресурса работы в условиях сохранения высоких механических и технологических свойств.

***Директор по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО О.В.Крюков***

По результатам проведённой НИОКР доказана высокая коррозионная стойкость многослойного металли-ческого материала с одним внутренним протектором, которая выше монометалла из стали 12Х18Н10Т в 6 раз, а прочностные характеристики - на 30 %.

***Первый зам. ген. Директора ГНЦ РФ АО ЦНИИТМАШ С.В.Ефимов***



ЦНИИТМАШ РОСАТОМ
Государственный научный центр Российской Федерации
Акционерное общество
«Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения»
(ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)
ул. Шарикоподшипниковская, д. 4, Москва, 115088
Телефон (495) 675-83-01, факс (495) 674-21-96
E-mail: cniimash@cniimash.com
ОКПО 00211279, ОГРН 1067746376070
ИНН 7723564851, КПП 772301001
21.01.2022 № 234-2/365
На № 2001/ОДР от 20.01.2022

Генеральному директору ООО «РОМЕТ» Розену А.А.

О применении материала

Уважаемый Андрей Андреевич!

Для изготовления емкостей, предназначенных для переработки жидких радиоактивных отходов на Белоярской АЭС, предлагаем применить многослойные материалы с одним внутренним протектором, с упрочняющим слоем от 5 до 6 мм.

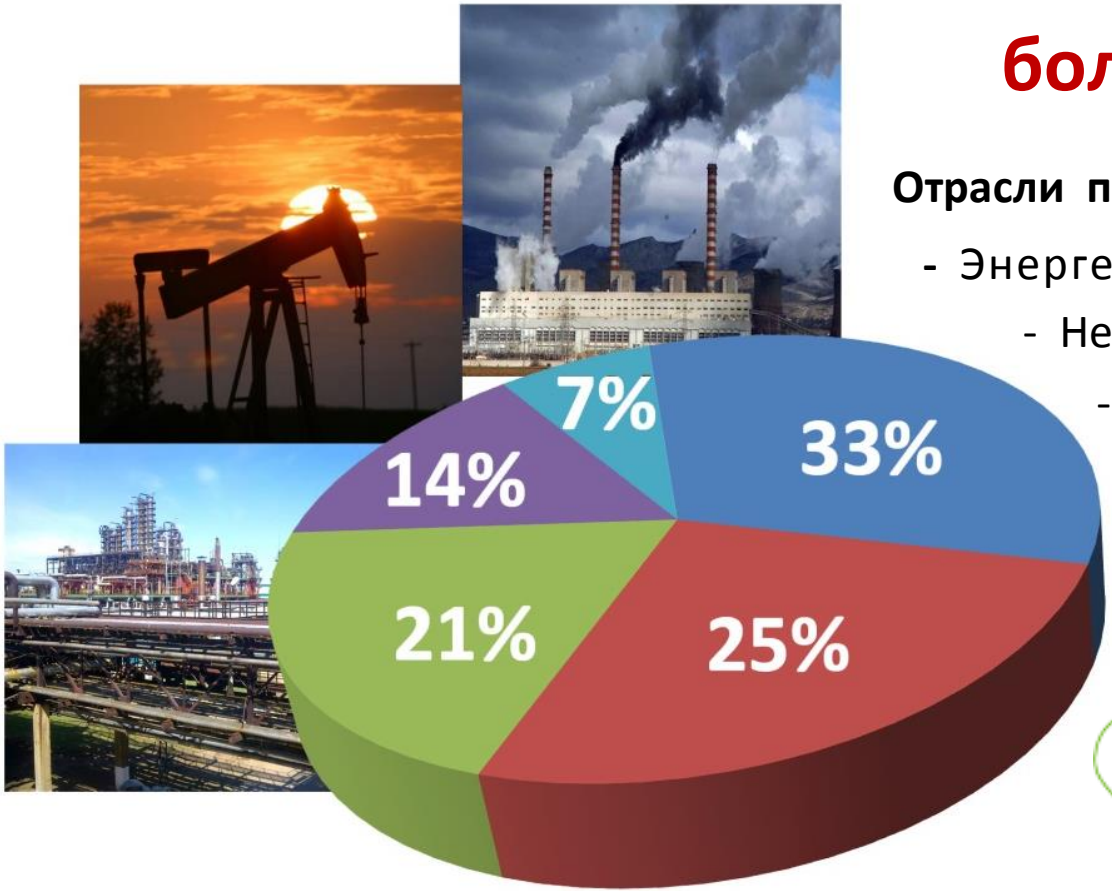
По результатам проведенной в 2019-2021 годах в АО «НПО «ЦНИИТМАШ» НИОКР «Создание и разработка нормативных требований к новым коррозионностойким многослойным металлическим материалам с внутренним протектором для объектов хранения РАО» доказана высокая коррозионная стойкость многослойных материалов с внутренним протектором, которая выше монометалла из стали 12Х18Н10Т в 5 раз, при этом многослойный материал имеет выше на 30 % прочностные характеристики по сравнению с металлом стали 12Х18Н10Т.

