



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

«КОМАНДА»

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Часть 2



НЕДРА

Санкт-Петербург
2023

УДК 621.039 + 339
ББК 31.4 + 65.428
К63

«Команда–2023», международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли (6; 2023; Санкт-Петербург).

X международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Команда»: сборник тезисов. Часть 2. – Москва: ООО «Издательский дом Недра», 2023. – 212 с.

ISBN 978-5-8365-0512-7

ISBN 978-5-8365-0512-7

УДК 621.039 + 339
ББК 31.4 + 65.428

© Коллектив авторов, 2023
© Оформление. ООО «Издательский дом Недра», 2023

ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ, УЧЕТ ОПЫТА

ДИАГНОСТИКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТЕКТОРОВ ПРЯМОЙ ЗАРЯДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МЕТОДА ИСКЛЮЧЕННОГО ДПЗ Н.О. Блохин, Д.Н. Скороходов	12
ИСПЫТАНИЯ ПО ПРОВЕРКЕ РЕЖИМА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ НА ЭНЕРГБЛОКАХ С ВВЭР-1200 С.А. Буцилин, А.В. Гончаров, Ю.В. Саунин, А.Ю. Саунина.....	13
ОПЫТ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ПАИ ПТС СВРК Д.В. Воробьева, А.С. Сорокин, А.М. Иванов, Т.С. Сахарова, Д.Н. Скороходов, И.А. Никитенко, Н.В. Мильто	14
АСУ ТП В ПРОЕКТАХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ. СТРАТЕГИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ АЭС ПО НАПРАВЛЕНИЮ ТОИР В.В. Гавриленко, В.Д. Гуринович, Д.Ю. Дроздов	16
ЭКОСИСТЕМА ПТО В.А. Дуров.....	17
К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АЭС А.Д. Жуков	19
СОВРЕМЕННЫЙ ЦИФРОВОЙ ПОДХОД ПО НАБЛЮДЕНИЮ КРАНОВЫХ ПУТЕЙ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И.В. Минин	20
СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НА ВХОДЕ В АКТИВНУЮ ЗОНУ НА ЭНЕРГБЛОКАХ С ВВЭР-1200 ПРОЕКТА АЭС-2006 Е.М. Плешакова, А.В. Семенихин, А.Н. Добротворский, А.Ю. Самодуров	22
ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ И БЛОКИРОВОК ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ СРОКОВ ПНР И ППР НА ОБОРУДОВАНИИ АСУ ТП. ВНЕДРЕНИЕ САТ Е.А. Семернин	24
ВАЖНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УЧЕТА ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТОВ НОВЫХ АС Р.Е. Сергеев	25
УЧЕТ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС ПРИ СООРУЖЕНИИ КУРСКОЙ АЭС-2 Р.М. Шалимов	27
ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НАЛАДКИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ВВОДЕ АЭС В ЭКСПЛУАТАЦИЮ В.И. Шумилов	29

РАСЧЕТНЫЕ ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И КОМПОНЕНТОВ (КСК)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАГРУЖЕНИИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ТЕРМОПУЛЬСАЦИЯМИ Д.Е. Бесчеров, М.А. Большухин, М.Н. Ереев, А.С. Марков, В.А. Панов, Д.Н. Патрушев, Д.Н. Свешников	31
--	----

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ В ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ М.А. Горкин, О.А. Бородина	32
УЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ Д.В. Григорьева	34
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА А.А. Ершов	36
АНАЛИЗ ПОДАТЛИВОСТИ ТРОЙНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ОИАЭ А.А. Ильин, С.А. Красницкий	37
ПРИМЕНЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ А.Р. Нигаматуллина, Е.А. Исаков.....	39
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ НАТУРНЫМ ИСПЫТАНИЯМ А.М. Козляков.....	40
СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ПРОЧНОСТИ ТОЛСТОСТЕННЫХ КОРПУСОВ НАСОСОВ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ А.Л. Шендель, А.С.Конькова.....	42
О РАЦИОНАЛЬНОЙ РАССТАНОВКЕ ОПОР В ПЛОСКОМ ПРОСТОМ ТРУБОПРОВОДЕ С.А. Красницкий, Т.Р. Кольцова	43
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАПОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ИТЭР МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ А.М. Кудрявцева, А.Н. Лабусов, П.Ю. Пискарев	45
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ КОНТАКТОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ VR32С НОМИНАЛЬНЫМ ТОКОМ 100А Э.Б. Кырыджи	47
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ К.М. Лебедева	48
МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАЙНИХ ЧАСТИЧНЫХ РЕЖИМОВ ГАЗОВЫХ ТУРБИН ПРИ ПОМОЩИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТУРБИНЫ «ЭТ4» В.А. Черников, Е.Ю. Семакина, Н.И. Фокин, А.Г. Михолитсис	50
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОНЫ ВРЕЗКИ ПАТРУБКА С УЧЕТОМ НАКЛАДНОГО КОЛЬЦА И.В. Стрекалова, А.В. Гаев	52
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕННОЙ КЛАДКИ КАК АНИЗОТРОПНОГО ТЕЛА М.С. Тетерина.....	54
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ СОСУДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА Р.В. Федоренко, А.В. Лукин	56

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СОСУДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ В.А. Федоров, А.В. Гаев	57
---	----

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКЕ О.О. Шильцева, А.В. Гаев	59
--	----

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СБОРКИ ДИВЕРТОРА РЕАКТОРА ИТЭР В.Д. Артемьев, П.Ю. Чайка	61
--	----

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОММУТИРУЮЩЕЙ ЧАСТИ ЗАЩИТНОГО РАЗМЫКАТЕЛЯ СИСТЕМЫ БЫСТРОГО ВЫВОДА ЭНЕРГИИ ИТЭР В.А. Ахмедова, М.В. Манзук	62
--	----

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ Д.В. Бубнова, А.В. Пудова	64
---	----

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ КАТУШЕК МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ТОКАМАКОВ Ю.Н. Латманизова, А.Г. Рошаль	66
--	----

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ГЕОМЕТРИЮ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ЭЛЕМЕНТОВ Н.В. Монтанк, М.Н. Большаков, В.А. Васильев, С.Н. Мазаев, А.Н. Маханьков	67
--	----

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ С СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ Е.А. Муравьева, А.А. Карташева, В.Л. Подковыров, К.М. Гуторов	68
---	----

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ КОММУТАЦИИ ТОКА ТОКАМАКА ИТЭР К ПОСТОЯННОМУ МАГНИТНОМУ ПОЛЮ А.И. Семенов	70
---	----

ИТЭР. ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ЧАСТЬЮ ПРОЕКТА П.А. Сергеев, Ю.Н. Савченко	71
---	----

ПОДХОДЫ К УЧЕТУ ОСОБЕННОСТЕЙ ИННОВАЦИОННЫХ ЯДЕРНЫХ И ТЕРМОЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИХ РЕГУЛИРОВАНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ А.В. Курындин, А.М. Киркин, С.В. Синегрибов, М.А. Бучихин	72
--	----

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОММУТАЦИИ РАЗМЫКАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ИТЭР А.А. Соленьий, Е.Р. Терещенко, А.И. Соколова	74
---	----

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЙ ТОКАМАКА Т-15МД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПУСКА Г.Б. Игонькина, А.Г. Качкин, М.М. Соколов, Э.Н. Хайрутдинов	75
---	----

СТЕНДЫ ТРИТИЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА ТЕРМОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ Т.А. Шишкова, Б.В. Иванов, С.С. Ананьев, Б.В. Кутеев	76
--	----

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

PITTING CORROSION BEHAVIOUR OF AUSTENITIC AND FERRITIC STAINLESS STEELS INVESTIGATED BY IMAGE-ASSISTED ELECTROCHEMICAL METHOD A. Amaechina	78
ОЧИСТКА ^{223}Ra МЕТОДОМ КАТИОНООБМЕННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА СИЛЬНОКИСЛОМ КАТИОНИТЕ BIO RAD AG 50W-X8 В.Г. Аббязова, Р.Г. Абдуллов, А.В. Борзова, А.Ю. Енизеркина, И.Л.Буткалюк, П.С. Буткалюк.....	79
ПОЛУЧЕНИЕ КАЛИФОРНИЯ-252 ОБЛУЧЕНИЕМ БЕРКЛИЕВЫХ МИШЕНЕЙ С МЕДНЫМ РАЗБАВИТЕЛЕМ Р.Г. Абдуллов, П.С. Буткалюк, А.В. Куприянов, Д.А. Перепелкин, В.Е. Шаландин, Е.Ф. Павлова	80
IMPLANTABLE DRUG DELIVERY SYSTEM FABRICATED FROM BIODEGRADABLE POLYMERS: A PROMISING TECHNOLOGY FOR NUCLEAR MEDICINE APPLICATIONS C. Awuah	81
НАВОДОРОЖИВАНИЕ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА КАНАЛОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ РЕАКТОРОВ РБМК-1000 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОДЛЕННЫЙ СРОК СЛУЖБЫ А.Н. Бирюков, В.Д. Балдин, Д.В. Бакулин, Е.В. Юрманов, А.В. Алешин	83
КОРРОЗИОННАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ КАРБИДА КРЕМНИЯ, СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕЗАКТИВАЦИОННЫХ РАСТВОРОВ А.Я. Красильников, А.В. Ряпосов, К.А. Бармин.....	84
ЗАКАЛКА ИМПУЛЬСНЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ШХ15 И 40ХН2МА А.К. Кутуков, А.А. Беляков, А.А. Сергеечев, С.Е. Панин, М.А. Миллер, В.В. Гапонова.....	86
ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРЕПАРАТА ^{227}Th А.В. Борзова, И.Л. Буткалюк, П.С. Буткалюк, В.Г. Аббязова, Р.Г. Абдуллов, А.Ю. Енизеркина, Д.А. Перепелкин, В.Е. Шаландин	87
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ СПЕЦПРАЧЕЧНЫХ АЭС В.М. Минич, О.С. Вельгин, Е.А. Устинович	88
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕНИТРАЦИИ И.В. Гайдай, Д.Г. Ходус, А.В. Дворянчиков, С.Г. Пименов, А.А. Томаш, Д.Е. Егорова, М.И. Шачнева	89
ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ШХ15 В.В. Гапонова, А.К. Кутуков, И.С. Макогон, Р.В. Смирнов.....	91
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОКСИПРОПИЛМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ Г.Д. Герасимович	92
ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ ДЛЯ ДВУХ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС В РАМКАХ ПРОЕКТА АЭС-2006 Е.О. Золотухина	94
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СОРБЦИИ ИОНОВ Sr(II) ЧАСТИЦАМИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ВЕРМИКУЛИТА А.В. Ильясова, Р.Р. Ильясова, И.А. Массалимов, А.Г. Мустафин.....	95
ПРОИЗВОДСТВО Li-Na СЛИТКОВ В.А. Казанцова, Л.В. Кустов, С.А. Журавлев	97

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНОВЫХ КЛАСТЕРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ К.Е. Кафидов, М.В. Суясова, А.А. Сжогина	98
СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ БЕЗВОДНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ СПЕЦОДЕЖДЫ Е.И. Корочкин, А.Ю. Николаев, А.А. Мурзин	99
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АППАРАТОВ С РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКОЙ И УСТАНОВОК РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННОГО ТИПА А.С. Круглова, П.К. Бобин.....	100
ДОЗИРОВАНИЕ ВОДОРОДА В ПЕРВЫЙ КОНТУР АЭС «АККУЮ», ТУРЦИЯ Д.В. Грунин, Б. Куртулуш Озтурк	102
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ЛАНТАНОИДОВ В КАТИОНИТЕ BIO-RAD AG® 50W-X8 200-400 MESH В.В. Лобаненко, Г.В. Гончарова, К.В. Ротманов.....	104
РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМИ ПОВЫШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРСИОННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА С.Ю. Логашов, П.А. Козлов, В.Н. Скоробогатых, А.С. Орлов, Т.А. Логашова.....	105
ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КОМПЛЕКСОВ БОРНОЙ КИСЛОТЫ С ПОЛИОЛАМИ Т.В. Мальцева, И.В. Смирнов	106
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ИОНООБМЕННЫХ ВОЛОКОН В ПЕРЕРАБОТКЕ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ СРЕД Е.С. Нагорнова, В.А. Винницкий, Р.Е. Зайкин, А.С. Чугунов.....	108
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ А.В. Находнова, В.М. Самойлов	109
ИСПЫТАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ ТОКЕМ-281 ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ОТ КАЛЬЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА ЛИТИЯ Д.М. Нелюбова.....	111
РАСЧЕТ PH В ВОДНОЙ СРЕДЕ КОНТЕЙНМЕНТА ПРИ АВАРИИ LOCA НА АЭС С ВВЭР Д.Р. Нигматуллин, Н.С. Никифоров, А.В. Гаврилов, Н.А. Прохоров, В.Г. Крицкий.....	113
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В.О. Николаев, А.А. Акатов, Е.И. Ильина	114
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ВО ВТОРОМ КОНТУРЕ АЭС С ВВЭР И.В. Омельчук, Д.Р. Нигматуллин, А.В. Гаврилов, В.Г. Крицкий	116
КРИТЕРИИ ВЫБОРА И КОНТРОЛЯ СПОСОБА ДЕЗАКТИВАЦИИ АСММ С.Н. Орлов	117
РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ, КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОПЫТНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ УГЛЕКИСЛОТНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ К.Е. Осипова, С.Ю. Логашов, П.А. Козлов, В.Н. Скоробогатых.....	119
ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ С.В. Пазюк, И.О. Вторушин, А.А. Басиев, А.А. Якушкин	121

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ, СОЗДАВАЕМОЙ МОЩНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ Е.А. Пеганов, И.С. Макогон, В.А. Островский, А.К. Кутуков, Р.В. Смирнов.....	122
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРКИ ДУПЛЕКСНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АЭУ Е.А. Писарев	123
РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРИДА ГАФНИЯ К.К. Полунин, Б.Н. Беспечалов, С.В. Гусейнов, Д.А. Зайцев, Д.С. Киселев, Г.Н. Мельников, К.В. Стойков.....	124
ВХР ПЕРВОГО КОНТУРА НА АЭС, ПРОЕКТИРУЕМЫХ МОСКОВСКИМ ПРОЕКТНЫМ ИНСТИТУТОМ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» А.В. Юрманова, А.В. Прокофьев	126
ОСВОЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ МАРКИ ЭП302-Ш А.Р. Салахудинова, А.А. Чернова, Н.С. Ершов	128
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГИДРИДА ПЕНТАКАРБОНИЛА ТЕХНЕЦИЯ-99 А.П. Сахоненкова, А.Е. Мирославов, М.Ю. Тюпина, А.Р. Хохлова, И.В. Баланцев	129
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ХЛОРА В ХЛОРИДЕ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗОВ НА ОСНОВЕ РТУТИ З.С. Сидорова, М.И. Смоленская, А.И. Камелин.....	130
ВЛИЯНИЕ КАТИОННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ПОЛНОТУ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ ГАДОЛИНИЯ ИЗ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОЛИТА М.Н. Смирнов, В.Е. Шаландин, Д.А. Перепелкин, К.В. Ротманов, Р.Г. Абдуллов.....	132
ВНЕДРЕНИЕ ВОДОРОДНО-КАЛИЕВОГО ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В РАМКАХ ПРОЕКТА АЭС-2006 А.С. Соколова	133
ОБРАЩЕНИЕ С ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ЖИДКИМИ СРЕДАМИ АЭС «ЭЛЬ-ДАБАА» К.В. Степанюк, Я.В. Решетникова	134
АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОНУКЛИДОВ М.В. Стешина, Н.В. Сотник, М.А. Бирюкова, С.В. Леденева, Е.А. Демченко	135
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПА ПЛУТОНИЯ-241 В МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ А.А. Сычева.....	137
ВЛИЯНИЕ ХЛОРИД-ИОНА НА ОБРАЗОВАНИЕ «2+1» ТРИКАРБОНИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНЕЦИЯ-99,99m М.Ю. Тюпина, А.Е. Мирославов, Г.В. Сидоренко, А.П. Сахоненкова	138
ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СУПЕРДУПЛЕКСНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ К.Н. Уткина	140
КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ КАРБОНИЛДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНЕЦИЯ (I) С ТРИФЕНИЛФОСФИНОМ А.Р. Хохлова, А.Е. Мирославов, В.В. Гуржий, Г.В. Сидоренко, А.П. Сахоненкова, М.Ю. Тюпина	141
ВЛИЯНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ НАПЛАВКИ НА ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ПОСТАВЛЯЕМОГО ПО ЭКСПОРТНЫМ КОНТРАКТАМ М.В. Цуканов, И.В. Михайлов, А.Н. Разыграев, Н.П. Разыграев	143

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ МОЛИБДЕНА ДЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА РФП «НАТРИЯ ПЕРТЕХНЕТАТ 99М-ТС» О.С. Шемчук.....	144
ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫЕ МАГНИТЫ (Nd,Pr)-(Fe,Co,Cu,Ga)-В БЕЗ ТЯЖЕЛЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ ВЭУ А.В. Шитов, Д.Ю. Братушев, Д.Ю. Василенко, А.Г. Попов, О.А. Головня, Д.А. Колодкин, А.В. Протасов.....	145
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ	
ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ МОЩНОСТИ И КПД ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ТЕЕДА М. Басати Панах, В.А. Рассохин, В.В. Барсков, М.А. Лаптев, А.С. Романов	147
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДА ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗА Джюнейт Акын	148
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ А.Ф. Байназоглу	150
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО НАПЛАВОЧНОГО МАТЕРИАЛА ТИПА 09ХЗ 1Н8АМ2, ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭУ И.С. Григорьев, С.Н. Галяткин	152
ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ РОССИЙСКИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ Б.С. Доржиева, В.Н. Железняк.....	154
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВВ-1200-4 В СРАВНЕНИИ С ТВВ-1000-4 П.И. Ключико	156
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПРИВОДАХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС Д.А. Кудряшов, А.Ю. Смирнов	157
РЕКОМБИНАТОР ВОДОРОДА КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И.А. Рышкевич, А.А. Фиськов	159
ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В.А. Гурашвили, И.В. Кочетов, А.К. Курносков, О.А. Ситько, А.С. Пронина, А.Д. Михайлов, В.А. Мищенко	160
ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ Е.Ю. Терехов, В.В. Елистратов	162
ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ АРГОНОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ОБОРУДОВАНИЯ АЭУ Г.Б. Фомин, И.А. Морозовская	164
ПОДХОД И ОПЫТ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И АТОМНЫХ УСТАНОВОК Д.А. Шурыгин, Л.Я. Левков, В.С. Дуб, А.Н. Мальгинов, А.Г. Баликоев, А.В. Лобов, А.Н. Тохтамышев, И.А. Щепкин, М.С. Соловьева, Е.В. Якушев.....	166

МОЛОДЕЖНАЯ ПОЛИТИКА

РОЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ТУРИЗМА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНЦЕРНА «РОСЭНЕРГОАТОМ» Е.А. Бастина.....	168
НАСТАВНИЧЕСТВО ДЛЯ ДЕТЕЙ-СИРОТ: УНИКАЛЬНОЕ ВОЛОНТЕРСКОЕ СООБЩЕСТВО НА БЕЛОЯРСКОЙ АЭС А.С. Галимова	169
МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПРОЕКТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ АО «НИФХИ ИМ. Л.Я. КАРПОВА») О.И. Галисенкова, Е.О. Орлова, И.Г. Солонко, Д.С. Зайцев, Д.А. Пахолик, В.И. Степанов.....	170
HR-ПРАКТИКА: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ ПОТЕНЦИАЛА МОЛОДЕЖИ АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ» В РАМКАХ ДОСТИЖЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ «РОСАТОМ – ЛУЧШИЙ В РАСКРЫТИИ ПОТЕНЦИАЛА» А.И. Горлова, М.Г. Спиридонова	172
«БЕЗУГЛЕРОДНОЕ БУДУЩЕЕ» – УРОКИ В ШКОЛЕ М.В. Емельянцева, А.С. Ковалев.....	173
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ФГУП «ВНИИА» В.Д. Кайдарова, М.А. Зотов.....	175
МОЛОДОЕ ПОКОЛЕНИЕ НАУКИ АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» А.А. Карташева, Н.С. Климов, М.В. Ежова, И.М. Позняк	176
НАСТАВНИЧЕСТВО И ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ В МО АТОМНОЙ ОТРАСЛИ А.А. Маркина, А.В. Клепцова	177
ТВОРЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ТРУДЯЩИХСЯ «ЗАВОДСКИЕ СОЛОВУШКИ» А.С. Косованова	179
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОЛОДЕЖНОГО СОВЕТА В РАЗВИТИИ «НОВОВОРОНЕЖАТОМЭНЕРГОРЕМОНТ» – ФИЛИАЛА АО «АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ» В.А. Кубышкина.....	180
ИННОВАЦИОННАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ПОЛИТИКА АО «ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ» Н.Е. Лапшакова	181
МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ФГУП «АТОМФЛОТ» К.А. Матвишина	183
ФАКТОРЫ ГОТОВНОСТИ К НАПИСАНИЮ И ЗАЩИТЕ ДИССЕРТАЦИОННЫХ РАБОТ А.А. Суворова, Т.В. Зайцева.....	185
ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЛИТИКИ МОЛОДЕЖНОГО ОБЩЕСТВА АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» В ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ А.Н.Сулдына.....	186
ШКОЛА КОРПОРАТИВНОГО РАЗВИТИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ АДАПТАЦИИ МОЛОДЫХ СОТРУДНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ А.А. Сычева.....	188
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА МОЛОДЕЖИ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» И АО АСЭ В Г. НИЖНИЙ НОВГОРОД М.С. Турыгина.....	190

УПРАВЛЕНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТЬЮ

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ТЕМАТИЧЕСКОГО НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ МОЛОДЕЖИ В СФЕРУ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ М.Г. Афанасьева, С.С. Целищева, О.А. Терехина, И.В. Шмелев	191
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ОЦЕНКЕ И РАЗВИТИЮ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ФБУ «НТЦ ЯРБ» А.А. Вон.....	192
ВОВЛЕЧЕНИЕ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ АО «ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ» В ПРОЦЕСС НЕПРЕРЫВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И.А. Захарова	194
ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» А.С. Карасева.....	195
УПРАВЛЕНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТЬЮ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ LEAN SMART ПРОЕКТА Е.В. Кузьмина	197
МОТИВАЦИЯ ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ НИОКР, СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛУЖЕБНЫХ РИД В АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» Е.В. Тутунина, А.А. Левин	200
РАБОТА С ВЫСОКОЙ ВОВЛЕЧЕННОСТЬЮ. ЭФФЕКТИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ О.М. Набатчикова	202
МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА «НОВОВОРОНЕЖАТОМЭНЕРГОРЕМОЕНТ», ФИЛИАЛА АО «АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ» О.С. Нестеренко.....	203
ОПЫТ УСПЕШНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ МОЛОДЫХ СОТРУДНИКОВ НА ПРИМЕРЕ НИЖЕГОРОДСКОГО ПРОЕКТНОГО ИНСТИТУТА – ФИЛИАЛА АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» Е.М. Ратц, К.Б. Фокин.....	204
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ КАК ГАРАНТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС НА ОСНОВЕ ОЦЕНОЧНОГО ПОРТФОЛИО ВЫПУСКНИКА ЯДЕРНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ К. А. Хужажинова, В. В. Верхотурова.....	206
ВЛИЯНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ЛИНЕЙНЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ НА ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОВЛЕЧЕННОСТИ Е.В. Яговдик.....	208

ДИАГНОСТИКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТЕКТОРОВ ПРЯМОЙ ЗАРЯДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МЕТОДА ИСКЛЮЧЕННОГО ДПЗ

Н.О. Блохин¹, Д.Н. Скороходов¹

¹ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва
e-mail: Blokhin_NO@nrcki.ru

Исследованы результаты работы метода исключенного датчика прямого заряда (ДПЗ), применяемого в настоящее время в системе внутриреакторного контроля, на основе данных эксплуатации АЭС. Разработана методика непрерывного контроля достоверности показаний ДПЗ в активной зоне реакторов типа ВВЭР методом исключенного ДПЗ. Выделены основные преимущества усовершенствованного метода. Разработанный модуль установлен в опытную эксплуатацию на АЭС.

We considered the operation of the exclude SPND method, used in monitoring, control and diagnosis system currently, based on NPP operation data. The technique for continuous monitoring reliability of SPND in the reactor core of VVER-type reactors using excluded SPND method has been developed. The main advantages of the improved technique are indicated. The developed method was put into trial operation at NPP.*

ВВЕДЕНИЕ

Для безопасной и эффективной эксплуатации АЭС, согласно требованиям МАГАТЭ, следует контролировать такие параметры активной зоны, как ее мощность (энерговыведение) и физические свойства теплоносителя (расход, температура).

Необходимость контроля данных параметров возрастает при переводе реакторной установки на эксплуатацию в маневренных режимах и увеличении энергонапряженности активной зоны.

В реакторах типа ВВЭР данная задача решается в системе внутриреакторного контроля (СВРК) [1], в состав которой входят датчики нейтронно-физических и теплогидравлических параметров: датчики нейтронного потока типа ДПЗ, термопары, термометры сопротивления, датчики давления и др.

Однако для корректного контроля вышеупомянутых параметров необходимо быть уверенным в достоверности показаний детекторов, входящих в состав СВРК [2]. Одним из методов, реализованных в СВРК, позволяющим диагностировать работоспособность датчиков прямой зарядки, является метод исключенного ДПЗ (МИД).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В работе проведено исследование МИД, реализованного в СВРК, с использованием данных эксплуатации АЭС.

На основании исследования были выделены главные недостатки метода: наличие корреляции между относительными отклонениями, получаемыми в результате работы программы, и расположением ДПЗ в активной зоне, что приводит к избыточной чувствительности метода и ложным рекомендациям на отбраковку; границы допустимых отклонений различны для каждого энергоблока, из-за чего необходимо настраивать существующий критерий отбраковки индивидуально, исходя из опыта эксплуатации.

Также выделены недостатки текущей реализации, связанные с отсутствием интерпретации результатов

работы программы и необходимостью запуска в ручном режиме.

Для уменьшения числа ложных рекомендаций к отбраковке, связанных с отсутствием информации о геометрических особенностях, было принято решение разделить все ДПЗ в активной зоне на 4 группы. Разбивка ДПЗ на группы представлена на рисунке 1.

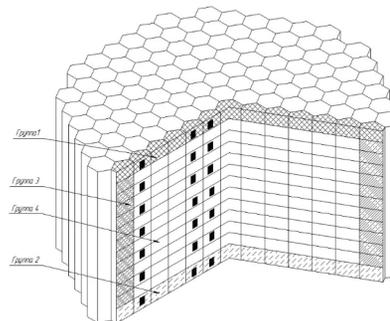


Рис. 1. Сечение активной зоны реактора с разбиением на группы

Было также предложено изменить существующий критерий отбраковки на итерационный критерий по группам, изменяющийся автоматически во время эксплуатации РУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе предложенной методики был разработан усовершенствованный МИД с целью исправления недостатков предыдущей реализации.

Разработанный модуль работает непрерывно, учитывает особенности расположения ДПЗ в активной зоне. По результатам работы программы формируется протокол с основными рекомендациями к отбраковке ДПЗ.

Использование нового метода на архивных данных позволило эффективнее диагностировать неисправные ДПЗ.

Модуль, реализующий усовершенствованный МИД, установлен на одном энергоблоке. По результатам

* Здесь и далее аннотации на английском языке приводятся в редакции авторов

эксплуатации будет принято решение о дальнейшем внедрении метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинушкин А.Е., Митин В.И., Семченков Ю.М., Мильто Н.В., Мильто В.А., Ковель А.И. Современная система контроля эксплуатации ядерного топлива на

реакторах типа ВВЭР, ее верификация и валидация на Калининской АЭС – ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов. – 2009. – №3 – С. 3–15.

2. Курченков А.Ю., Ковель А.И., Мильто В.А., Мильто Н.В., Скороходов Д.Н., Липин Н.В., Воробьева Д.В. Тепловая мощность ВВЭР, измеренная по показаниям ДПЗ – ВАНТ. Сер. Физика ядерных реакторов, 2018, в.5.

ИСПЫТАНИЯ ПО ПРОВЕРКЕ РЕЖИМА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ НА ЭНЕРГБЛОКАХ С ВВЭР-1200

С.А. Буцилин¹, А.В. Гончаров¹, Ю.В. Саунин¹, А.Ю. Саунина²

¹Нововоронежский филиал «Нововоронежатомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго», г. Нововоронеж

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

e-mail: ASButsylin@nvate.ru, avgoncharov@nvate.ru, yuvsaunin@nvate.ru

Естественная циркуляция теплоносителя является важной составляющей обеспечения безопасности и охлаждения активной зоны в условиях потери принудительного расхода. Поэтому расчетным и экспериментальным исследованиям этого режима для разных проектов энергоблоков АЭС с водо-водяными реакторами под давлением уделяется существенное внимание.

В работе представлен анализ результатов испытаний по проверке режима естественной циркуляции теплоносителя в первом контуре при вводе в эксплуатацию четырех энергоблоков нового проекта АЭС-2006 с реактором ВВЭР-1200. Для энергоблока №1 Нововоронежской АЭС-2 представлены также результаты расчетного моделирования выполненного испытания.

Natural circulation of the coolant is an important component contributing to safety and the core cooling down under conditions of loss of the forced flowrate. Therefore, significant attention is paid to computational and experimental studies of this regime for different NPP designs with water-water pressurized reactors

This presentation gives the results of the testing the natural circulation regime in the primary circuit during commissioning of four power units of the new NPP-2006 design with VVER-1200. Results of the computational modelling are also presented for the performed testing at the unit No.1 of Novovoronezh NPP-2.

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью испытаний является подтверждение развития режима естественной циркуляции (ЕЦ) в первом контуре при прекращении принудительной. ЕЦ обеспечивает охлаждение активной зоны в условиях потери принудительного расхода и является важной составляющей обоснования безопасности.

Испытания по проверке режима ЕЦ, как правило, проводят на первых энергоблоках одного проекта на площадке АЭС ввиду их технологической сложности. С учетом сложности работ важную роль занимают ранее приобретенный опыт и компьютерное моделирование для прогнозирования результатов. Данный подход позволяет более детально исследовать и экспериментально подтвердить проектные характеристики.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходным состоянием для начала испытаний по проверке режима ЕЦ на всех объектах являлось стабилизированное состояние РУ с четырьмя работающими ГЦНА на уровне мощности 5% от номинальной ($N_{ном}$) по показаниям аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП). Испытания проходили последовательно три стадии:

I – снижение принудительной циркуляции теплоносителя 1-го контура;

II – переход от принудительной циркуляции теплоносителя 1-го контура на ЕЦ;

III – подъем мощности РУ в режиме ЕЦ.

Главным энергоблоком для нового проекта АЭС-2006 с ВВЭР-1200 (проект РУ В-392М) стал энергоблок №1 Нововоронежской АЭС-2 (НВ АЭС-2). На нем впервые было выполнено исследование ЕЦ не только с подтверждением перехода на этот режим при одновременном отключении всех ГЦНА, но и с подтверждением проектного значения максимально допустимого уровня мощности реактора в этом режиме [1]. Новым подходом при исследовании режима ЕЦ на этом энергоблоке стало также применение расчетного моделирования испытания согласно имевшимся положительным практикам такого подхода для анализа данных физических и динамических испытаний при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС с ВВЭР [2]. Моделирование было выполнено совместно со специалистами НИЦ «Курчатовский институт» с помощью программного комплекса ATHLET/BIPR-VVER [3]. А также был осуществлен расширенный анализ испытаний. В него вошли модельные расчеты и дополнительные оценки мощности реактора по показаниям датчиков прямой зарядки (ДПЗ), а также по параметрам 2-го контура.

По результатам расширенного анализа на головном блоке были проделаны корректировки заверше-

ния третьей стадии испытания для успешности достижения целей испытания. На основании этих выводов значение максимальной допустимой температуры на выходе из ТВС было увеличено до 340 °С вместо 333,9 °С, а погрешность определения мощности реактора по показаниям АКНП при испытании режима ЕЦ стала оцениваться в 2 % $N_{ном}$ вместо 1 % $N_{ном}$.

Ввиду особенностей режима ЕЦ и алгоритмов функционирования системы внутриреакторного контроля (СВРК) оперативную оценку мощности реактора в этом режиме давали только показания аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП). Было отмечено занижение этих показаний из-за изменений температур в холодных нитках и положения регулирующих групп системы управления и защиты, что оказывает влияние на своевременность завершения третьей стадии и на выполнение критериев успешности испытания.

С учетом полученного опыта на головном блоке были выполнены испытания при вводе в эксплуатацию энергоблоков №2 НВ АЭС-2, №1 Белорусской АЭС и №1 Ленинградской АЭС-2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При испытаниях на четырех энергоблоках с ВВЭР-1200 проекта АЭС-2006 подтвержден переход на режим ЕЦ при одновременном отключении всех ГЦНА, устойчивое развитие режима ЕЦ и возможность достижения проектного значения максимально допустимого уровня мощности реактора в этом режиме 10% $N_{ном}$.

2. Подтверждена необходимость внедрения методологии моделирования в практику подготовки и проведения физических и динамических испытаний при вводе энергоблоков АЭС с ВВЭР в эксплуатацию. Такая методология позволяет оптимизировать физические и динамические испытания вместе с повышением их эффективности и качества.

3. Полученные результаты позволяют рассмотреть расширение функциональных возможностей СВРК за счет внедрения алгоритмов, обеспечивающих контроль мощности реактора в режимах на малых уровнях мощности и в режиме ЕЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu.V. Saunin, D.V. Markin, A.N. Dobrotvorski et al. Numerical and experimental studies of the natural circulation mode during commissioning of Unit-1 Novovoronezh NPP-2 // Kerntechnik 85(2020) 4, p.257-264, DOI 10.3139/124.200019.

2. Саунин Ю.В. Перспективы использования методологии математического моделирования при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС с ВВЭР на примере физических и динамических испытаний. // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – 2018 – №3 (13), НИТИ им. А.П. Александрова, г. Сосновый Бор, с.73-80.

3. Программный комплекс ATHLET/BIPR-VVER (версия 1.0). Аттестационный паспорт программного средства. Регистрационный номер паспорта аттестации № 455 от 24.10.2018.

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ И ПРОВЕДЕНИЯ ПАИ ПТС СВРК

Д.В. Воробьева¹, А.С. Сорокин¹, А.М. Иванов¹, Т.С. Сахарова¹, Д.Н. Скороходов¹, И.А. Никитенко¹, Н.В. Мильто¹
¹НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва
 e-mail: Vorobeva_DV@nrcki.ru, Sorokin_AS@nrcki.ru, Ivanov_AMi@nrcki.ru, Sakharova_TS@nrcki.ru, Skorohodov_DN@nrcki.ru, Nikitenko_IA@nrcki.ru, Milto_NV@nrcki.ru

В докладе представлен опыт подготовки и проведения предварительных автономных испытаний (ПАИ) программно-технических средств системы внутриреакторного контроля (ПТС СВРК), разрабатываемых и поставляемых НИЦ «Курчатовский институт» для АЭС с реакторами типа ВВЭР большой мощности.

The report presents the experience of preparing and conducting preliminary autonomous tests of the computerized automation system of the in-core instrumentation system (CAS ICIS) developed and supplied by the NRC «Kurchatov Institute» for VVER-reactor NPPs of high power.

ВВЕДЕНИЕ

Система внутриреакторного контроля (СВРК) для реакторов ВВЭР большой мощности, разрабатываемая НИЦ «Курчатовский институт» [1], введена в эксплуатацию более чем на 20 энергоблоках и поставляется на новые энергоблоки в России и за ее пределами. Система, в соответствии с развитием вычислительной техники и требованиями заказчиков, постоянно совершенствуется в программной и аппаратной частях.

СВРК является сложной многокомпонентной системой, в состав которой входят измерительные каналы, аппаратура приема и обработки сигналов, вы-

числительные комплексы, рабочие места операторов, охватывающие всю цепочку прохождения сигнала от точки измерения до блочного щита управления энергоблоком. Сложность СВРК также обуславливается алгоритмами и методиками, реализованными в прикладном программном обеспечении (ППО) верхнего уровня (ВУ) и программе функционирования (ПФ) нижнего уровня (НУ) для выполнения функций защиты по локальным параметрам и восстановления поля энерговыделения в активной зоне по показаниям внутриреакторных датчиков прямого заряда (ДПЗ). С целью валидации разработанного функционала ПТС

СВРК и подтверждения соответствия требованиям технического задания (ТЗ) на СВРК проводятся предварительные автономные испытания (ПАИ) поставочных комплектов оборудования на площадке завод-изготовителей до поставки СВРК на АЭС.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ПАИ в контексте жизненного цикла безопасности всей системы контроля и управления (СКУ)

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61513-2020 [2] этап «Общая интеграция СКУ и ввод в эксплуатацию систем» является одним из этапов типового общего жизненного цикла безопасности СКУ. Одной из целей данного этапа является верификация и валидация всех функций, важных для безопасности, до введения их в эксплуатацию. В документе МАГАТЭ [3] приводится V-образная модель (рис. 1), дающая представление о примере жизненного цикла разработки СКУ. На схеме (рис. 1) отображена взаимосвязь между спецификацией требований, проектированием, процессами интеграции и валидации системы и показано, как работы по верификации и валидации связаны с деятельностью по разработке. На основании этой схемы можно отнести ПАИ к пункту «Валидация системы» в ее жизненном цикле разработки.



Рис. 1. Типичные взаимосвязи между процессами жизненного цикла разработки СКУ и мерами по верификации и валидации

При сдаче ПТС СВРК в эксплуатацию осуществляется несколько этапов испытаний: от ПАИ на заводе-изготовителе (FAT) (1-й этап валидации системы) до приемочных испытаний в составе АСУ ТП в ходе гарантийных испытаний энергоблока АЭС – окончательная валидация системы.

Подготовка к ПАИ

В процессе разработки проекта ПТС СВРК проводятся непрерывное тестирование и отладка ППО ВУ СВРК и программы функционирования НУ СВРК. В состав ВУ СВРК входит более 12 настраиваемых ЭВМ. Количество компонент ППО на каждой машине различно, но, как правило, не превышает 10.

В течение всего времени разработки в проект могут вноситься изменения, обусловленные различными причинами. На рисунке 2 приведена гистограмма, отображающая изменения в репозитории проекта ППО ВУ СВРК для одного из энергоблоков.

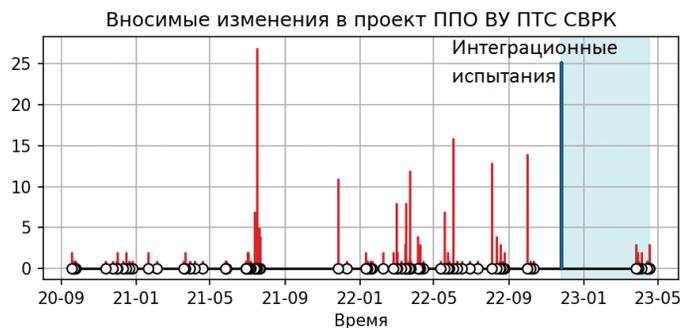


Рис. 2. Изменения в репозитории проекта ППО ВУ и СКА ПТС СВРК

Регулярно после внесения правок в ППО проводится его тестирование в целом с привлечением средств виртуализации, позволяющих полностью имитировать как вычислительные средства, так и сети передачи данных, автоматически разворачиваемых с помощью вспомогательного ПО, разработанного в НИЦ «Курчатовский институт», во внутренней инфраструктуре. В качестве имитатора входных данных используется эмулятор НУ СВРК. Инфраструктура была разработана с учетом опыта предыдущих ПАИ и регулярно пополняется новыми функциями.

Перед проведением ПАИ на заводе-изготовителе выполняется процедура интеграционного тестирования ППО ВУ СВРК в НИЦ «Курчатовский институт» с оформлением отчета о результатах тестирования.

Проведение ПАИ

Необходимым условием проведения ПАИ является прохождение ПТС СВРК этапа приемочных испытаний (ПСИ) на заводе-изготовителе.

После ПСИ выполняется монтаж и подключение в единую сеть всех стоек ПТС СВРК для проведения испытаний. Дополнительно может быть организованы тестирование и проверка связи ПТС СВРК со смежными системами.

Испытания проводятся по программе и методике, разрабатываемых в соответствии с ГОСТ Р 59792-2021 [4] и с учетом технического задания (ТЗ) на разработку/модернизацию ПТС СВРК.

По каждому пункту проведенных испытаний составляется протокол с фиксацией результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПАИ необходимы для проверки соответствия функционала разработанных и изготовленных ПТС СВРК требованиям технического задания и способствуют дальнейшему совершенствованию СВРК в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинушкин А.Е., Семченков Ю.М. Современная система контроля, управления и диагностики реакторов ВВЭР большой мощности. // Доклады БГУИР. 2015. <https://doklady.bsuir.by/jour/article/view/430/430> (дата обращения: 11.05.2023).
2. ГОСТ Р МЭК 61513-2020. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования.

3. Нормы безопасности МАГАТЭ № SSG 39. Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций. Специальное руководство по безопасности.

4. ГОСТ Р 59792-2021. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды испытаний автоматизированных систем.