В настоящее время ресурс работы основного парка оборудования, применяемого в атомной промышленности (хранилища ЖРО, сосуды, аппараты, цистерны, емкости, реакторы, сепараторы, трубопроводы и др.) и эксплуатирующего в высоко агрессивных средах, составляет не более 60 лет (ценовая характеристика используемых материалов – коррозионностойкие стали ферритного, мартенситного и аустенитного класса составляет 250-260 тыс.руб. за тонну).

В значительной степени такое ограничение связано с процессами коррозионного разрушения.

При внедрении многослойных металлических материалов (ценовая характеристика 280 тыс.руб. за тонну), коррозионная стойкость которых обеспечивает увеличение эксплуатации емкостей для хранения, транспортировки

# Мировой объем рынка коррозионностойких материалов




## более $ 900 000 000

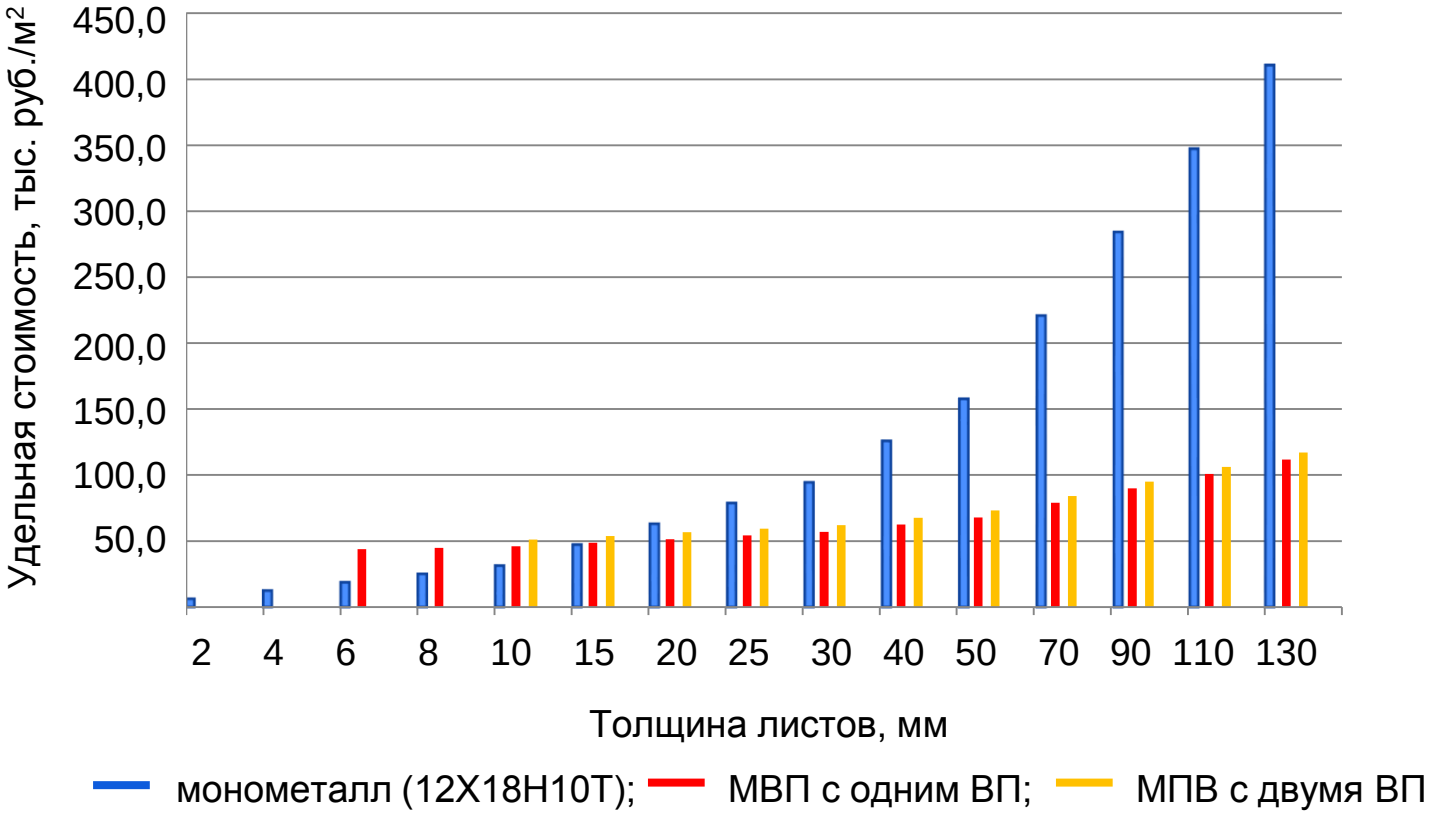
**Отрасли потребления нержавеющей стали**

- Энергетическая (33%)
- Нефтеперерабатывающая (25%)
- Химическая (21%)
- Атомная (14%)
- Судостроение (7%)

**Анализ рынка был проведен компанией ООО «ЦКИ»**

ЦЕНТР КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИЙ

# Сравнительная стоимость нержавеющей стали и МВП



# Эффективность применения МВП

| Техническая характеристика | Архитектура листового материала | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Монометалл 12Х18Н10Т** | | | **МВП с одним ВП** | | | **МВП с двумя ВП** | | |
| Толщина листа, мм | 25,0 | 70,0 | 130,0 | 25,0 | 70,0 | 130,0 | 25,0 | 70,0 | 130,0 |
| Удельная стоимость, тыс. руб./ м$^2$ | 79.0 | 221,2 | 410,8 | 54,2 | 78,9 | 111,9 | 59,4 | 84,1 | 117,1 |
| Ресурс работы, отн. ед. | 1.0 | 1,0 | 1,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 |
| Ударная вязкость, (не менее) **KCU**, кДж/м$^2$ | 215 | 215 | 215 | 290 | 290 | 290 | 290 | 290 | 290 |
| Предел прочности (не менее) $\sigma_в$, Н/мм$^2$ | 550 | 550 | 550 | 640 | 640 | 640 | 640 | 640 | 640 |

**МВП** может осуществить **импортозамещение** толстолистовой нержавеющей стали при значительном снижении стоимости материала, увеличении механических свойств и ресурса работы.

# Ключевые достижения

1. Сравнительными коррозионными испытаниями доказано повышение коррозионной стойкости **МВП** в сравнении с высоколегированными нержавеющими сталями аустенитного класса (12Х18Н10Т) :
   - в **6 раз** при наличии одного **ВП**;
   - в **23 раза** при наличии двух **ВП**.
2. За **3 года** произведено более **200 м²** 3-х, 4-х и 6-тислойных МВП с одним и двумя внутренними протекторами.
3. Локализованы все виды технологической обработки в пределах Пензенской области:
   - сварка взрывом;
   - термическая обработка;
   - правка (прокатка);
   - штамповка;
   - дуговая сварка;
   - сертификация произведённого материала.
4. В пределах Пензенской области подготовлена технологическая база для производства **МВП** до **12 тыс. м²** **в год** с поставками конечной продукции в течение **20** дней.

# Ключевые достижения (продолжение)

**5.** Разработаны и утверждены нормативные документы:
- стандарт Организации **СТО ИСМ 001.007.18-0001-2021**;
- технические условия (**ТУ 24.33.30-001-09494191-2021**);
- технология сварки взрывом (**РБТМ.0129072.00002**);
- операционные Технологические Карты (**РБТМ.6029072.00004, РБТМ.6029072.00005**).