АСУ ТП В ПРОЕКТАХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ. СТРАТЕГИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ АЭС ПО НАПРАВЛЕНИЮ ТОиР

В.В. Гавриленко¹, В.Д. Гуринович¹, Д.Ю. Дроздов¹

¹АО «ВНИИАЭС», г. Москва.

e-mail: VVGavrilenko@vniiaes.ru, VDGurinovich@vniiaes.ru, DYDrozдов@vniiaes.ru

Департаментом НТП ТОиР АО «ВНИИАЭС», с целью определения дальнейшего развития информационных систем АЭС по направлению ТОиР на длительную перспективу, концептуально проработана стратегия повышения эффективности обслуживания АЭС с постепенным переходом к цифровой модели с технологиями «Умный ремонт» и системой «Интеллектуальный документ», включающей цифрового помощника. Это предполагает также формирование системы электронных технических руководств (ИЭТР) и управление процессами обслуживания с использованием цифровой платформы и инструментов аналитики. Концепция опирается на модель «Трех горизонтов роста» и рассматривает внедрение в процессы ТОиР технологий на основе искусственного интеллекта (ИИ) с переходом на роботизированное обслуживание, а также разработку и применение методов, основанных на использовании дополненной реальности (AR), виртуальной реальности (VR) и ИИ.

In order to determine the further development of NPP information systems in the direction of MRO for the long term, the Department of STP MRO of JSC «VNIIAES» has conceptually worked out a strategy to improve the efficiency of NPP maintenance with a gradual transition to a digital model with Smart Repair technologies and the Intelligent Document system, including a digital assistant. It also involves the formation of a system of electronic technical manuals (IETR) and the management of service processes using a digital platform and analytics tools. The concept is based on the «Three Growth Horizons» model and considers the introduction of technologies into MRO processes: based on artificial intelligence (AI) with the transition to robotic service, as well as the development and application of methods based on the use of augmented reality (AR), virtual reality (VR) and AI.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия повышения эффективности ТОиР АЭС в перспективе предстоящих 10 лет подготовлена с использованием международных практик и отображает три основных горизонта в области развития информационной поддержки бизнес-процессов обслуживания при использовании всех доступных ресурсов. В основе лежит идея о том, что необходимо улучшать имеющиеся процессы, одновременно создавая возможности для развития перспективных направлений, создания новых продуктов и инновационных программ. Особое значение придается разработке и применению технологий «Умный ремонт» и системы «Интеллектуальный документ».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим подробнее составляющие модели «Трех горизонтов роста» [1].

Горизонт 1. Цифровизация процессов с переходом от бумажной к электронной форме хранения документации с возможностью сопровождения и внесения изменений. Еще одним направлением является формирование цифровой модели управления ТОиР с расширением области применения прогнозной аналитики, созданием информационной базы и базы знаний для применения обслуживания АЭС, ориентированного на надежность (RCM).

Горизонт 2. Создание новых направлений развития ТОиР – Разработка концепции «Умный ремонт» – «Цифровой помощник» – «Интеллектуальный документ» (рис. 1).



Рис. 1. Пошаговый переход к системе «Интеллектуальный документ»

1. На этапе создания цифровой базы данных формируется информационный массив, упрощающий поиск необходимой документации, а также обеспечивающий приведение к одному виду ТД всех АЭС.

2. Используя данный массив, с учетом всех правил и нормативных требований, в том числе к оформлению отчетных документов, а также условий по ка-

ждому конкретному оборудованию, формируются интерактивные технические руководства (ИЭТР) по ТО и ремонту. Глобализация процесса позволит автоматически осуществлять внесение изменений в руководящие документы, в документацию по ТОиР применимо ко всему процессу, исключая вероятность выполнения операций, не соответствующих актуальным требованиям. Минимизация документации на рабочем месте уменьшит потерю времени на поиск требуемой информации. Перевод отчетной документации в электронную форму обеспечит упрощенное ведение архива ТД, тем самым облегчив поиск истории ремонтных операций.

3. Третьим шагом в создании инновационного продукта станет разработка голографических руководств и интеллектуальных документов, использующих цифрового помощника. Данный инструмент позволит исключить ошибки за счет выстраивания взаимосвязей между нормативной, ремонтной и технической документацией, а также предложит перечень оптимальных действий и «подсказок» при выполнении ремонтных работ.

Переход к реализации концепции ТОиР – «Умный ремонт», модели, определяющей последовательность и вид требуемого воздействия, ресурсы и т. д., обеспечит сформированная база данных RCM.

Горизонт 3. Создание инновационных решений, таких как:

- внедрение технологий ИИ в процесс выполнения ТОиР с переходом на роботизированное обслуживание;
- разработка и применение методов ТОиР, основанных на AR, VR и ИИ.

Любая работа по ТОиР должна быть выполнена с предварительной подготовкой соответствующей ТД. В последние годы все большее распространение получают ИЭТР. Этапы трансформации ТД [2] предполагают постепенный переход от документооборота,

основанного на бумажных носителях, который используется даже сегодня (первое поколение ТД, Горизонт 1), до «Интеллектуального документа» (Горизонт 3). Они включают пять стадий развития до инструкции по выполнению процедур ТОиР на основе AR и удаленной связи с помощью камеры, установленной на шлеме (четвертое поколение ТД) с дополнением обучения с применением ИИ и интернета вещей (IoT) на основе получаемых данных. Благодаря чему представится возможность выдавать предупреждения, распознавая окружающую среду на месте выполнения работ (пятое поколение ТД).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные положения открывают на длительный период перспективу дальнейшего повышения эффективности управления активами АЭС с постепенным освоением современных и перспективных информационных технологий и созданием на их основе новой системы электронного документооборота в составе цифрового двойника АЭС, что существенно повышает их конкурентоспособность на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриленко В.В., Гуринович В.Д., Зайцев О.Г., Савельев В.А. Основные положения стратегии перспективного развития технического обслуживания и ремонта атомных станций России. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 72. Надежность систем энергетики в условиях их цифровой трансформации. Книга 1. Отв. ред. Н.И. Воропай. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2021, С. 260-269.

2. Industrial Application of Augmented Reality URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Industrial-Application-of-Augmented-Reality-Ishii/758040b24c02b8ee415a2b05246881ec79d7faf8> (дата обращения 23.04.2023).

ЭКОСИСТЕМА ПТО

В.А. Дуров¹

¹«Волгодонскатомэнергоремонт» – филиал АО «Атомэнергоремонт», г. Волгодонск
e-mail: VADurov@rosatom.ru

Технологическая документация является важным фактором безопасной эксплуатации атомных электрических станций (АЭС). Основной задачей данной работы является создание комплекса программного обеспечения для разработки технологической документации по техническому обслуживанию и ремонту оборудования. Экосистема производственно-технического отдела (ПТО) направлена на повышение экономических показателей и снижение влияния человеческого фактора. По итогам реализации Экосистемы ПТО повысится эффективность работников и безопасность при выполнении работ. В докладе рассмотрены основные проблемы, связанные с разработкой технологической документации, а также пути их решения.

Technological documentation is an important factor in the safe operation of nuclear power plants (NPP). The main objective of this work is to create a software package for the development of technological documentation for the maintenance and repair of equipment. The ecosystem of the Production and Technical Department (PTO) is aimed at improving economic indicators and reducing the influence of the human factor. As a result of the implementation of

the VET Ecosystem, the efficiency of employees will increase, safety during work will increase. The report discusses the main problems associated with the development of technological documentation, as well as solutions.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из принципиально важных факторов эксплуатации АЭС в современном мире является ее безопасность. Качественное выполнение работ во время межремонтного периода и планово-предупредительного ремонта является основой безопасной работы АЭС, а также других предприятий ГК «Росатом».

Помимо безопасности, немаловажным является и экономическая эффективность предприятий, которая складывается из множества факторов, одним из которых – разработка технологической документации.

В докладе мы разберем некоторые виды технологической документации, область их применения и их значимость.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В современном мире каждому предприятию необходимо быть конкурентоспособным, для этого нужно усовершенствовать процессы, внедрять новые технологии, повышать качество.

Предприятия при разработке технологической документации сталкиваются с высокими трудозатратами из-за отсутствия автоматизации и использования устаревших производственных процессов. Также немаловажным фактором при разработке является исключение человеческого фактора.

Как оказалось, с этой проблемой сталкивается огромное количество предприятий, а решений по улучшению процессов нет на рынке, либо есть уни-

версальные, которые в свою очередь не способны выполнять задачи в полной мере. Моей задачей стало разработать комплекс программного обеспечения для разработки и последующего использования технологической документации. В таблице 1 представлены аналоги и их особенности.

С помощью комплекса появится возможность сократить время разработки документации, что в свою очередь приведет к уменьшению задержек цехов и участков, которые не могут приступить к выполнению сложных и опасных работ без требуемой документации.

Также повысится экономическая эффективность каждого работника на 35-65% в зависимости от разрабатываемой документации. В таблице 2 представлен экономический эффект в процентах и в денежном эквиваленте (данные рассчитаны для «Волгодонскатомэнергоремонта»).

Комплекс состоит из трех программ, каждая из которых выполняет свою конкретную задачу.

Программное обеспечение для разработки комплекта технологической документации находится на стадии внедрения и выполняет следующие задачи: помощь ввода данных и текста; формирование документа; автоматическое составление ведомости операций контроля, ведомости оснастки, ведомости материалов.

Программное обеспечение для реализации проектов производства работ находится в стадии разработки и будет автоматически формировать 81 % документа, тем самым снижая трудозатраты.

Таблица 1. Аналогичное ПО и особенности

№	Комплекс автоматизации процессов	Аналоги для автоматизации	Примечание
1	Комплект технологической документации	Не имеет аналогов	
2	Проект производства работ	Существует универсальное ПО для разработки ППР	Аналоги не способны выполнить поставленные задачи из-за: особенностей каждого предприятия; разной нормативной документации, различия в требованиях
3	Нормоконтроль	Существует универсальное ПО	На предприятиях концерна большую часть занимает внутренняя нормативная документация, поэтому использование только стороннего ПО не выполняет задачу в полной мере

Таблица 2. Экономический эффект

№	Наименование ПО	Повышение эффективности, %	Экономический эффект на каждого работника, руб./мес.
1	Комплект технологической документации	35	134 400
2	Проект производства работ	60	42 200
3	Нормоконтроль	65	47 500

Программное обеспечение для проведения нормоконтроля будет обладать следующими функциями: проверка нормативных ссылок в документе на актуальность; форматирование текста согласно действующей нормативной документации.

Программное обеспечение будет обладать следующими функциями: проверка актуальности документа; проверка на соответствие нормам и правилам действующих нормативных документов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен комплекс программного обеспечения для разработки технологической документации, также были представлены оценки экономического эффекта от внедрения комплекса.

В результате проведенного анализа на наличие аналогов, экономический эффект и уменьшение человеческого фактора можем сделать вывод о важности внедрения данного комплекса на предприятиях.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АЭС

А.Д. Жуков¹

¹АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва

e-mail: ADZhukov@cniitmash.com

Проанализированы возможности применения перспективных методов неразрушающего контроля для оценки технического состояния элементов оборудования и трубопроводов АЭС. Обозначены ограничения их использования и направления развития.

The possibilities of application for advanced methods of nondestructive testing for technical condition assessment of elements of NPP equipment and pipelines are observed. Limitations of their application and corresponded research trend are considered.

ВВЕДЕНИЕ

Неразрушающий контроль (НК) элементов оборудования и трубопроводов (ОиТ) АЭС является одним из основных инструментов обеспечения их безопасной эксплуатации.

Для обнаружения несплошностей в объекте контроля (ОК) используют комбинацию методов радиографического (РГК) и ультразвукового контроля (УЗК).

При РГК измеряют параметры изображений одиночных несплошностей или их скоплений и оценивают их тип: трещины, непровары и пр. Однако методы РГК ограничены в выявлении подобных дефектов. Для этого применяют методы УЗК.

При традиционном УЗК оценка качества основана на амплитудном параметре регистрируемого акустического сигнала, характеризующего эквивалентную площадь несплошности и условные размеры. Эти характеристики не дают информацию о типе несплошности и ее ориентации, что не позволяет использовать их для оценки влияния несплошности на техническое состояние ОК.

Поэтому увеличивают закладываемую неопределенность в безопасную сторону, что обуславливает жесткие нормы оценки качества по результатам НК и консервативный подход при оценке качества в области атомной энергии.

Как следствие, увеличивается число объектов, классифицируемых как брак, объем связанных с ними ремонтных работ, накладываются ограничения на оценку их остаточного ресурса. Для вновь разрабатываемого оборудования требуется назначение более жестких требований к конструкционным материалам,

повышается металлоемкость объектов при их конструировании и изготовлении.

Перспективные методы НК могут дать более детальную информацию о количестве, типе, размерах несплошностей и их расположении в ОК с заданной вероятностью, чем предусмотренные действующей нормативной документацией. Они также могут быть использованы для оценки степени деградации механико-прочностных свойств и/или структурных параметров металла ОК.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современные методы УЗК позволяют по формируемому изображению несплошности оценить ее тип, ориентацию и пр., что повышает вероятность ее выявления и идентификации несплошности до не менее 90% [1] при показателе не более 70% для традиционных методов.

Получаемая при этом информация дает возможность реализовать подход инженерной критической оценки (ЕСА) [1–3] технического состояния ОК. ЕСА [1] позволяет обоснованно снизить требования к нормам оценки качества и, как следствие, уменьшить объем ремонтов, а в ряде случаев – продолжить эксплуатацию объекта при обнаружении несплошности, недопускаемой в рамках консервативного подхода [1–3].

Оценка технического состояния ОК и потенциальной опасности несплошности с использованием принципов ЕСА, как показано в [1], может быть распространена на ОиТ АЭС при учете в соответствующих расчетах механизмов деградации и режима нагружения объекта.

Для этого потребуется изменение подходов к прочностным расчетам ОиТ АЭС и переход к оценке ресурса с отслеживанием изменения уровня дефектности на всех стадиях их жизненного цикла. Информация о дефектности ОК должна быть получена по результатам НК с известной достоверностью выявления и идентификации несплошностей заданного типа соответствующими методами НК.

Это требует развития систем автоматизированного УЗК и разработки соответствующих методических решений. Развитие алгоритмов машинного обучения при анализе паттернов обнаруженных несплошностей в совокупности с известными математическими моделями акустических трактов также позволит повысить эффективность и достоверность УЗК путем введения количественных параметров классификации несплошностей.

Другим направлением оценки технического состояния, исходя из результатов НК, является управление старением путем мониторинга степени деградации механико-прочностных свойств металла ОК и/или его структурных характеристик на различных этапах жизненного цикла ОиТ АЭС.

Анализ состояния металла должен опираться на корреляционную связь между изменением параметров структуры металла и/или напряженно-деформированного состояния с изменением параметров УЗ сигналов. В качестве их основы в [4] были использованы модели И.Н. Ермолова и В.Н. Данилова. Результаты исследования [4] на образцах из стали 12Х1МФ подтвердили взаимосвязь изменения структуры образцов с амплитудно-частотными параметрами регистрируемых сигналов.

В дальнейшем, получив по результатам исследований корреляционные зависимости указанных па-

раметров, будет возможно применять их в качестве маркеров деградации металла ОиТ АЭС на всех этапах жизненного цикла от изготовления до вывода из эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы развития подходов по оценке состояния ОиТ АЭС неразрывно связаны с внедрением цифровых технологий НК и разработки соответствующих методических решений для повышения информативности и достоверности результатов НК. Получение детальной информации о несплошности с известной вероятностью выявления и идентификации снизит консерватизм оценки технического состояния ОК [1–2]. Их совокупное применение с оценкой степени деградации металла на всех этапах жизненного цикла объекта в рамках управления старением позволит скорректировать нормы оценки состояния ОК за счет уменьшения ошибки при оценке несущей способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А.В., Филин В.Ю. // Расчетные оценки прочности по отношению к хрупким разрушениям с применением инженерно-критического анализа (ECA) // Авиационные материалы и технологии № S1 – 2015. – С.13-19.
2. DNVGL DNV-OS-F101-2013 Submarine pipeline systems – Det Norske Veritas – 2013 – 168 с
3. СТО 2-2.4-715-2013 Методика оценки работоспособности кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов – АО «Газпром» – 2013 – 299 с.
4. Данилов В.Н, Ушаков В.М., Жуков А.Д // Оценка факторов ослабления донных сигналов при ультразвуковой структурографии металла // Тяжелое машиностроение [в печати]

СОВРЕМЕННЫЙ ЦИФРОВОЙ ПОДХОД ПО НАБЛЮДЕНИЮ КРАНОВЫХ ПУТЕЙ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.В. Минин¹

¹Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Белоярская атомная станция», г. Заречный
e-mail: ivan-minin-zar@mail.ru

Безопасная эксплуатация грузоподъемных механизмов во многом определяется техническим состоянием их путей. К работам по наблюдению таких путей относятся планово-высотная съемка, к которой предъявляются строгие требования. Для выполнения этих требований была применена новая технология наблюдения с использованием высокоточного геодезического оборудования, что позволило минимизировать работы на высоте и повысить точность, скорость выполнения работ.

Safe operation of lifting mechanisms is largely determined by the technical condition of their paths. The work on the observation of such paths includes a planned high-altitude survey, to which strict requirements are imposed. To fulfill these requirements, a new surveillance technology was applied using high-precision geodetic equipment, which allowed minimizing work at height and increasing the accuracy and speed of work.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях развития атомной энергетики в России и за рубежом большое внимание уделяется эксплуатации и ремонту технологического оборудования

и для этого используют установки грузоподъемных механизмов (краны). Безопасность эксплуатации грузоподъемных кранов во многом определяется техническим состоянием крановых путей и поэтому на-

блюдение за ними является важным мероприятием, к которому предъявляются строгие требования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Геодезическая съемка крановых путей и подкрановых конструкций является основной частью комплекса работ по обследованию путей производится минимум один раз в год на постоянной основе.

Для выполнения съемки были использованы высокоточный роботизированный тахеометр, полевой контроллер и крестовина. На бетонном основании пола цеха закрепляются долговременные три пункта, по которым будет сориентирован тахеометр. Съемка выполняется одной стоянкой при максимальной видимости головки рельсов. После установки прибора инженер-геодезист лично идет по рельсу, устанавливает крестовину на головку рельса и использует контроллер для взятия измерения прибором.

Обработка измерений, полученных тахеометром, осуществляется в программном комплексе AutoCAD и включает в себя импорт точек, уравнивание и обработку. Конец и начало левого пути приняты за исходные точки. Первой точке левого рельса присвоены условные координаты $X = 0,000$ м и $Y = 0,000$ м. Координаты второй точки будут соответствовать длине левого рельса (80 м), которая была получена тахеометром: $X = 0,000$ м и $Y = 80,000$ м. Высота рельса вычисляется от первой точки съемки, которая условно принята $h = 0,00$ м. Получаем, что левый рельс ориентирован точно по оси Y, а это значит, что разность координат по оси X между первой и последующими точками будет иметь значения отклонений от прямой, соединяющей начальную и конечные точки рельса (рис. 1). После этого соединяем прямой линией первую и последнюю точку левого рельса. Затем от каждой точки строится нормаль. На чертеже подписываются значения вектора отклонения в мм (рис. 1).

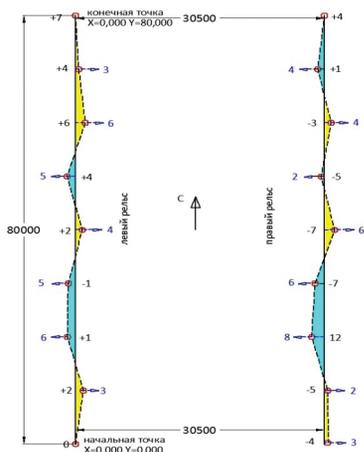


Рис. 1. Двухмерный график результатов наблюдений в ПО AutoCAD

Для правого рельса откладывается базовая линия на расстояние проектной ширины рельсов (30,5 м), и после все делается аналогично. Двухмерный график можно также получить, используя табличный редактор Excel (рис. 2).

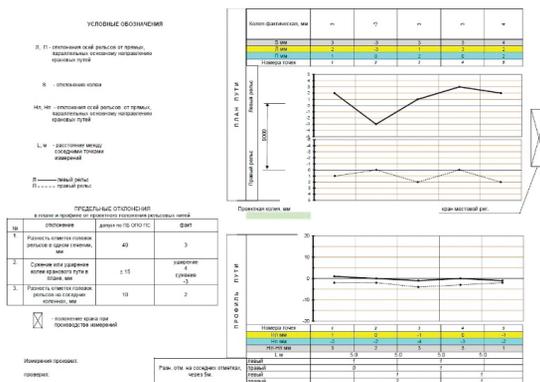


Рис. 2. Двухмерный график результатов наблюдений в ПО Microsoft Office

Для демонстрации головки рельса в трехмерном изображении создается поверхность. Облако точек, полученное при наблюдении тахеометром, импортируют в ПО, и по средствам триангуляции получается поверхность TIN. Отметка каждой точки на поверхности определяется посредством интерполяции значений отметки в вершинах треугольника, в котором расположены эти точки. Благодаря построению поверхности головки рельс позволяет отображать высокую степень неоднородности и перепады. Помимо этого, можно накладывать поверхность TIN подкрановых рельсов на предыдущие поверхности наблюдений этого рельса. Благодаря такому подходу мы получаем интерактивные отчеты, содержащие трехмерные графики подкранового пути с указанием проблемных участков (рис. 3).

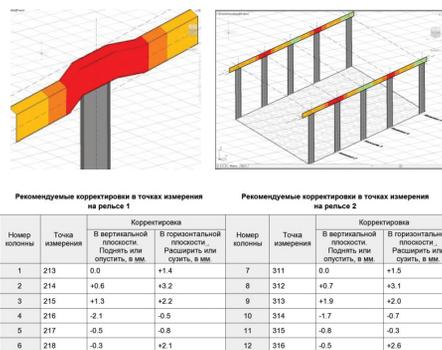


Рис. 3. Трехмерный график результатов наблюдений в ПО AutoCAD

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдение за подкрановыми путями является одним из самых важных, сложных и опасных видов работ. Использование современного цифрового подхода позволяет:

- одновременно определять плановое и высотное положение рельсов;
- эффективно сравнивать результаты с предыдущими годами наблюдения;
- повысить точность и скорость выполнения работ, снижая тем самым время простоев оборудования;
- на основе данных создаются двухмерные и трехмерные графики подкранового пути с указанием проблемных участков.

Кроме того, использование автоматизированного робота обеспечивает безопасность инженера-геодезиста при проведении работ на высоте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.И., Скребков Г.В. О методике геодезического контроля подкрановых путей электронным

тахеометром // Наука – образованию, производству, экономике – 2009. – С. 53-54.

2. Ганьшин, В. Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей. – 1980. – 117 с.

3. ФНП ПБ ОПО ПС № 461. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. – 2020. – С. 67-80.

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ НА ВХОДЕ В АКТИВНУЮ ЗОНУ НА ЭНЕРГОБЛОКАХ С ВВЭР-1200 ПРОЕКТА АЭС-2006

Е.М. Плешакова¹, А.В. Семенихин¹, А.Н. Добротворский¹, А.Ю. Самодуров¹

¹Нововоронежский филиал «Нововоронежатомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго», г. Нововоронеж
e-mail: EMObraztsova@nvate.ru

При вводе в эксплуатацию энергоблоков с ВВЭР проводятся испытания по определению коэффициентов влияния теплогидравлических характеристик теплоносителя в холодных нитках петель 1-го контура на входную температуру теплоносителя в каждой ТВС при 4 и 3 работающих петлях. Коротко эти испытания называют «определение температурного поля».

В работе представлено сравнение коэффициентов влияния теплогидравлических характеристик теплоносителя в холодных нитках петель 1-го контура на входную температуру теплоносителя в каждой ТВС при 4 и 3 работающих петлях при вводе в эксплуатацию энергоблоков № 1, 2 Белорусской АЭС и № 6, 7 Нововоронежской АЭС. На втором блоке Белорусской АЭС впервые на практике были сделаны испытания по определению температурного поля дважды. Полученные результаты подтвердили общие закономерности формирования температурного поля теплоносителя на входе в активную зону с ВВЭР-1200.

Tests on determination of the coefficients of influence of the heat-hydraulic characteristics of the coolant in the cold legs of the loops of the 1st circuit on the inlet coolant temperature in each FA with 4 and 3 operating loops are performed at the commissioning of NPP power unit with WWER. The short name of this tests is determination temperature field.

The paper presents a comparison of the coefficients of influence of the heat-hydraulic characteristics of the coolant in the cold legs of the loops of the 1st circuit on the inlet coolant temperature in each FA with 4 and 3 operating loops at the commissioning of power units № 1, 2 of the Belarusian NPP and № 6, 7 of the Novovoronezh NPP. For the first time in practice tests on determination temperature field were performed twice at the power unit № 2 of the Belarusian NPP. The obtained results confirmed the general regularities of the formation of the temperature field of the coolant at the core inlet with WWER-1200.

ВВЕДЕНИЕ

Для анализа используются результаты испытаний на энергоблоках проекта АЭС-2006 с ВВЭР-1200: проект РУ В-392М, энергоблоки № 6, 7 Нововоронежской АЭС (№ 1, 2 НВАЭС-2) и проект РУ В-491, блоки № 1, 2 Белорусской АЭС.

Методика проведения испытаний следующая: три из четырех ПГ отсекаются по пару. В соединенном с ГПК ПГ давление пара меньше, чем в остальных 3 ПГ. Это приводит к меньшей температуре в соответствующей холодной нитке. Таким образом можно проследить, в какие ТВС попадает теплоноситель из этой петли. Соединенный с ГПК ПГ очередно меняется. Испытания проводятся с 3 и 4 работающими ГЦНА. Температура на входе в ТВС определяется как сумма температур теплоносителя в холодных нитках, умноженная на соответствующие коэффициенты влияния, которые и нужно определить. Необходимо иметь четыре режима с отсеченными ПГ, чтобы составить систему четырех уравнений с 4 неизвестными.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Результаты испытаний обрабатывались с помощью программного обеспечения «Термополе 5.0» (TermoField.exe), которое разработано начальником участка ВРК ЦФДИ НВАТЭ Семенихиным А.В.

На рисунках 1-5 представлены картограммы распределения коэффициентов влияния теплогидравлических характеристик петли № 1 на температуру

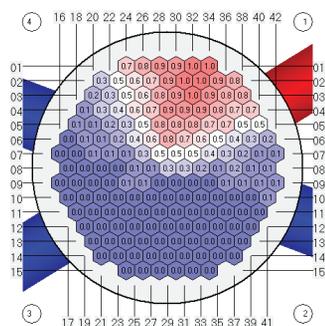


Рис. 1. Результаты для блока № 2 Белорусской АЭС в 2022 г.

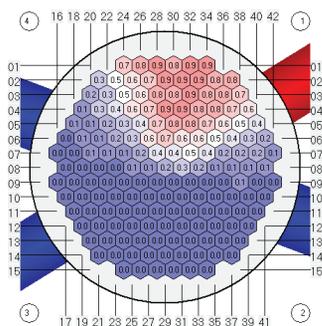


Рис. 2. Результаты для блока № 2 Белорусской АЭС в 2023 г.

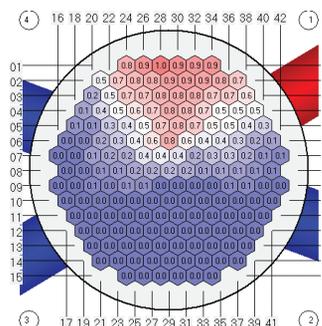


Рис. 3. Результаты для блока № 1 Белорусской АЭС

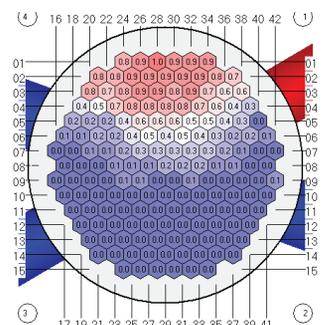


Рис. 4. Результаты для блока № 6 Нововоронежской АЭС

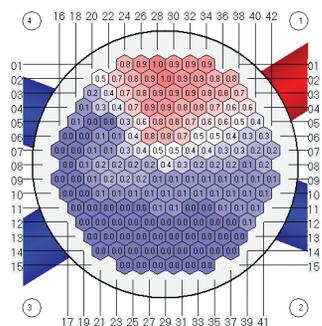


Рис. 5. Результаты для блока № 7 Нововоронежской АЭС

теплоносителя на входе в активную зону на разных энергоблоках. Красным цветом выделена холодная нитка петли № 1, через которую поступает теплоноситель в активную зону.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При испытаниях на четырех энергоблоках с ВВЭР-1200 проекта АЭС-2006 подтверждены общие закономерности формирования температурного поля теплоносителя на входе в активную зону. Стоит отметить, что гидравлика теплоносителя в нижней камере смешения зависит от текущего сочетания выемных частей ГЦНА, а применимость коэффициентов влияния для режимов с 4 и 3 работающими ГЦНА, полученных в результате испытаний, возможна только для данного блока и при текущем расположении выемных частей ГЦНА.

2. Сравнение температурных полей, полученных для блока № 2 Белорусской АЭС в 2022 и в 2023 годах, показывает, что результаты практически совпадают для режима работы на четырех ГЦНА. Наблюдаются незначительные отличия между коэффициентами для режимов работы на трех ГЦНА. Это обусловлено большей погрешностью для коэффициентов на трех ГЦНА, т. к. отклонение в течение режима испытания температуры холодных ниток значительно меньше, чем при работе на четырех ГЦНА, что, соответственно, приводит к возрастанию погрешности расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саунин Ю.В., Добротворский А.Н., Семенихин А.В. Определение температурного поля теплоносителя на входе в активную зону на этапе физического пуска блока №1 Тяньваньской АЭС. Тезисы 5-й международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», май 2007 г., Подольск, АО ОКБ «Гидропресс».

2. Саунин Ю.В., Добротворский А.Н., Семенихин А.В., Тарасов М.В., Вдовюк В.В., Смирнов С.Е., Ковель А.И., Калинушкин А.Е. Исследование температуры теплоносителя на входе в активную зону при вводе в эксплуатацию энергоблока № 2 Ростовской АЭС. Тезисы 9-й международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», май 2011 г., Подольск, АО ОКБ «Гидропресс».

3. Семенихин А.В., Добротворский А.Н., Королев А.С., Саунин Ю.В. Аналитический обзор методик определения температурного поля теплоносителя на входе в активную зону реакторов ВВЭР. Тезисы 11-й международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», май 2019 г., Подольск, АО ОКБ «Гидропресс».

ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ И БЛОКИРОВОК ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ СРОКОВ ПНР И ППР НА ОБОРУДОВАНИИ АСУ ТП. ВНЕДРЕНИЕ САТ

Е.А. Семернин¹

¹АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва
e-mail: semernin-ea@rosenergoatom.ru

Применение автоматизированных сценариев является основным методом сокращения сроков выполнения пусконаладочных работ и работ, выполняемых в период планово-предупредительного ремонта по проверке технологических защит, блокировок и сигнализаций на оборудовании АСУ ТП. Применение этого метода снижает сроки выполнения работ за счет быстрого автоматического задания входных значений (имитаций) и отсутствия ошибок при проверке из-за влияния человеческого фактора.

The use of scripts is the main way for reducing the time for start-up and adjustment works and works performed during the period of scheduled preventive maintenance to check technological protections, interlocks and alarms on APCS equipment. It is use reduces the time of works due to the fast automatic setting of input values (imitations) and the absence of errors during verification due to the influence of the human factor.

ВВЕДЕНИЕ

Управление сроком при сооружении объекта капитального строительства и выполнения работ по ремонту – главная задача календарно-сетевого планирования. Однако в подавляющем большинстве случаев строительство идет с отставанием от оптимального графика. Поэтому сокращение сроков и оптимизация пусконаладочных работ и работ, выполняемых в период планово-предупредительного ремонта (далее – ППР), является наиболее актуальной проблемой.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При выполнении работ на оборудовании АСУ ТП немало времени занимает проверка технологических защит, блокировок и сигнализаций (далее – ТЗБиС), а также функций безопасности, реализованных в программно-техническом комплексе (далее – ПТК) системы контроля и управления нормальной эксплуатации и безопасности. В современных ПТК, таких как ТПТС НТ (СБ, ЕМ) (производства ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова») и TELEPERM XS (производства Framatome), разработчиком предусмотрена сервисная станция с функцией разработки автоматизированных сценариев тестирования и их отладки. Готовые сценарии можно выполнять как на модели, так и на аппаратуре с применением реальных и виртуальных имитаторов.

Основной принцип автоматизированного тестирования (проверок) ТЗБиС заключается в оказании воздействия на ПТК путем задания значений входных переменных и последующего сравнения реакции ПТК с заранее заданными критериями успешности выполнения теста (проверки), включая взаимодействие с внешними для ПТК системами/подсистемами АСУ ТП.

Процесс автоматизированного тестирования предполагает возможность вмешательства пользователя для:

- выбора и подтверждения команды на безопасный останов или продолжение выполнения работы;
- включения/отключения исполнительного механизма в тестовом режиме, открытия/закрытия электро-

приводной арматуры и выполнение иных действий, требуемых для выполнения проверок ТЗБиС.

Из плюсов применения сценариев для проверки ТЗБиС следует отметить:

- гибкость (возможность редактирования разработчиком сценария в случае изменения алгоритма/параметризации);
- снижение потребности в человеческих ресурсах (быстрая проверка однотипных сигналов и мажоритации, без влияния на качество проверки и на безопасность энергоблока);
- снижение влияния человеческого фактора.

Недостатком является трудоемкий процесс отладки сценария.

Пример автоматизированной проверки насоса аварийной подпитки парогенератора 10LAS10AP001. ПТК СКУ НЭ. Белорусская АЭС

Ниже представлены части автоматизированного сценария, который исключает прохождение защитных (и иных) команд и сигналов в другие алгоритмы, не принимающие участия в проверке ТЗБиС. Также сценарий предусматривает проверку уставок, гистерезисов и мажоритации.

1. ASK «Для механизма 10LAS10AP001 подключен имитатор двигателя ТПТС54.3301?», «Да», «Нет». (Подтверждение установки имитатора с целью исключения воздействия на ИМ.

...

6. SET 10LCU04CL001A_1_HWIN,0.32. (Вывод на выключение 10LAS10AP001 по сигналу срабатывания уставки 10LCU04CL901_XH94 < 0.3 м.;

7. SET 10LCU01CL901_XH02@671,0, SET 10LCU01CL901_XH94@671,0, COMMAND 10LBG91EE001TE0, «Дист». (Вывод контура автоматики из автоматической работы и исключение воздействия на него).

8. SET 10LCU01CL901_XH94@231,0. (Исключение воздействия сигнала 10LCU01CL901_ZH94 < 0.3 м на 10LAS20AP001, не участвующий в проверке).

...

49. COMMAND 10LAS10AP001, «ON». (Включение механизма).

53. SET 10LAR10CP003_1_HWIN,0.03. (Ввод защиты на выключение 10LAS10AP001 по сигналу срабатывания уставки 10LAR10CP003_ZH94 < 0.04 МПа).

54. WAIT 10LAS10AP001_XB02 = 1. (Контроль отключенного состояния 10LAS10AP001).

55. SET 10LAR10CP003_1_HWIN,0.06. (Вывод защиты на выключение 10LAS10AP001 по сигналу срабатывания уставки 10LAR10CP003_ZH94 < 0.04 МПа).

56. COMMAND 10LAS10AP001, «QOFF, DELAY 2 (Время ожидания квитирования = 2 сек).

57. COMMAND 10LAS10AP001, «ON».

.....

125. SET 10LAS10CT004_1_HWIN,78.

126. SET 10LAS10CT005_1_HWIN,78.

127. COMMAND 10LAS10AP001 «QOFF»; DELAY 2. (Время ожидания квитирования = 2 сек.).

128. COMMAND 10LAS10AP001 «ON».

129. WAIT 10LAS10AP001_XB01=1.

130. SET 10LAS10CT004_1_HWIN,81.

131. SET 10LAS10CT006_1_HWIN, 8. (Проверка мажоритации).

...

429. SET 10LAR13AA102_ES.ARZU,0.

430. SET 10LAR14AA102_ES.ARZU,0.

431. ASK «Проверка защит для 10LAS10AP001 прошла успешно!», «Подтвердить». (Снятие всех введенных ранее имитаций).

Автоматизированная проверка занимает не более 10 минут, против проверки «ручным» способом по программе (с привлечением двух сотрудников оперативного персонала ЦТАИ и оператора реакторного отделения), включающей более 400 последовательных шагов с необходимостью подтверждения каждого подписью.

Для облегчения проверки алгоритмов АСУ ТП, наладки сценариев и повышения качества эксплуатации на современных энергоблоках для безаварийной ра-

боты основного технологического оборудования внедрена система автоматизированного тестирования алгоритмов прикладного обеспечения ПТК АСУ ТП (далее – САТ АСУ ТП).

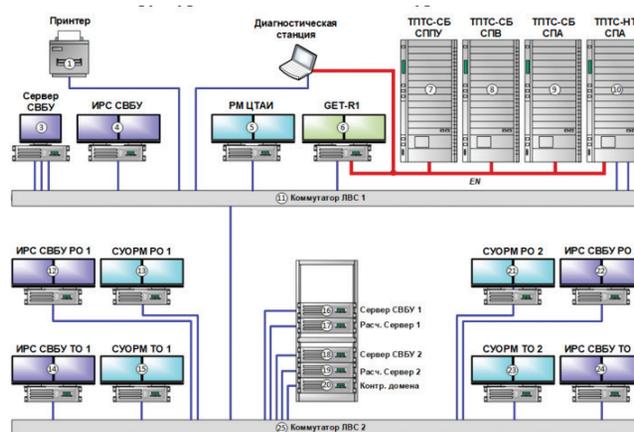


Рис. 1. Структурная схема САТ АСУ ТП Курской АЭС-2

САТ АСУ ТП позволяет выполнить динамическое тестирование алгоритмов перед проведением сложных испытаний, тем самым ускорив и повысив качество написания программ испытаний энергоблока, сократив время и трудозатраты эксплуатирующего и наладочного персонала на проверку ТЗБиС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение автоматизированных сценариев проверок не только сокращает время ПНР и работ в период ППР, но и повышает качество выполнения работ, снижая трудозатраты и влияние человеческого фактора.

ВАЖНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УЧЕТА ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТОВ НОВЫХ АС

Р.Е. Сергеев¹

¹АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва
e-mail: sergeev-re@rosenergoatom.ru

Требование о необходимости учета опыта эксплуатации отражено в основополагающем документе в области атомной энергетики «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» НП-001-15, п. 1.2.2.

Ввиду того, что информация об опыте эксплуатации (далее – ОЭ) заключена во множестве документов организаций-участников сооружения АС, для эффективного учета ОЭ требуется организация системы учета опыта эксплуатации (далее – СУОЭ).

The requirement for the need to take into account operational experience is referred in the fundamental document in the field of nuclear energy «General Safety Provisions for Nuclear Power Plants» NP-001-15, paragraph 1.2.2.

Due to the fact that operational experience information is contained in a variety of documents of organizations participating in the NPP construction, the organization of an operational experience accounting system is required for effective accounting of operational experience.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование СУОЭ должно заключаться в получении информации об ОЭ, ее накоплении и использовании в проектах АС.

ОБОСНОВАНИЕ

Отсутствие учета ОЭ или бессистемный подход к данной деятельности может привести (и в большинстве случаев приводит):

- к повреждению оборудования, трубопроводов и других элементов АС;
- затратам финансов и времени на их замену/ремонт/восстановление работоспособности.

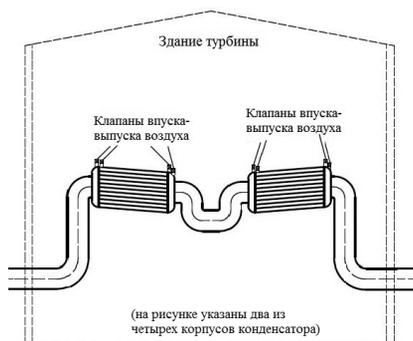


Рис. 1. Результат модернизации ЛАЭС-2

Данные аспекты сопряжены с рисками увеличения стоимости и сроков сооружения АС, штрафных санкций со стороны заказчика, а для зарубежных проектов – с ухудшением имиджа и снижением конкурентоспособности ГК «Росатом» как поставщика технологии АС российского дизайна.

Примеры негативных событий вследствие неучета ОЭ

1. Повреждение конденсатора турбины Белорусской АЭС э/б № 1

Предвестники событий

На энергоблоке № 1 ЛАЭС-2 в январе 2019 года после выявления проблем заполнения водяных камер конденсатора турбины (в связи с наличием воздуха) разработано Техническое решение по дооснащению камер клапанами пуска-выпуска воздуха (по проекту ими было оборудовано лишь четыре из 16 патрубков для выпуска воздуха).

В результате модернизации была обеспечена штатная работа конденсационной установки турбины.

Полученный опыт и принятое компенсирующее мероприятие ЛАЭС-2 не были тиражированы на последующие проекты АС.

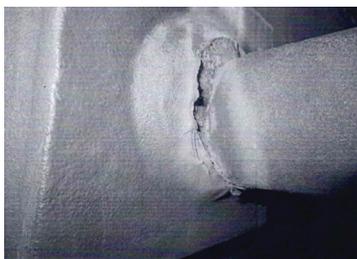


Рис. 2. Обрыв связи водяной камеры

Последствия

В ноябре 2019 года на энергоблоке № 1 Белорусской АЭС (проект – аналог ЛАЭС-2) были зафиксированы многочисленные механические повреждения элементов конденсатора и его водяных камер.