**6.** Проведены натурные испытания опытного образца в составе наливной и контролируемой спец. канализации ЖРО, которые подтвердили возможность повышения их ресурса работы со **100** до **600** и **900 лет,** соответственно.

**7.** Создан материал высокой степени новизны и перспективности применения, который по ценовой категории находится в одном ряду с высоколегированными нержавеющими сталями аустенитного класса, а по величине коррозионной стойкости сопоставим с палладием, никелем и хастеллоем.

**8.** Уровень технологической готовности **TRL 6**.

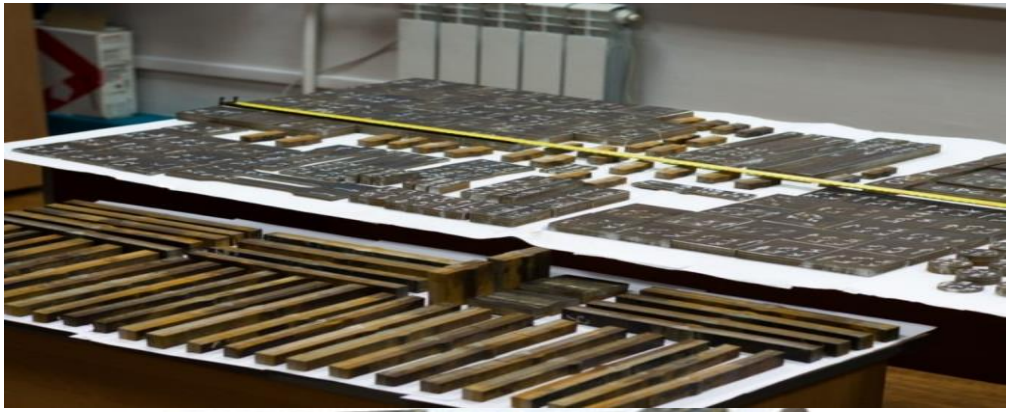
**9.** Возможность замены толстолистовых (более **20 мм**) материалов из нержавеющей стали с аустенитной структурой на **МВП** с повышенным ресурсом работы и низкой себестоимостью (пример **импортозамещения**).

# Часть 2

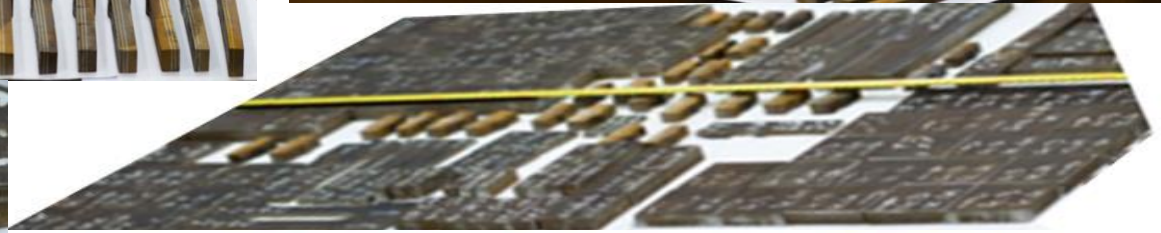
# Механические, технологические и эксплуатационные свойства слоистых металлических материалов с «внутренним протектором»

# Образцы для испытаний



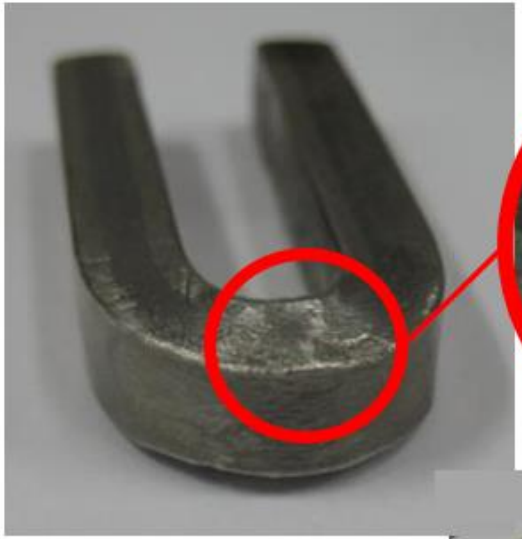








# Статический изгиб сварного соединения МВП





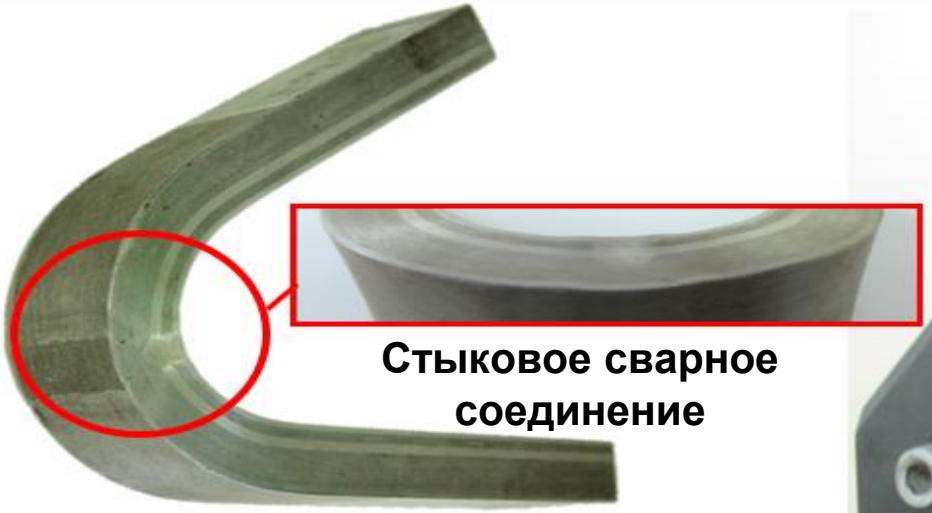





**Испытания до параллельности сторон – 180 град.**

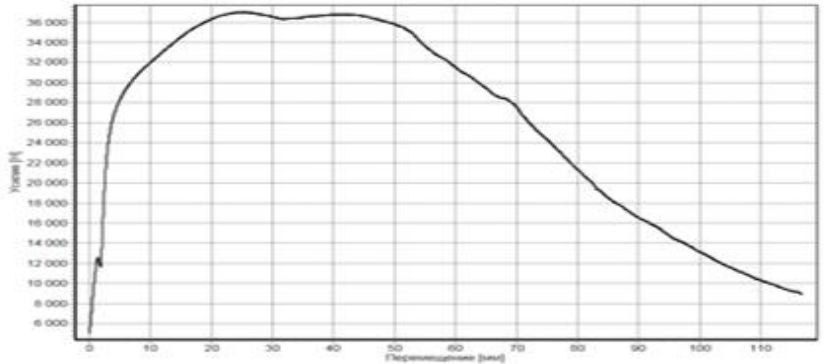
**Испытания до определённого угла - 105 град.**

# Статический изгиб сварного соединения МВП



Стыковое сварное соединение





# Эксплуатационные характеристики

| Техническая характеристика | Архитектура листового материала | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Монометалл 12Х18Н10Т** | **3-хслойная с одним ВП** | **4-хслойная с одним ВП** | **6-тислойная с двумя ВП** |
| Прочность сцепления слоёв на каждой межслойной границе, $\sigma_{ср}$, (не менее) Н/мм$^2$ | — | 320 | | |
| Временное сопротивление на разрыв основного слоя, $\sigma_в$, (не менее) Н/мм$^2$ | 550 | 640 | 640 | |
| Ударная вязкость основного слоя, (не менее) **KCU**, кДж/м$^2$ | 215 | 290 | 290 | |
| Угол загиба, ***α*** град, не менее | 180 | 180 | 180 | 147 |
| **Время коррозионного поражения защитного слоя, ч (сут) *** | **1663 (70)** | **10097 (420)** | **10097 (420)** | **38270 (1600)** |

– эксплуатационные характеристики вновь созданного материала (МВП);

* – толщина слоя противокоррозионной защиты при 1 ВП – 6мм, 2 ВП – 10 мм.

# Наши партнеры

Министерство обороны РФ

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

РОСАТОМ

Российский научный фонд

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ малых форм предприятий в научно-технической сфере

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОСИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Sk Сколково

Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий

# Благодарю за внимание!



Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Сварочное, литейное производство и материаловедение», Пензенский государственный университет

**Розен Андрей Евгеньевич**

E-mail: aerozen@bk.ru

+7 (927) 380 - 93 - 81