По результатам расследования установлено, что причиной повреждений стало неполное удаление воздуха из водяных камер конденсатора, что при пуске циркуляционных насосов привело к возникновению пульсаций и гидроударов.

Потенциальный риск повторения

Курская АЭС-2 (изначально не учтено в проекте, однако в 2021 году принято ТР о дооснащении водяных камер 4 клапанами пуска-выпуска воздуха в дополнение к 4, предусмотренным по проекту).

АЭС «Руппур» (проектом не предусмотрена возможность полного заполнения конденсатора средой перед пуском).

2. Повреждения запорной арматуры из-за термоопрессовки

Предвестники событий

В сентябре 2017 года на энергоблоке № 1 ЛАЭС-2 в ходе холодно-горячей обкатки выявлены значительные дефекты штоков главных паровых задвижек системы свежего пара.



Рис. 3. Повреждение штока арматуры

По результатам расследования было установлено, что одной из причин повреждения задвижек стала их термоопрессовка за счет недренированных остатков испытательной среды и остаточного давления в надклиновом пространстве.

Какая-либо защита от повышения давления в надклиновом пространстве для данных задвижек не предусмотрена.

Для ЛАЭС-2 в дальнейшем неоднократно выявлялись позиции арматуры различных технологических систем с отсутствующей защитой от термоопрессовки. По выявленным случаям принимались компенсирующие мероприятия с доработкой конструкции задвижек.

Полученный негативный опыт и принятые компенсирующие мероприятия ЛАЭС-2 не были тиражированы на последующие проекты АЭС в полном объеме.

Последствия

На Белорусской АЭС были зафиксированы повреждения штоков арматуры, несмотря на наличие негативного опыта, полученного с проекта-аналога.

Потенциальный риск повторения

Курская АЭС-2, АЭС «Руппур» (в проектах присутствует арматура, защита от термоопрессовки которой не предусмотрена).

СЛОЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СУОЭ

- Требования заказчика по референтности проекта АС и отсутствию изменений по сравнению с блоком-аналогом.
- Большое количество несистематизированных документов, содержащих информацию об ОЭ.
- Отсутствие единой отраслевой базы для хранения полного объема ОЭ.
- Необходимость привлечения узкопрофильных специалистов для анализа документов, содержащих информацию об ОЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- СУОЭ необходима и должна быть реализована в каждой организации-участнике процесса сооружения АС, руководители организаций должны быть вовлечены в процесс учета ОЭ.
- Должен быть налажен механизм обмена ОЭ между организациями «источниками ОЭ» и организациями, использующими ОЭ.
- Внутри организации должны быть созданы и введены в действие и описаны процедурами механизмы внедрения/использования ОЭ в проектах АС.

УЧЕТ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС ПРИ СООРУЖЕНИИ КУРСКОЙ АЭС-2

Р.М. Шалимов¹

¹Курская АЭС, г. Курчатов

e-mail: Shalimov_RM@kur2.rosenergoatom.ru

Описан процесс работы над несовершенными проектными решениями Курской АЭС-2 с реактором ВВЭР-ТОИ на основании опыта ввода в эксплуатацию и работы Нововоронежской АЭС-2, конкретные примеры таких решений, а также описаны некоторые изменения проекта в связи с научно-техническим прогрессом.

Having based on an experiment clearing for an exploitation and manipulation with the Novovoronezh NPP-2 condemned working process upon stickit design choices Kursk NPP-2 with the reactor PWR-TOI. Case studies solutions like this, and described various alterations of the project complimented by technological advances.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе ввода в эксплуатацию и работы АЭС выявляется огромное количество несовершенных проектных и конструкторских решений, которые влияют на надежность энергоблока, выработку электроэнергии и даже на безопасность АЭС. Персонал АЭС совместно с подрядными организациями ведет непрерывную работу по поиску и устранению этих решений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С началом строительства Курской АЭС-2 на ключевые должности АЭС был трудоустроен персонал с Нововоронежской АЭС-2, который имел опыт пуска и эксплуатации АЭС, построенной на тот момент по новейшему для атомной отрасли России проекту АЭС-2006. Конечно, из-за нереперентности проекта в процессе пуска и дальнейшей эксплуатации возникло множество проблем, отказов, сложностей с использованием оборудования. В процессе изучения проекта ВВЭР-ТОИ стало ясно, что большое количество несовершенных проектных решений также перешло с проекта АЭС-2006 на проект ВВЭР-ТОИ.

Сразу же была создана электронная база «Единый реестр проектных вопросов» (ЕРПВ), куда персонал станции заносит исходя из своего опыта и знаний несовершенные проектные решения и оборудование, а также результаты проработки этих вопросов. Эту базу предлагается передавать на дальнейшие проекты «Росатома» (3-й, 4-й блоки Ленинградской АЭС-2, Смоленскую АЭС-2 и т. д.) для тиражирования положительного опыта.

Так как процесс выпуска проекта происходил параллельно строительству, многие проектные ошибки удалось исправить на этапе выпуска рабочей документации. Для других пришлось выпускать технические решения и решения ГК «Росатом». Нами были созданы «неоптимальные решения» – это большой пул технических решений, объединенных в одно решение ГК «Росатом», однако работа на этом не закончилась, и мы по мере выпуска рабочей документации вносим свои коррективы, если это возможно.

К сожалению, проектный институт не учитывает опыт эксплуатации и повторяет ошибки в последующих проектах. Приведем несколько примеров.

Проблемы размещения персонала

В каждом проекте отсутствует помещение для оперативного персонала ЦТАИ и ЭЦ, и руководство цехов выходит из положения как может: размещает персонал в электротехнических помещениях, не оборудованных необходимыми системами жизнеобеспечения. На Нововоронежской АЭС-2 и вовсе разместили персонал ЦТАИ в помещении сборок НКУ, отгородив свободное пространство гипсокартоном. Эта же проблема перешла и на Курскую АЭС-2: пришлось размещать персонал в свободных помещениях здания турбины и оборудовать их всем необходимым.

Проблемы компоновки КИП

Отборы датчиков давления конденсаторов турбины были размещены на отметке 0, и в процессе работы в импульсной трубке возникало лишнее гидростатическое давление от конденсата, вследствие чего датчики давали недостоверные показания. На Нововоронежской АЭС-2 эту проблему устранили

переносом датчиков на отметку +7.8 еще в 2016 году путем выпуска технического решения. Однако в рабочей документации для Курской АЭС-2, выпущенной в 2021 году, снова эти датчики были расположены на отметке 0.

Усовершенствование АКНП

Примером изменения проекта в связи с научно-техническим прогрессом является усовершенствование аппаратуры контроля нейтронного потока (АКНП). Огромная работа была проделана по ее изменению (референт для нее предполагался с НВ АЭС-2). Курской АЭС совместно с НИЦ КИ было выпущено решение о дополнительных требованиях к АКНП. В решение вошли новые блоки-преобразователи (рис. 1), расположенные непосредственно у прямиков технологических каналов АКНП, что кратно увеличило помехозащищенность линии.

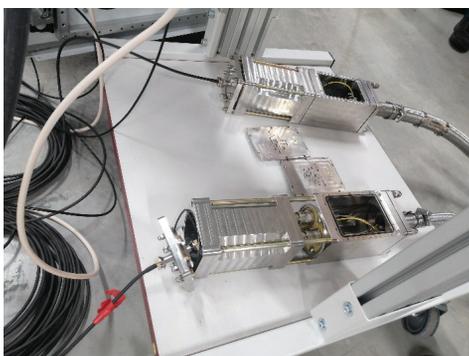


Рис. 1. Блоки-преобразователи

Были обоснованы новые алгоритмы АКПМ с использованием показаний ДПЗ из состава СВРК, благодаря чему рассогласование мощности по показаниям АКНП и СВРК будет сведено к минимуму.

Разработаны и будут применены новые, более чувствительные датчики диапазона источника (рис. 2), что позволит при перегрузках топлива использовать только внереакторную АКНП.



Рис. 2. Датчики диапазона источника

Конечно, и проектные организации исправили много недочетов предыдущего проекта: это и более мощная башенная испарительная градирня, промконтур для охлаждения ответственных потребителей турбинного отделения, другая конструкция РУ-Д, РУ-ПНД, более надежная конструкция РК-ТГ, бесколлекторные ПГ, ГЦН с водяным охлаждением, дублированная шина EN, в целом более современная АСУ ТП, и пр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Атомная отрасль России развивается, появляются новые, более оптимизированные проекты АЭС, и в этом направлении мы работаем совместно с усилиями проектных институтов, конструкторов, научных руководителей. Однако важно подчеркнуть недостаточное внимание к учету опыта эксплуатации атомных станций в новых проектах со стороны проектных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалимов Р.М. Пояснительная записка к итоговой аттестационной работе по теме «Модернизация аппаратуры контроля нейтронного потока Курской АЭС-2». – 2023. – С. 64.

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ НАЛАДКИ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ВВОДЕ АЭС В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

В.И. Шумилов¹

¹Смоленский филиал «Смоленскатомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго», г. Десногорск
e-mail: ShumilovVI@smolate.ru

Доклад раскрывает цели, методы и результаты диагностического сопровождения наладки электрифицированной трубопроводной арматуры (ЭПА) на этапах ввода АЭС в эксплуатацию на примере опыта пусконаладочных работ энергоблоков № 1 и № 2 Ленинградской АЭС-2 и Белорусской АЭС. В докладе рассмотрены примеры выявленных несоответствий ЭПА, а также предложения по повышению эффективности имеющегося подхода к диагностическому сопровождению наладки ЭПА.

The report discloses the reasons, objectives and results of diagnostic support for the adjustment of electrified pipeline valves (EPV) at the stages of commissioning of the NPP using the example of the experience of commissioning of power units No. 1 and No. 2 of the Leningrad NPP-2 and the Belarusian NPP. The report considers examples of identified non-conformities of EPV, as well as proposals to improve the effectiveness of the existing approach to diagnostic support of EPV adjustment.

ВВЕДЕНИЕ

Безотказная работа трубопроводной арматуры оказывает существенное влияние на надежность и безопасность АЭС.

С трубопроводной арматурой АЭС связано:

- до 25% отказов оборудования;
- до 40% простоев энергоблока;
- до 70% затрат на ремонт;
- до 85% перечня заменяемого оборудования.

Основной целью диагностического сопровождения наладки ЭПА является обеспечение безотказности и работоспособности ЭПА в течение всего срока службы, необходимого для поддержки требуемого уровня надежности и безопасности энергоблоков АЭС.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В ходе диагностирования ЭПА определяется ее техническое состояние путем проверки соответствия фактических параметров требованиям конструкторской и эксплуатационной документации как без среды, так и с параметрами рабочей среды путем записи и анализа электрических сигналов (ток, напряжение, потребляемая активная мощность и т. п.) при полном цикле «открытие-закрывание».

Представлена концепция диагностической модели, основанная на проведении базовых (первоначальных) и периодических испытаний в соответствии

с методикой МТ 1.2.1.15.1175-2016 [1]. Базовые испытания – испытания, выполняемые на ЭПА впервые в процессе пусконаладочных работ, с целью подтверждения работоспособного состояния арматуры и привода. Работоспособное состояние арматуры и привода подтверждается, если значения измеренных диагностических параметров лежат в пределах установленных допусков. При этом производится фиксирование исходных измеренных значений параметров для их последующего мониторинга. В процессе периодических испытаний контролируются только электрические параметры (токи, напряжение, активная мощность, дискретные сигналы с концевых выключателей). Крутящие моменты при этом определяются автоматически программными средствами по полученной при базовых испытаниях взаимосвязи крутящего момента и потребляемой электродвигателем скорректированной активной мощности с учетом потерь мощности на самом приводе и элементах дистанционной передачи. Данные испытания проводятся с использованием технических средств диагностирования, представленных на рисунке 1, и специализированного ПО Ate Valve Diagnostic DB.



Рис. 1. Технические средства диагностирования ЭПА

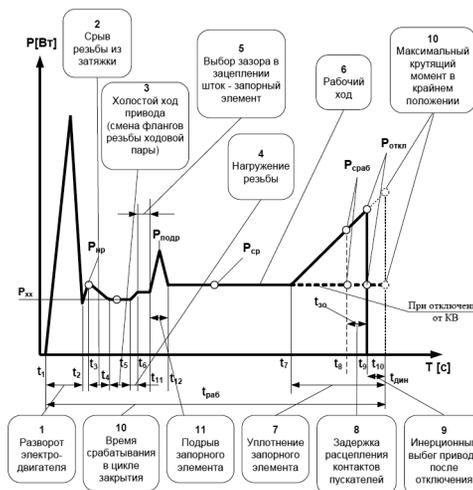


Рис. 2. Диагностическая модель ЭПА

Диагностическая модель ЭПА (рис. 2) представляет собой набор численных значений крутящих моментов и временных интервалов в характерных точках на записи активной мощности в цикле ее срабатывания. Характерные точки определяются с учетом факторов, влияющих на техническое состояние ЭПА и привода и, тем самым, на изменения на кривой активной мощности (крутящего момента) и исходя из периодов движения запорного элемента арматуры.

По результатам диагностики ЭПА при вводе АЭС в эксплуатацию на примере энергоблоков № 1, № 2 Ленинградской АЭС-2 и Белорусской АЭС были выявлены различные несоответствия, на основании которых выдавались рекомендации для их скорейшего устранения. В докладе подробно представлены выявленные несоответствия, дефекты арматуры.

Полученная статистика свидетельствует о низком качестве поставляемой ЭПА в части настройки моментных муфт изготовителем, дефектов ходового узла, перетяжки сальников и т. п. Кроме того, по результатам диагностики наладчики ЭПА имеют возможность увеличить качество и уменьшить сроки ее наладки в части точности настройки путевых выключателей, проверки схемы управления и т. п.

Диагностическое сопровождение позволяет выявить и вовремя устранить несоответствия, возникающие по вине изготовителей арматуры, монтажников и наладки, а также позволяет накопить и передать отделу технической диагностики АЭС первичные ди-

агностические данные для отслеживания трендов в процессе эксплуатации ЭПА после сдачи в промышленную эксплуатацию с целью прогнозирования состояния ЭПА, что влияет на надежность работы тепломеханического оборудования и энергоблока в целом.

В докладе представлены рекомендации и предложения по входному контролю всей поступающей ЭПА на АЭС, а также необходимости фиксации изготовителем в паспортах на приводы ЭПА нужных диагностических данных на этапе приемо-сдаточных испытаний. Раскрыта потребность дальнейшего распространения опыта диагностического сопровождения наладки ЭПА при вводе в эксплуатацию энергоблоков АЭС в России и за рубежом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на применение в новых проектах АЭС комплексной системы диагностирования арматуры, необходимость в диагностическом сопровождении наладки ЭПА не уменьшилась, а приобрела дополнительную значимость в части пополнения базы системы диагностическими данными, которые можно достоверно собрать в период ПНР энергоблока до монтажа ЭПА и во время ее наладки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МТ 1.2.1.15.1175-2016 «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика», АО «Концерн Росэнергоатом», 2016 г.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАГРУЖЕНИИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ТЕРМОПУЛЬСАЦИЯМИ

Д.Е. Бесчеров¹, М.А. Большухин¹, М.Н. Ереев¹, А.С. Марков¹, В.А. Панов¹, Д.Н. Патрушев¹, Д.Н. Свешников¹
¹АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород
 e-mail: bescherov@okbm.nnov.ru

В статье представлены актуальность проблемы влияния температурных пульсаций на ресурс оборудования реакторных установок (РУ) и краткое описание методики. Данная методика позволяет проводить оценку влияния случайных термоциклических нагрузок на ресурсные характеристики оборудования и трубопроводов РУ. Описаны современные проблемы, возникающие при расчете кинетики накопления усталостных повреждений в конструкционных материалах при воздействии стохастических температурных пульсаций. Для решения представленных проблем проведены экспериментальные и численные исследования. По результатам данных исследований выполнены усовершенствование и верификация методики расчетного анализа долговечности оборудования, работающего под воздействием стохастических температурных пульсаций.

The article presents the relevance of the problem of the influence of temperature pulsations on the resource of the reactor facilities equipment and a brief description of the methodology. This methodology makes it possible to assess the influence of random thermocyclic loads on the resource characteristics of equipment and pipelines of reactor facilities. Modern problems arising in the calculation of the kinetics of fatigue damage accumulation in structural materials under the influence of stochastic temperature pulsations are described. To solve the presented problems, experimental and numerical studies were carried out. Based on the results of these studies, the improvement and verification of the methodology for the computational analysis of the durability of equipment operating under the influence of stochastic temperature pulsations were carried out.

ВВЕДЕНИЕ

Условия эксплуатации оборудования РУ любых типов характеризуются интенсивными термосиловыми циклическими воздействиями на его конструктивные элементы. Данные воздействия являются следствием изменения давления и температуры теплоносителей в переходных режимах эксплуатации или следствием пульсаций температуры теплоносителей, обусловленных спецификой работы оборудования. Указанные процессы носят принципиально нестационарный характер и приводят к пульсациям температуры металла элементов конструкций, которые могут оказывать существенное негативное влияние на ресурсные характеристики оборудования и, следовательно, на ресурс РУ в целом [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В связи с изложенным выше, на сегодняшний день чрезвычайно актуальной является задача повышения точности расчета кинетики накопления усталостных повреждений в конструкционных материалах при воздействии температурных пульсаций. Для решения этой задачи в АО «ОКБМ Африкантов» разработана методика оценки ресурса оборудования РУ при случайных термоциклических нагрузках, основанная на решении «связанной» задачи: гидродинамика, температурное состояние, напряженно-деформированное состояние (НДС), ресурса.

Существующие математические модели, применяемые в методах оценки усталостной долговечности, базируются на использовании усталостных характеристик конструкционных материалов, полученных при испытаниях с механическим нагружением [2]. Но

для наиболее обоснованных и точных оценок долговечности при термопульсациях следует располагать экспериментальными данными об усталостных свойствах материалов, полученных при термоциклическом нагружении, максимально приближенном к натурным условиям. В первую очередь, наибольший интерес, с точки зрения практической значимости и верификации существующих методов оценки долговечности, представляют экспериментальные исследования кинетики накопления усталостных повреждений при максимально возможных градиентах температур теплоносителей, соответствующих штатным параметрам РУ.

Для решения данной задачи АО «ОКБМ Африкантов» совместно с НГТУ им. Р.Е. Алексеева провели экспериментальные исследования на специально созданном стенде.

Основное назначение стенда – ресурсные испытания, на которых исследуется кинетика накопления усталостных повреждений в материале моделей в результате нагружения температурными пульсациями случайного характера, обусловленными смешением теплоносителей различной температуры, с периодическим контролем кинетики накопления указанных повреждений.

Для сравнения результатов эксперимента с результатами расчета была построена 3D-модель экспериментального образца. Проведены теплогидравлические расчеты 3D-модели, а по их результатам – расчеты НДС в условно упругой и упругопластической постановках. По результатам расчетов НДС проведена оценка долговечности экспериментального образца при воздействии стохастических термопульсаций.

Учитывая результаты расчетов и контроля кинетики накопления усталостных повреждений в материале экспериментальных моделей, были проведены ее металлографические исследования, которые подтвердили достоверность результатов численных расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментальных и численных исследований были усовершенствованы подходы к передаче термопульсаций от потока к стенке образца; подобран оптимальный размер конечного элемента, который позволил корректно моделировать напряженно-деформированное состояние, процессы развития и накопления повреждений испытываемого образца, нагруженного стохастическими термопульсациями, а также определены оптимальный временной интервал и шаг по времени

для проведения расчетов. Таким образом, проведены усовершенствование и верификация методики расчетного анализа долговечности оборудования, работающего под воздействием стохастических температурных пульсаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесчеров Д.Е., Большухин М.А., Будников А.В., Ереев М.Н., Лебедев В.В., Марков А.С., Панов В.А., Патрушев Д.Н., Свешников Д.Н., Скулкин Н.Г., Шишулин Д.Н. Отчет. Расчетно-экспериментальные исследования по развитию и верификации технологии анализа долговечности конструкций при воздействии стохастических термопульсаций. Этап 2017 г. – 130 с.
2. Митенков Ф.М., Кайдалов В.Б., Коротких Ю.Г., Панов В.А., Пичков С.Н. Методы обоснования ресурса оборудования ЯЭУ. – М.: Машиностроение, 2008. – 445 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ В ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

М.А. Горкин¹, О.А. Бородина¹

¹АО «Компания инжиниринга и строительства «ИСТОК». Проектно-изыскательский центр
г. Санкт-Петербург
e-mail: maxim.grk@icloud.com, olga.borodina.1999@yandex.ru

На примере практической задачи рассмотрено использование неоднородной нелинейной модели железобетона при расчете ОИАЭ на прочность при динамических воздействиях.

The use of heterogeneous nonlinear model of reinforced concrete is presented on the example of a practical problem of strength analysis of nuclear facilities under dynamic loads.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании ОИАЭ к сооружениям первого класса безопасности предъявляются повышенные требования. Элементы таких зданий и сооружений должны сохранять свою целостность при широком спектре внешних воздействий, таких как удар самолета, падение тяжелых грузов на строительные конструкции, сейсмические нагрузки, воздушная ударная волна и др. Некоторые из этих воздействий характеризуются достаточно значительной интенсивностью нагрузки, что предъявляет высокие требования к прочности рассматриваемого элемента. В результате расчетов с использованием линейных упругих моделей материалов появляется необходимость существенно усиливать строительные конструкции с целью удовлетворить требованию сохранения ее целостности. Необходимое существенное усиление не всегда возможно и зачастую ведет к усложнению конструкции и удорожанию проекта. Кроме того, необходимо отметить, что некоторые из вышеперечисленных воздействий с высокой интенсивностью нагрузки имеют достаточно малую вероятность, таким образом, подход, связанный с усилением конструкции неэффективен, и возникает необходимость в ином решении. Одним из них является более точное моделирование поведения материала.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При использовании линейных моделей материалов нагрузки высокой интенсивности ожидаемо вызывают высокие напряжения, часто превышающие номинально допустимые. Это связано с тем, что в линейной модели недоступен весь ресурс материала, так как возможны только упругие деформации. Это становится особенно важно при расчетах на ударное воздействие, когда пластическое нелинейное поведение материала способно при кратковременной нагрузке высокой амплитуды поглотить большую часть энергии. Так как

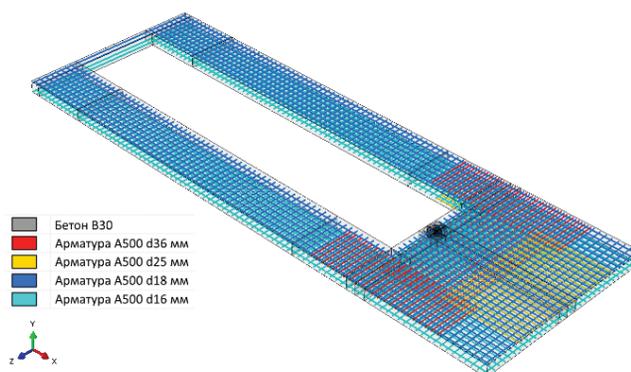


Рис. 1. Геометрическая модель железобетонной плиты перекрытия

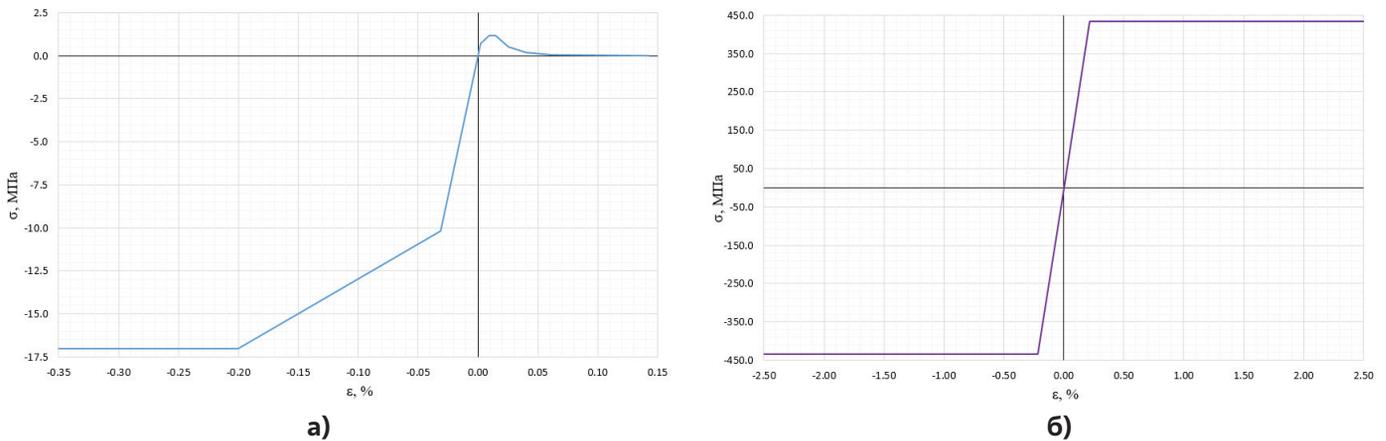


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона В30 (а) и стали арматуры А500 (б)

при таких воздействиях основное требование к конструкции заключается в сохранении целостности, а не в отсутствии пластических деформаций, учет влияния нелинейного поведения материала становится целесообразным.

В случае расчета железобетонных конструкций также необходимо учитывать и неоднородность такого материала.

В данной работе описанный выше подход продемонстрирован на примере расчета на прочность плиты перекрытия ОИАЭ при ударном воздействии.

Для проведения расчета в программном комплексе Abaqus была создана нелинейная и неоднородная конечно-элементная модель перекрытия, включающая в себя бетон и две арматурные сетки (верхнюю и нижнюю), которые соединены поперечной арматурой (рис. 1).

В данной расчетной модели использовалась модель деформирования бетона «Concrete damage plasticity», она позволяет разделять кусочно-линейную диаграмму деформирования бетона на растяжение и сжатие (рис. 2а), таким образом моделируется не только нелинейная и пластическая часть диаграммы при сжатии, но и разупрочнение бетона при возникновении трещин. Диаграмма деформирования стали использовалась билинейная (рис. 2б).

Ударное воздействие от падающего с высоты 5,3 м контейнера массой 820 кг задано давлением и площадью приложения, зависящих от времени.

Результаты численного решения задачи динамики показывают, что в зоне удара напряжения достигают предела прочности бетона на сжатие и появляются локальные зоны разрушения, однако неоднородная модель перераспределяет нагрузки в этих местах на арматуру (рис. 3), в результате чего сохраняется целостность перекрытия и гасится энергия удара.

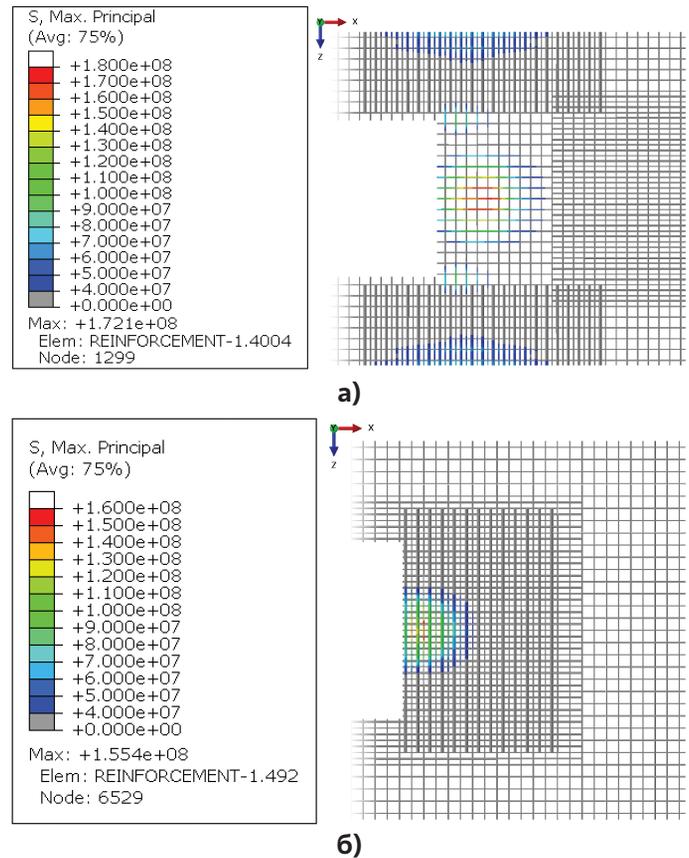


Рис. 3. Главные растягивающие напряжения σ_1 , Па, в верхней (а) и нижней (б) арматурных сетках

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При расчетах на динамические воздействия неоднородные расчетные модели, учитывающие нелинейность деформирования материалов, позволяют извлечь дополнительные резервы прочности конструкции для удовлетворения требований сохранения их целостности.

УЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Д.В. Григорьева¹

¹АО «Компания инжиниринга и строительства «ИСТОК». Проектно-изыскательский центр
г. Санкт-Петербург
e-mail: DVGrigoreva@mail.ru

На примере ряда практических задач представлены особенности учета температурных воздействий при прочностных расчетах объектов использования атомной энергии и проанализировано влияние указанных воздействий на напряженно-деформированное состояние строительных конструкций.

The features of temperature loads consideration in strength calculations of nuclear facilities are presented on the examples of some particular cases. The influence of this type of loads on a strain-stress state of building structures is analyzed.

ВВЕДЕНИЕ

Температурные нагрузки могут иметь различное происхождение, однако при расчете строительных конструкций, как правило, рассматриваются климатические и технологические температурные воздействия. Подобные воздействия особенно важно учитывать при проектировании монолитных железобетонных строительных конструкций объектов атомной энергии. С одной стороны, для такого рода сооружений характерны технологические процессы, приводящие к существенным перепадам температур между отдельными помещениями. С другой стороны, в таких жестких конструкциях с большой степенью статической неопределимости возникают большие температурные напряжения. При отсутствии специальных мер по защите от температурных воздействий температурные нагрузки следует учитывать при расчете для обеспечения механической безопасности основных несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для решения задач механики твердого деформированного тела необходимо предварительное решение задачи теплопроводности, заключающейся в определении температуры T во всех точках тела в каждый момент времени. Решение задач теплопроводности может быть получено аналитическим или численным методами. Аналитический метод предполагает подбор уравнения процесса, удовлетворяющего уравнению теплопроводности, начальным и граничным условиям. Результатом расчета аналитическим методом является общее уравнение процесса, действительное при различных значениях параметров, характеризующих задачу. Численный метод расчета предполагает замену дифференциального уравнения соответствующим уравнением в конечных разностях, что позволяет рассчитать процесс теплопередачи шаг за шагом. Данный метод не дает общего решения задачи, но позволяет производить расчеты для областей сложной формы при произвольных начальных и граничных условиях, в то время как аналитический метод целесообразнее применять, когда

условия задачи предварительно упрощены и схематизированы.

В качестве примера применения аналитического метода при расчете объектов использования атомной энергии рассмотрим задачу определения амплитуды годовых колебаний температуры в толще грунта при заданной амплитуде колебания температуры на внутренних поверхностях фундаментной плиты и стен подвала. Поскольку монолитное железобетонное здание, заглубленное в толщу грунта, существенно меняет температурные режимы в грунте под фундаментной плитой, как за счет теплоизоляции грунта от годовых и суточных колебаний температур, так и за счет теплового потока от здания, при расчете температурных нагрузок на фундаментную плиту и стены предварительно необходимо определить температуру грунта с учетом его нагревания. Данная задача может быть представлена как полуограниченный однородный массив с плоской поверхностью, температура которой совершает простые гармонические колебания под действием теплового источника.

Граничным условием в таком случае будет гармонический закон:

$$\theta_T = \theta^{\max} \cos\left(2\pi \frac{T}{z}\right) \quad (1)$$

где θ_{\max} – амплитуда колебания температуры на поверхности плиты/стены ($x = 0$); z – продолжительность полного периода колебаний в часах.

Решение уравнения теплопроводности получим в виде:

$$\theta_{x,T} = \theta^{\max} \cos\left(2\pi \frac{T}{z} - \sqrt{\frac{\pi}{az}} x\right) e^{-\sqrt{\frac{\pi}{az}} x} \quad (2)$$

Если взять максимальное отклонение температуры, то из уравнения (1) имеем:

$$\frac{\theta_{x,T}}{\theta^{\max}} = e^{-\sqrt{\frac{\pi}{az}} x} \quad (3)$$

При известных значениях амплитуды колебания температуры на поверхностях фундаментной плиты и стен подвала θ_{\max} , теплопроводности бетона a и толщин конструкций z получаем искомую амплитуду температур на поверхности грунтового массива $\theta_{x,T}$. Таким образом, можно определить нагрузку на

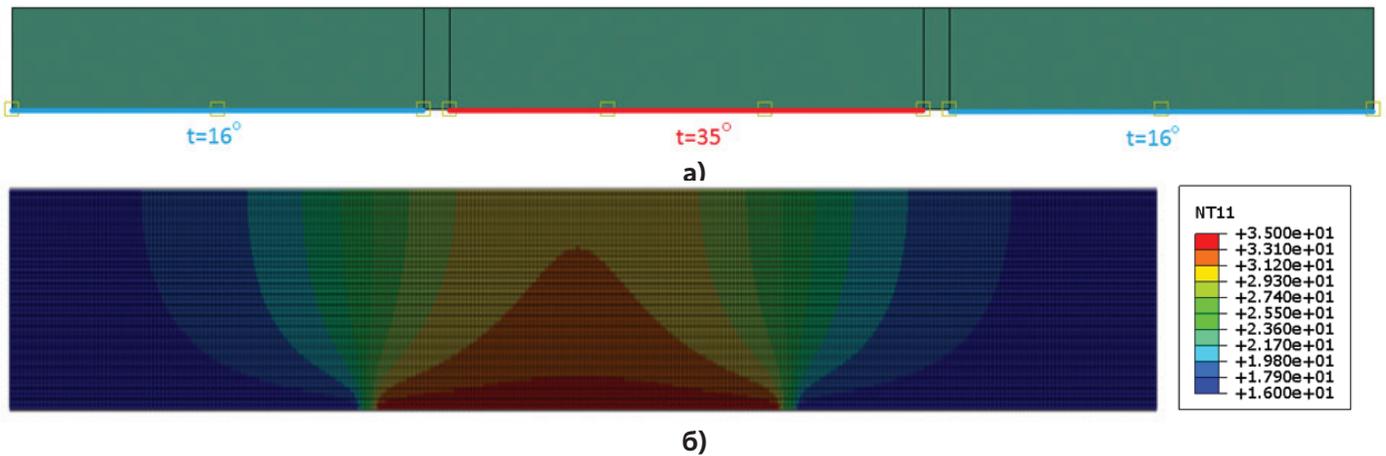


Рис. 1. Вспомогательная модель стены (а) и полученные температурные поля (б)

фундаментную плиту и стены от равномерного нагрева (охлаждения) конструкций и температурного изгиба при перепаде температур по сечению элемента.

В качестве примера применения численного метода при расчете объектов использования атомной энергии рассмотрим задачу определения температурных полей по сечению монолитной железобетонной стены. При существенных перепадах температур между соседними помещениями для более точного задания температурных нагрузок на участке стены необходим предварительный расчет. С помощью вычислительного комплекса Abaqus была создана вспомогательная модель стены, температуры на поверхностях стен определены из температур в помещениях. В результате расчета методом конечных элементов получен характер распределения температур по сечению стены в виде полей (рис. 1), что дает возможность задания уточненных значений температурных нагрузок в основной расчетной модели и, как следствие, позволяет сократить количество арматуры.

На практике было установлено, что учет температурных воздействий при расчете монолитных железобетонных конструкций производственных зданий оказывает существенное влияние как на общее количество арматуры, так и на характер распределения армирования по сравнению с расчетами без учета указанного вида воздействий. Степень оказываемого влияния напрямую зависит от исходных данных, при наличии существенных перепадов температур между помещениями разница в армировании может быть значительной (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корректный учет температурных воздействий имеет большое значение как с точки зрения обеспечения надежности и безопасности зданий, так и с точки зрения рационального распределения ресурсов.

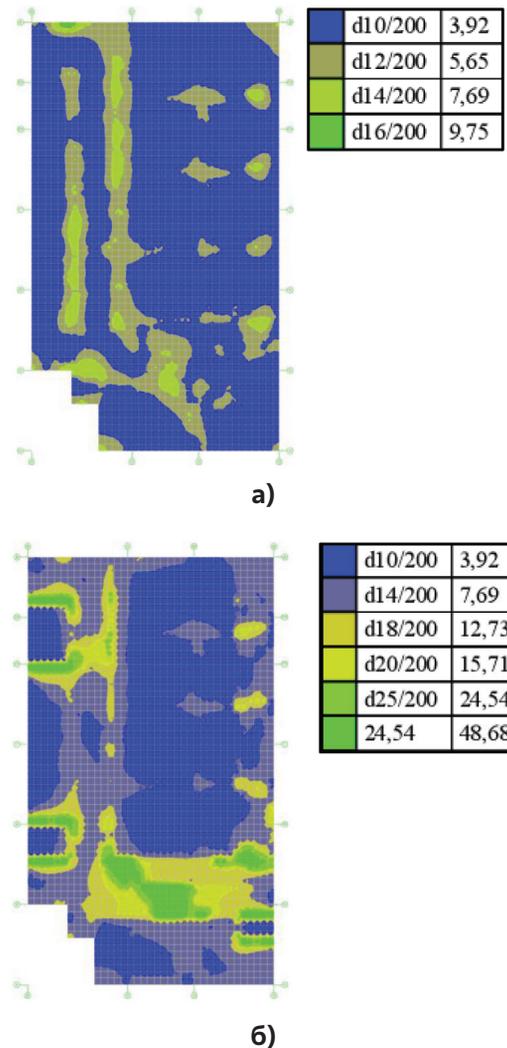


Рис. 2. Площади продольной арматуры в плите перекрытия на отм. 0,000 (см²) без учета температурных воздействий (а) и с учетом температурных воздействий (б)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

А.А. Ершов¹

¹АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва

e-mail: aaershov@cniitmash.com

В данной публикации применялось компьютерное моделирование методом конечных элементов для оценки остаточных сварочных напряжений после сварки корпусных элементов из стабилизированной аустенитной стали, проведен анализ влияния низкотемпературной термической обработки на распределение остаточных сварочных напряжений.

In this publication computer modeling by finite element method was applied to estimate residual welding stresses after welding of stabilized austenitic steel hull elements, the influence of low-temperature heat treatment on residual welding stresses distribution was analyzed.

ВВЕДЕНИЕ

Для крупных сложнопрофильных изделий из стабилизированной аустенитной стали существует большая вероятность получить деформации геометрии в результате проведения аустенизации. Для исключения деформаций изделия следует заменить аустенизацию на низкотемпературную термообработку, которая должна обеспечить снятие остаточных сварочных напряжений (ОСН). С помощью компьютерного моделирования методом конечных элементов (МКЭ) можно оценить уровень и распределение остаточных сварочных напряжений после сварки и влияние режимов низкотемпературной термообработки на снижение уровня остаточных сварочных напряжений [1-3].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цифровая модель имитирует наиболее нагруженный с точки зрения напряжений участок реального корпусного элемента. Сетка конечных элементов имеет измельчение в зоне сварных соединений, которые будут подвергаться нагрузкам в процессе сварки (рис. 1).

Последовательность выполнения сварных соединений: первым выполняется стыковое (продольное) сварное соединение приварки патрубка (швы №1), а затем выполняется круговое сварное соединение приварки переходника (швы №2). Время между проходами подбирается исходя из условий остывания. Межваликовая температура в зоне выполнения сварного прохода не должна превышать 100 °С. Расчет

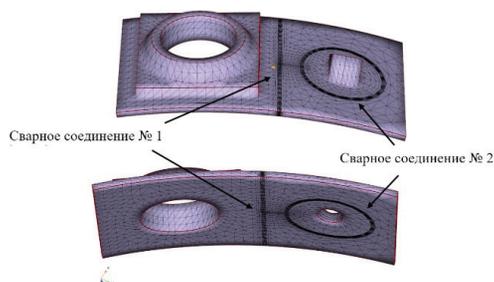


Рис. 1. Общий вид цифровой модели

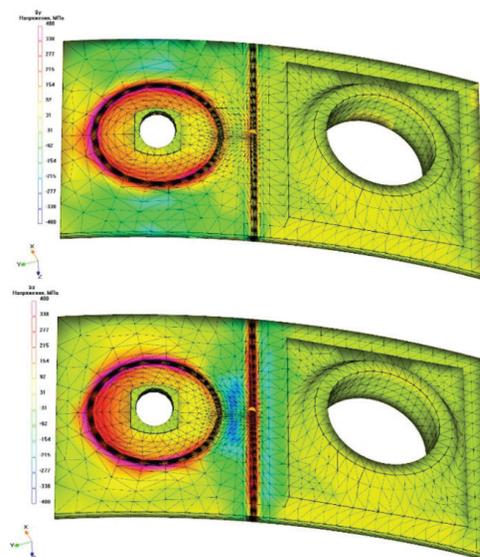


Рис. 2. Распределение ОСН в продольном (сверху) и поперечном (снизу) направлении относительно стыкового сварного соединения

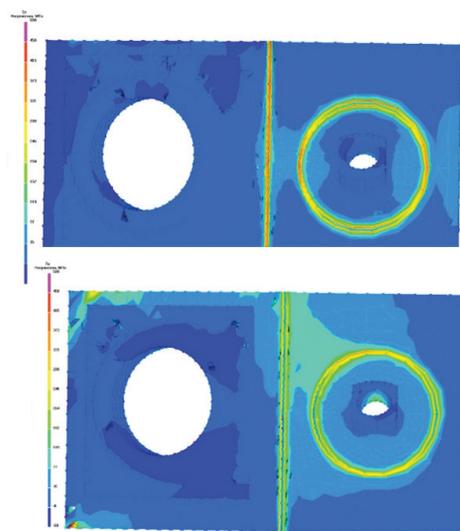


Рис. 3. Уровень ОСН в продольном (сверху) и поперечном (снизу) направлении относительно стыкового сварного соединения после ТО

проводился методом макроваликов. Суть метода заключается в том, что тепловая нагрузка накладывается на сварочный проход целиком одновременно по заданному термоциклу [4].

Результаты расчетов ОСН после проведения сварки двух сварных соединений представлены на рис. 2.

Полученные результаты распределения ОСН после сварки были использованы для проведения моделирования низкотемпературной термической обработки (ТО). В процессе расчетов был подобран оптимальный режим термической обработки, при котором уровень напряжений снижается до безопасного с точки зрения эксплуатации (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение компьютерного моделирования МКЭ позволило обосновать возможность проведения низкотемпературной ТО вместо аустенизации, что исключает появление деформаций изделия. Проведены расчетные обоснования работоспособности изделия. Стоит отметить, что проведение непосредственных

натурных испытаний было исключено из-за габаритов и трудозатратности изготовления образцов. Таким образом, компьютерное моделирование позволило не только заменить проведение дорогостоящих испытаний, но и провести серию расчетов с подбором оптимальных параметров низкотемпературной ТО (температурный режим и время выдержки).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Феклистов С.И. Конечно-элементарное моделирование технологических процессов в машиностроении. М.: Издательство ТОНЧУ, 2010. 488 с.
2. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения. М.: Машиностроение, 1968, 236 с.
3. Гатовский К.М., Кархин В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений. Учебн. пособие. Л.: ЛКИ, 1980, 332 с.
4. Куркин С.А., Ховов В.М., Аксенов Ю.Н. и др. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 464 с.

АНАЛИЗ ПОДАТЛИВОСТИ ТРОЙНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ОИАЭ

А.А. Ильин¹, С.А. Красницкий¹

¹АО «Компания инжиниринга и строительства «ИСТОК». Проектно-изыскательский центр
г. Санкт-Петербург
e-mail: ilaxalex@gmail.com

В настоящей работе представлен конечно-элементный анализ податливости тройниковых соединений трубопроводов в зависимости от геометрических размеров присоединяемых труб. Определены коэффициенты гибкости тройников для случая нагружения сосредоточенной силой, направленной вдоль оси штуцера. Полученные расчетные данные сравнивались с аналитическими и численными результатами для цилиндрических труб. Представлены рекомендации для расчета коэффициентов гибкости методом конечных элементов.

This paper presents a finite-element analysis of the flexibility of the unreinforced fabricated tees with respect to the geometrical parameters of joined pipes. The flexibility factors for tees subjected to the axial force applied to the branch are determined. The obtained results are compared with analytical and numerical solution for cylindrical pipes. The guidelines for the tee flexibility factor calculation within finite-element method are introduced.

ВВЕДЕНИЕ

Используемые в инженерных расчетах стержневые конечно-элементные (КЭ) модели не могут корректно описать локальную податливость стенок, характерную для отводов и тройников. Локальная податливость таких элементов может быть учтена за счет введения коэффициента гибкости, равного отношению локальной податливости оболочечного элемента к податливости прямой трубы с такими же размерами и упругими свойствами. Учет локальной податливости позволяет обоснованно снизить внутренние усилия и напряжения в стержневой конструкции, что оказывает положительное влияние на экономическую составляющую проектирования.

Большинство исследований, представленных в литературе, посвящено действию на тройниковое соединение моментов в плоскости и из плоскости

тройника [1-2]. Целью настоящей работы является конечно-элементное исследование локальной податливости прямоугольного тройникового соединения под действием силы, направленной вдоль оси штуцера.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Коэффициент гибкости тройникового соединения при действии силы может быть определен по формуле [1]:

$$k_A = (w_o^i - w_{beam}^i)ET / F \quad (1),$$

где w_o^i – общий прогиб тройникового соединения, полученный из КЭ решения в оболочечной постановке, мм; w_{beam}^i – прогиб оси трубы, полученный в стержневой КЭ постановке, мм; F – сила, действующая на штуцер, Н; E – модуль упругости материала тройника, МПа; T – толщина стенки корпуса и штуцера, мм.

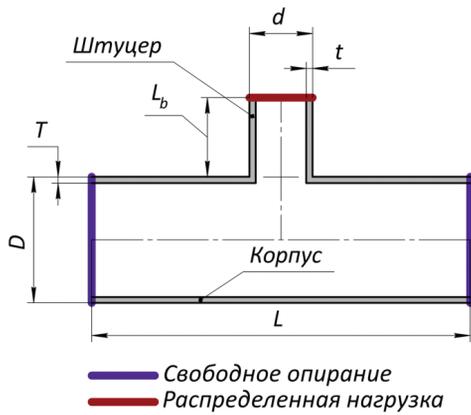


Рис. 1. Расчетная схема тройникового соединения

На рисунке 1 представлена расчетная схема КЭ модели тройникового соединения. Закрепления модели приложены по торцам корпуса тройника и моделируют условия свободного опирания. Нагрузка моделируется посредством силы, приложенной на верхнее сечение штуцера. Расчет проводился для тройников с разными длинами прямых участков труб L , а также диаметров корпуса D и штуцера d . Результаты КЭ моделирования сравнивались с аналитическим решением задачи о максимальном прогибе оболочки, нагруженной сосредоточенной силой, который может быть выражен формулой [1]:

$$w_0^i = \left(\frac{1}{6} \left(\frac{L}{D} \right)^3 + \frac{4}{5} \left[3(1-\nu^2) \right]^{\frac{3}{4}} \left(\frac{D}{2T} \right)^{\frac{3}{4}} \right) \frac{F}{\pi E T} \quad (2).$$

Зависимости коэффициентов гибкости от геометрических размеров, полученные аналитически по формуле (2) и численно для КЭ моделей тройников и КЭ модели оболочки, нагруженной сосредоточенной силой, представлены на рисунке 2. Из рисунка 2 а видно, что для относительно малых штуцеров коэффициент гибкости в интервале $(3-10)D$ изменяется монотонно и в запас расчета может быть определен при помощи формулы (2). В интервале длин $L < 3D$ наблюдается влияние граничных условий КЭ модели, а для длин $L > 10D$ отклонение от результатов для цилиндрической оболочки становится значительным.

Существует некоторое критическое значение длин прямых участков труб $L_{кр} = \rho_{кр} D$, при превышении которого коэффициент гибкости принимает отрицательные значения, и формула (1) становится неприменимой. В случае штуцеров малого диаметра критическая длина прямых участков труб тройникового соединения $\rho_{кр}$ меньше, чем для цилиндрической трубы.

Для штуцеров большего диаметра наблюдается немонотонное поведение коэффициента гибкости в связи с наличием отверстия большого диаметра, оказывающего большое влияние на деформированное состояние цилиндрической оболочки.

Из рисунка 2 б видно, что увеличение толщины стенки присоединяемых труб приводит к уменьшению критической длины. Наличие штуцера при больших толщинах стенки приводит к увеличению локальной податливости, поскольку критические длины для

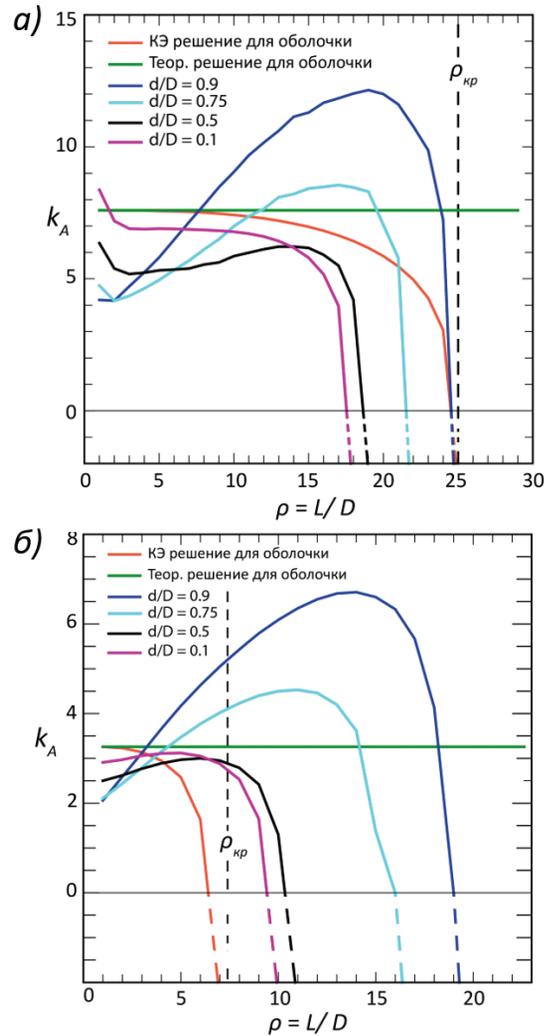


Рис. 2. Зависимость коэффициентов гибкости от длины корпуса и штуцера для тройниковых соединений с отношением а) $D/T = 100$ и б) $D/T = 20$

тройниковых соединений выше, чем для цилиндрической оболочки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен КЭ анализ податливости прямых тройниковых соединений трубопроводов в зависимости от геометрических размеров присоединяемых труб.

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы:

- формула (1) может быть использована для определения коэффициента гибкости тройника, если длина прямых участков корпуса и штуцера не превышает критическое значение $L_{кр}$;

- для тройников с малыми штуцерами и длинами прямых участков в интервале $(3-10) D$ коэффициент гибкости может быть определен в запас расчета по аналитической формуле (2);

- для тройников с большими штуцерами коэффициент гибкости немонотонно зависит от длины прямых участков корпуса и штуцера, что в свою очередь делает затруднительным определение по формуле (1) достоверного значения коэффициента гибкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rodabaugh, E. C., Moore, S. E. Flexibility Factors for Small ($d/D < 1/3$) Branch Connections with External Loadings. // Batt. Col.Labs.– 1977.– 50 p.
2. STP-PT-073: Stress Intensity Factor and K-Factor Alignment for Metallic Pipes // ASME Stand. Tech. – 2014.– 375 p.

3. Даревский В.М. Определение перемещений и напряжений в цилиндрической оболочке при локальных нагрузках // Прочн. и дин. авиац. двигателей. – 1964. – С. 23-83.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

А.Р. Нигаматуллина¹, Е.А. Исаков¹

¹АО «Компания инжиниринга и строительства «ИСТОК». Проектно-изыскательский центр
г. Санкт-Петербург
E-mail: nigamatullinaar@gmail.com, egoricer@mail.ru

В данной статье рассмотрено применение эмпирических формул для определения параметров воздушных волн и представлен пример их применения в программных комплексах при расчете строительных конструкций.

The article discusses the application of empirical formulas for determining the parameters of an air-shock wave and an example of their application in the structural calculation is presented.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с требованиями ГОСТ 27751 несущие и ограждающие конструкции зданий и сооружений должны быть спроектированы с учетом обособленных аварийных расчетных ситуаций, включая взрывные особые воздействия.

При взрыве на здания и сооружения действуют нагрузки, инициированные воздушной ударной волной (ВУВ). В общем случае задача определения нагрузок на строительные конструкции при распространении ударной волны может быть решена численно. Однако такой подход трудоемок в подготовке расчетной схемы и требует осторожности при задании граничных условий.

В связи с этим при решении практических задач основные параметры воздушной ударной волны, такие как избыточное давление во фронте, время действия и импульс волны, распространяемой от центра взрыва по воздуху, часто определяются по многочисленным эмпирическим формулам (Садовского, Науменко-Петровского и др.), дающим средние возможные значения параметров ударных волн.

При использовании формул расчет ведется квазистатическим или динамическим методом. В первом случае расчет ведется на действие эквивалентной нагрузки, равной начальному давлению во фронте, умноженному на коэффициент динамичности. Закон изменения давления от времени, представленный на рисунке 1, как правило, упрощенно принимается линейным. Давление в фазе разрежения не учитывается, т.к. давление во фронте ударной волны в фазе сжатия много больше.

В простейшем случае конструкции приводятся к системе с одной степенью свободы, что равносильно учету только одной, главной формы колебаний с

низшей собственной частотой и наибольшей амплитудой колебаний [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При расчете строительных конструкций на действие ВУВ используются современные вычислительные комплексы. Например, в ПК SCAD можно выполнить расчет на действие распределенной по всей площади конструкции нагрузки, определенной по эмпирическим формулам. В динамической постановке такой подход представляется достаточно трудоемким. В случае решения задачи в квазистатической постановке коэффициент динамичности можно определить по опытным данным в зависимости от собственной частоты системы и параметров ВУВ, или вычислить как отношение максимальных перемещений подобранного осциллятора при статическом расчете к максимальным перемещениям, полученным при динамическом расчете [2]. На рисунке 2 представлен пример приложения нагрузки от воздействия ВУВ на защитную стенку и отображена деформируемая схема.



Рис. 1. Эпюра давления воздушной ударной волны

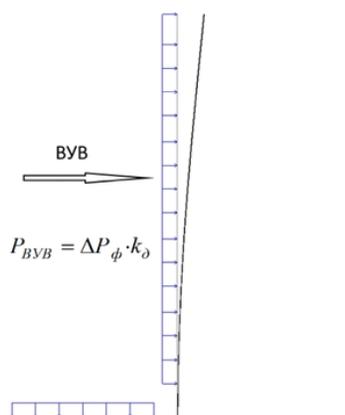


Рис. 2. Схема приложения нагрузки от ВУВ на защитную стенку

Для более точного решения задач на взрыв твердых взрывчатых веществ при сложной геометрии целесообразно использовать подпрограмму CONWEP, встроенную во все «тяжелые» конечно-элементные программные комплексы, такие как ANSYS и Abaqus. Данная подпрограмма представляет собой реализацию эмпирической формулы Кингери-Балмэша (аналогичной формуле Садовского). В основе CONWEP лежит закон изменения давления во времени, представленный ниже [3]:

$$P(t) = \Delta P_{\phi} \left(1 - \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}\right) e^{-\frac{A(t-t_1)}{t_0}}, \quad (1)$$

где A – коэффициент затухания.

В качестве исходных данных для моделирования взрыва задается масса взрывчатого вещества в тротиловом эквиваленте, место расположения источника взрыва и нагружаемая поверхность.

На рисунке 3 представлен пример динамического расчета конструкции на взрыв в замкнутом пространстве в Abaqus.

Ограничения в применении данной подпрограммы состоят в том, что она не учитывает препятствия, рас-

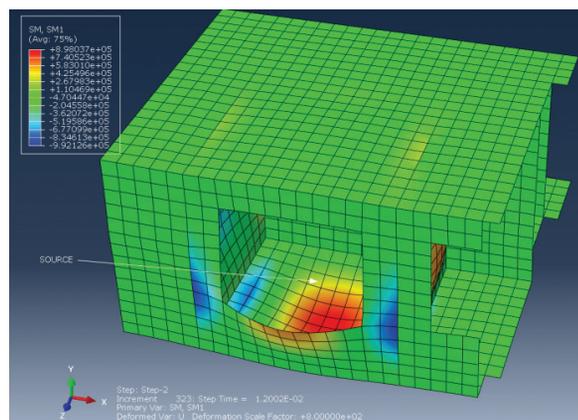


Рис. 3. Пример динамического расчета конструкции на действие ВУВ

положенные на пути распространения ВУВ, и эффекты, связанные с распространением отраженных волн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при расчете на действие воздушной ударной волны используются многочисленные эмпирические формулы, некоторые из которых реализованы в современных программных комплексах, что позволяет получить более достоверные результаты расчета, а также автоматизировать процесс расчета конструкций на взрывы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамин В.М. Расчет защитных сооружений на действии взрывных нагрузок. – М. Стройиздат, 1989. – 72 с.
2. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия / М.Ф. Барштейн, Н.М. Бородачев, Л.Х. Блюмина и др; Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
3. Alan Catovic, Elvedin Kljuno. Comparison of Analytical Models and Review of Numerical Simulation Method for Blast Wave Overpressure Estimation after the Explosion / Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal Vol. 6, No. 1, 748-756 (2021).

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ НАТУРНЫМ ИСПЫТАНИЯМ

А.М. Козляков¹

¹АО «ГСПИ», г. Москва

e-mail: AMKozlyakov@aogspi.ru

В данной статье рассматривается применение современных возможностей информационного моделирования вместо проведения лабораторных исследований строительных конструкций на примере испытания образца железобетонной колонны на внецентренное сжатие. Проводится сравнение результатов натурального испытания колонны и результатов, полученных путем моделирования данного испытания в программном комплексе Ansys 2022.

This article discusses the use of modern information modeling capabilities instead of conducting laboratory studies of building structures using the example of testing a sample of a reinforced concrete column for off-center compression. The results of the full-scale testing of the column and the results obtained by modeling this test in the Ansys 2022 software package are compared.

ВВЕДЕНИЕ

Нередко в процессе работы любой проектной организации возникает необходимость проведения испытаний строительных конструкций. Это дорогое и продолжительное по времени мероприятие зачастую становится необходимым при проектировании сложных объектов, когда традиционные методы расчета не позволяют в полной мере произвести корректный расчет конструкции. Развитие современных информационных технологий позволяет уйти от трудоемких натурных испытаний и воспользоваться информационной моделью.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве исходных данных приняты результаты испытания железобетонной колонны на внецентренное сжатие.

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 37 железобетонных образцов – колонн квадратного сечения размерами 100 × 100 мм, высотой 700 мм, для создания внецентренного сжатия выполнены уширения в опорных частях размером 100 × 200 мм [1].

Продольное армирование элементов принималось по ГОСТ 5781 82, 4 Ø8 A500, $A_s = 2,01 \text{ см}^2$. Поперечное армирование образцов осуществлялось замкнутыми хомутами из стержней класса A240 диаметром 6 мм [1]. Схема армирования, а также габаритные размеры образца представлены на рисунке 1(б).

Схема проведения испытания колонны на внецентренное сжатие представлена на рисунке 2.

Результаты испытания приведены в таблице 1.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Моделирование испытания проводится в программном комплексе Ansys 2022. Геометрия объекта создается с помощью программы SpaceClaim. Модель бетона создается на основании кода, разработанного в [2]. Решение задач выполнялось с помощью метода Ньютона – Рафсона.

Для решения поставленной задачи используется модель Menetrey-Willam.

ВЫВОД

При погрешности менее 10 % при сравнении результатов проведения натурных испытаний и результатов численного расчета в Ansys 2022 можно сделать вывод о достаточности применения информационной модели в качестве альтернативы натурным испытаниям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, Д. С. Силовое сопротивление коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов при динамическом нагружении: дис. канд. тех. наук: 05.23.01/ Попов Дмитрий Сергеевич; науч. рук. А. Г. Тамразян; НИУ МГСУ – Москва, 2020. – 179 с.

2. fib Model Code for Concrete Structures 2010. First Edition. 2013 fib – Published 2013 by Ernst & Sohn GmbH & Co. KG.

Таблица 1. Результаты испытания образцов

Нагрузки	Марка образца	
	K1	K2
Разрушающая статическая нагрузка, кН	43,96	44,79
Прогиб верхнего сечения, мм	4,95	5,63
Прогиб срединного сечения, мм	5,76	6,55
Перемещение цилиндра прессы, мм	6,94	6,78

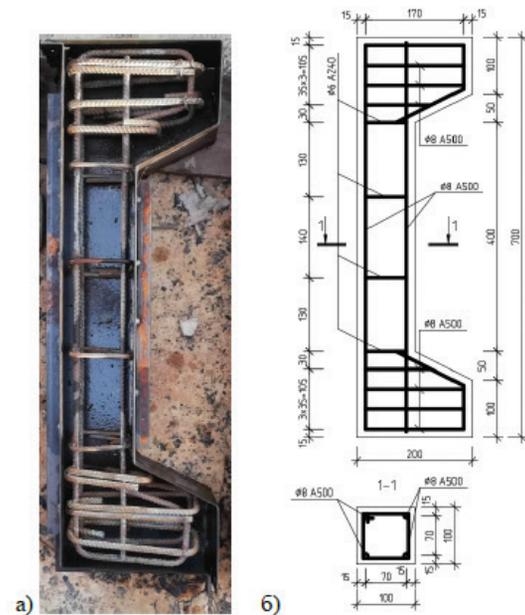


Рис. 1. Образцы железобетонной колонны: а) арматурный каркас в опалубке, б) схема армирования и габаритные размеры образца

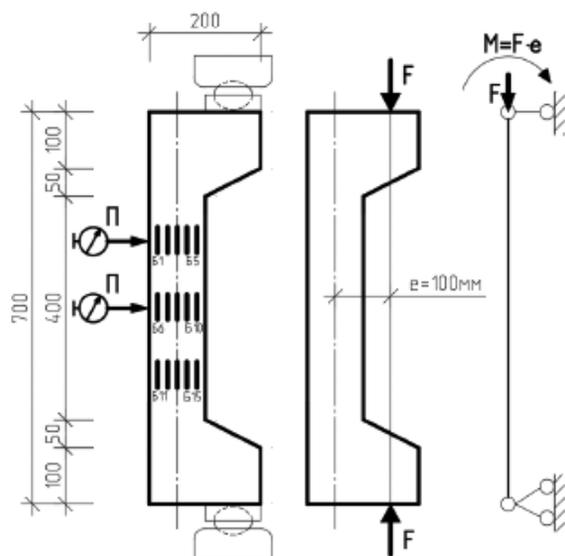


Рис. 2. Схема проведения испытания

3. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: 2012. – 155 с.

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ПРОЧНОСТИ ТОЛСТОСТЕННЫХ КОРПУСОВ НАСОСОВ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

А.Л. Шендель¹, А.С. Коныхова¹

¹АО «ЦКБМ», г. Санкт-Петербург

e-mail: ALShendel@ckbm.ru, ASKonykhova@ckbm.ru

Настоящий доклад посвящен сравнению подходов к обоснованию прочности толстостенных корпусов в переходных режимах на примере разогрева питательного насоса. Первая из рассматриваемых методик – анализ статической прочности для определенных временных точек переходного процесса разогрева, характеризующихся наибольшим градиентом температур в элементах корпуса; вторая – анализ переходного процесса прочности в ходе разогрева. Проводился связанный расчет гидродинамики, теплопроводности и прочности. По результатам сравнительного анализа был сделан вывод о допустимости применения методики анализа статической прочности для определенных временных точек переходного процесса.

This report is devoted to a comparison of approaches to substantiate the strength of thick-walled casings in transient conditions using the example of heating a feed pump. The first of the methods under consideration is the analysis of static strength for certain time points of the transient heating process, characterized by the largest temperature gradient in the casing elements; the second is the analysis of the transient process of strength during heating. A coupled calculation of hydrodynamics, thermal conductivity and strength was carried out. Based on the results of a comparative analysis, a conclusion was made about the admissibility of using the static strength analysis technique for certain time points of the transient process.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений деятельности АО «ЦКБМ» является разработка и изготовление насосного оборудования как для реакторной установки (ГЦНА), так и для машзала. Насосное оборудование – одно из наиболее ответственных в технологическом процессе генерации энергии на АЭС. Обеспечение его надежности, в частности, в переходных режимах (разогрева, расхолаживания) – важная задача предприятия-изготовителя.

Для обоснования прочности в переходных режимах на предприятии традиционно, по причине меньшего потребления расчетных ресурсов, использовался следующий подход: с помощью переходного теплового анализа определялись моменты времени, в которых градиенты температур в элементах корпуса были максимальны [1], затем поля температур в эти моменты времени импортировались в статический прочностной расчет, по результатам которого анализировалась прочность корпуса в исследуемом режиме.

В настоящий момент возникла необходимость в анализе точности данной расчетной методики. Для этого было проведено сравнительное исследование результатов «классического» подхода, использующего статическую прочность, и «подробного» подхода, в котором прочностной расчет, так же как и тепловой, проводился как нестационарный.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследование проводилось на примере разогрева корпуса бустерного насоса из состава главного питательного насосного агрегата. Корпус представляет собой толстостенную литую улитку (рис. 1).

Моделировался процесс разогрева корпуса с начальной температуры 20 °С за время 1800 с потоком теплоносителя с температурой 165 °С.

Теплогидравлическая часть процесса разогрева моделировалась с использованием AnsysCFX + Ansys-Mechanical (TransientThermal). Учитывался теплообмен также с окружающим воздухом машзала и водой промежуточного контура в тепловых барьерах насоса.

Температурное поле в конце процесса разогрева имеет следующий вид (рис. 2).

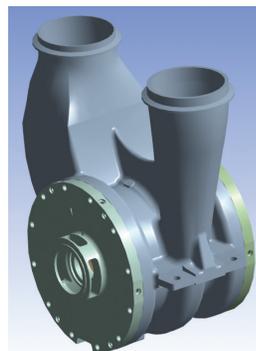


Рис. 1. Корпус питательного насоса

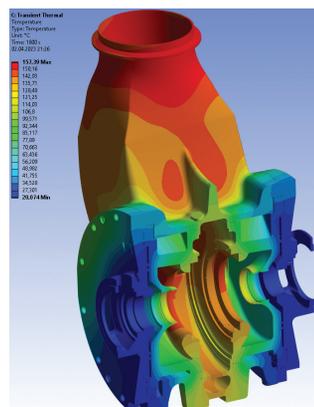


Рис. 2. Температурное поле корпуса насоса в конце процесса разогрева

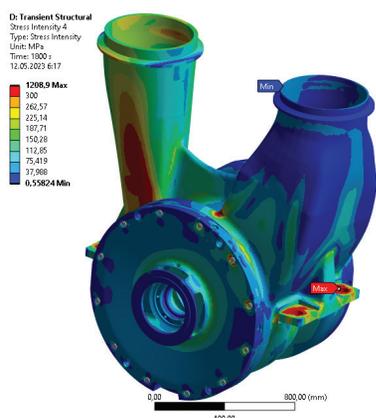


Рис. 3. Интенсивность напряжений в конце процесса разогрева

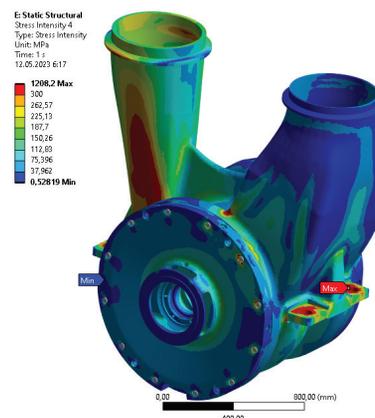


Рис. 5. Интенсивность напряжений в конце процесса разогрева (стационарный расчет)

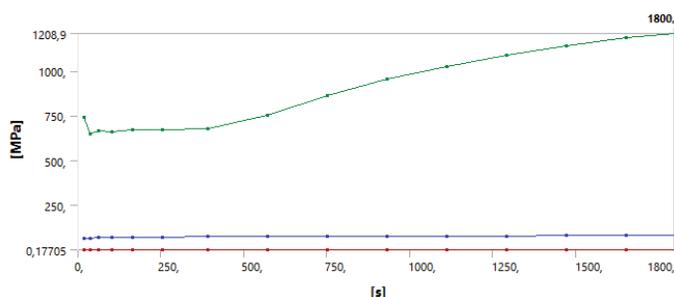


Рис. 4. График изменения максимальных, средних и минимальных значений интенсивности напряжений

Прочность насоса рассматривалась в двух модулях AnsysMechanical (TransientStructural и StaticStructural). В первом случае моделировался нестационарный процесс теплового расширения и определялось напряженно-деформированное состояние во всех временных точках процесса разогрева улитки. Конечное поле интенсивности напряжений изображено на рисунке 3.

Из графиков (рис. 2-4) понятен общий характер изменения напряжений в корпусе, а именно – макси-

мальные значения напряжений достигаются в конечный момент разогрева, что соответствует наибольшему значению градиента температурного поля за время разогрева.

Для сравнения, на рис. 5 представлено поле интенсивности напряжений для стационарного расчета для конечной точки разогрева (1800 с). Понятно, что данное поле с небольшими погрешностями соответствует полю, изображенному на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение методик показало корректность и точность изначального подхода, а именно – стационарный прочностной расчет определенных временных точек теплового поля, что при меньших требуемых вычислительных ресурсах делает его по-прежнему наиболее приемлемым для обоснования прочности корпусов в переменных режимах заданной конфигурации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писаренко Г.С., Яковлев А.П. и др. Справочник по сопротивлению материалов. К., Наукова думка, 1975 г. – С. 736.

О РАЦИОНАЛЬНОЙ РАССТАНОВКЕ ОПОР В ПЛОСКОМ ПРОСТОМ ТРУБОПРОВОДЕ

С.А. Красницкий¹, Т.Р. Кольцова²

¹АО «Компания инжиниринга и строительства «ИСТОК». Проектно-изыскательский центр, г. Санкт-Петербург

²СПб филиал АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург
e-mail: krasnitsky@inbox.ru, trkolcova@atomproekt.com

В данной работе рассматривается влияние расположения промежуточных опор на самокомпенсацию плоского простого трубопровода. Методом сил получены аналитические выражения реакций опор для трубопроводов L- и S-образной конфигураций. Полученные зависимости использованы для определения рациональной позиции промежуточной опоры, соответствующей минимуму реактивных усилий. На основе полученных результатов сделаны практические рекомендации по расстановке промежуточных опор в трубопроводах с целью уменьшения нагрузок на технологическое оборудование.

The piping-flexibility analysis of plane pipelines involving the consideration of the position of the intermediate restraint is suggested. The analytical expressions of reactions are obtained within the Castigliano's theorem for L-shaped and S-shaped pipeline configurations as the most common. These expressions are employed to determine the optimal

position of the intermediate restraint with respect to the local minimum of reactions. The obtained results are applied to formulate the practical guidelines concerning the intermediate restraint layouts to absorb the piping reactions on technological equipment.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач обоснования прочности технологических трубопроводов (ТТ) объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) является подтверждение их компенсирующей способности при заданном температурном режиме эксплуатации [1]. Данная задача может быть решена численно с помощью специализированных программных средств (например, [2]) или аналитически. Последний подход, в частности, позволяет получать точные выражения для реакций в опорах и напряжений в элементах ТТ относительно простой геометрии. Полученные ранее таким способом аналитические выражения реакций [3] позволили выполнить сравнительный анализ различных плоских простых конфигураций ТТ без промежуточных направляющих опор (ОПН), входе которого были сформулированы инженерные рекомендации по выбору трассы ТТ.

В данной работе обобщена модель [3] для случая ТТ с одной ОПН с целью определения ее рационального положения, позволяющего снизить нагрузки на технологическое оборудование и тем самым обеспечить его надежную работу на длительный срок.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В работе реакции опор ТТ, вызываемые температурными воздействиями, определены аналитически методом сил [4] и представлены в безразмерной форме:

$$F_{i,P} = |F_{i,P}^{(1)}| / |F_{i,P}^{(0)}|, \tag{1}$$

$$M_{i,P} = |M_{i,P}^{(1)}| / |M_{i,P}^{(0)}|, \tag{2}$$

где, $F_{i,P}^{(1)}$, $F_{i,P}^{(0)}$ и $M_{i,P}^{(1)}$, $M_{i,P}^{(0)}$ – реактивные силы и моменты в опоре, расположенной в некоторой точке P ТТ с ОПН и без нее соответственно ($i = x, y$). Нормированные реакции в (1) и (2) являются функциями геометрических параметров ТТ и показывают, во сколько

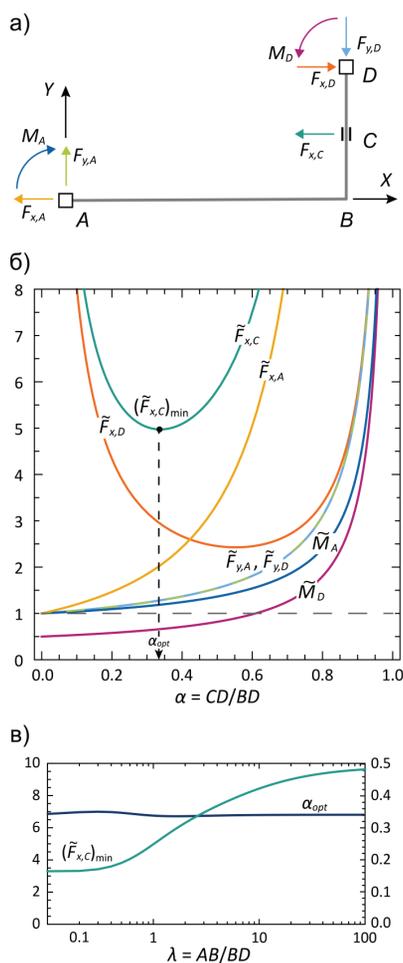


Рис. 1. L-образная конфигурация трубопровода с одной направляющей опорой: а) расчетная схема; б) зависимости нормированных реакций от безразмерного положения опоры α при $\lambda = 1,0$; в) зависимости оптимального положения опоры α_{opt} (справа) и нормированной реакции опоры $(F_{x,C})_{min}$ (слева) от параметра λ

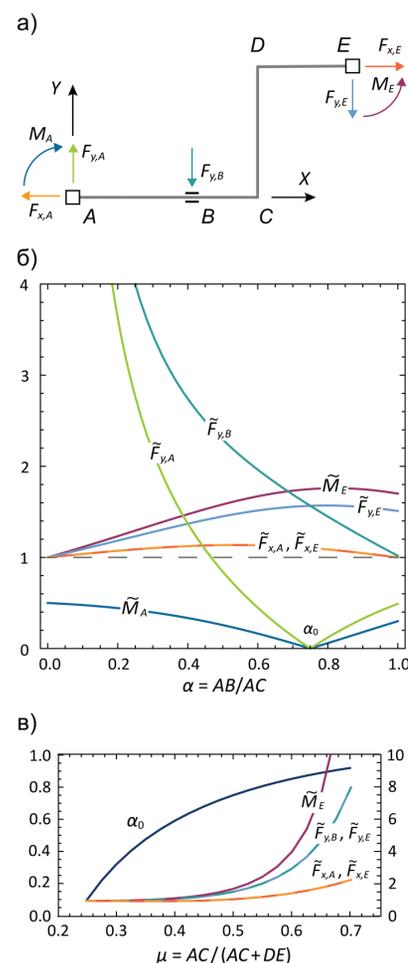


Рис. 2. S-образная конфигурация трубопровода с одной направляющей опорой: а) расчетная схема; б) зависимости нормированных реакций от безразмерного положения опоры α при $\lambda = 1,0$ и $\mu = 0,5$; в) зависимости положения опоры α_0 (слева) и нормированных реакций от параметра μ

раз нагрузки в опорах ТТ с ОПН больше, чем нагрузки в аналогичном ТТ без ОПН. Все это делает особенно удобным анализ наиболее рационального положения ОПН.

Сначала рассмотрим L-образную конфигурацию трубопровода (L-КТ) $A-B-D$ с одной ОПН в точке C (рис. 1а). Геометрия системы определяется параметрами: $\lambda = AB/BD$ и $\alpha = CD/BD$. На рисунке 2а представлены зависимости нормированных реакций опор от положения ОПН α в ТТ с $\lambda = 1,0$. Установка ОПН сильно влияет на реакции в анкерах – изгибающие моменты (ИЗМ) и продольные силы (ПРС) в анкерах возрастают при увеличении параметра α . Кроме того, видно, что существует такое положение ОПН α_{opt} , при котором достигается наименьшее значение перерезывающей силы (ПРС) в ОПН, при этом ИЗМ в анкере D будет меньше, чем в ТТ без ОПН. На рисунке 1в показано, что α_{opt} практически не зависит от параметра λ и может быть оценено $\sim 0,34$. Наименьшему приращению ПРС ($\sim 70\%$) соответствуют относительно малые значения параметра λ .

Перейдем к рассмотрению S-образной конфигурации ТТ (S-КТ) $A-C-D-E$ с одной ОПН (рис. 2а). Геометрия ТТ определяется параметрами $\lambda = CD/(AC + DE)$, $\mu = AC/(AC + DE)$ и $\alpha = AB/AC$. На рисунке 2б представлены зависимости реакций в опорах от положения ОПН α в ТТ с $\lambda = 1,0$ и $\mu = 0,5$. Из рисунка 2б видно, что существует положение опоры α_0 , при котором ИЗМ и ПРС обращаются в ноль. Величина α_0 возрастает с увеличением параметра μ (рис. 2в). Кроме того, из рисунка 2в видно, что установка опоры в α_0 эффективна в интервале $0,25 < \mu < 0,55$, когда приращение других реакций незначительно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен анализ положения ОПН в ТТ под действием температурных воздействий. По результатам работы сформулированы следующие практические рекомендации:

– установка ОПН на участке L-КТ может привести к уменьшению ИЗМ в смежном анкере ($\sim 30\%$), при этом остальные реакции увеличатся. Наименьшее значение реакции ОПН достигается в точке, делящей прямой участок трубопровода в отношении 1:2, считая от анкера;

– установка ОПН на участке S-КТ (при $\lambda = 1,0$) может привести к снижению ИЗМ и ПРС в смежном анкере, при этом остальные реакции увеличатся. Нулевые значения ИЗМ и ПРС соответствуют положению опоры α_0 , зависящему от параметра μ . В частности, наименьшее приращение других реакций достигается в трубопроводах с относительно коротким участком у анкера при $0,25 < \mu < 0,55$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peng L.C., Peng T.L. Pipe stress engineering. New York: ASME Press, 2009. 506 p.
2. ПК d PIPE. Расчетный анализ прочности трубопроводов: [сайт]. ООО «ЦКТИ-Вибросейм». 2008-2022. URL: <https://www.dpipe.ru/ru/> (дата обращения: 30.05.2023).
3. Красницкий С.А. О рациональной трассировке трубопроводов. Сборник тезисов IX научно-практической конференции молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Команда», 2021 г. с. 177-179.
4. Рудомино Б.В., Ремжин Ю.Н. Проектирование трубопроводов тепловых электростанций. Л., Энергия, 1970 г. 208 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАПОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ИТЭР МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.М. Кудрявцева¹, А.Н. Лабусов¹, П.Ю. Пискарев¹

¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

e-mail: am.kudr95@gmail.com, labusov@sintez.niiefa.spb.su, piskarev@sintez.niiefa.spb.su

Работа посвящена моделированию напряженно-деформированного состояния макетов панелей первой стенки ИТЭР в процессе лазерной сварки биметаллической крышки с основанием и последующей термостабилизации. Сопоставление результатов расчетов и опытных измерений подтверждает достоверность разработанной модели.

The article is devoted to stress analysis of ITER first wall panels mock-ups during laser welding of a bimetallic cover and a steel base and subsequent thermal stabilization. Comparison of the analysis results and experimental measurements confirms the reliability of the developed model.

ВВЕДЕНИЕ

Вакуумная камера термоядерного реактора-токамака ИТЭР облицована со стороны плазмы защитными бланкетами и диверторными кассетами, которые являются одними из наиболее нагруженных и технически сложных элементов ИТЭРа, так как они непосредственно обращены к плазме (рис. 1). Защитные бланкеты состоят из двух основных ком-

понентов: обращенных к плазме панелей первой стенки (ППС) и защитных модулей. Панели первой стенки состоят из обращенных к плазме элементов, называемых «пальцами». Изготовление пальцев ППС включает, в том числе, лазерную сварку биметаллической крышки и стального основания и последующую термостабилизацию. Все этапы технологии изготовления пальцев ППС требуют пред-

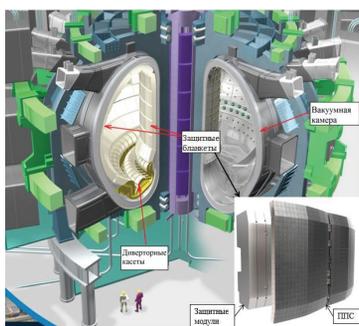


Рис. 1. Общий вид установки ИТЭР в разрезе, защитные бланкеты

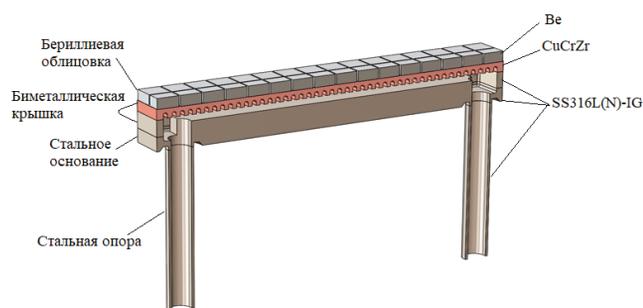


Рис. 2. Общий вид макета пальца ППС в разрезе

варительных исследований на макетах упрощенной конфигурации (рис. 2).

Целью данной работы является моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) макетов ППС в процессе лазерной сварки биметаллической крышки с основанием и последующей термостабилизации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Лазерная сварка. Для выполнения корректного расчета НДС макета в процессе термостабилизации необходимо учесть остаточные напряжения, наследованные на предыдущем этапе технологического процесса – лазерной сварки. Для этого необходимо выполнить тепловой и механический расчеты макета в процессе лазерной сварки. На данном моделируемом этапе производства стальная опора и элементы облицовки отсутствуют (рис. 2), поэтому не учитываются в расчете. Материалы макетов: нержавеющая сталь 316L(N)-IG и хромоциркониевая бронза CuCrZr [1]. Все расчеты были выполнены методом конечных элементов в программе AnsysWorkBench с учетом упругопластических свойств стали и бронзы. С учетом симметрии в расчете была рассмотрена 1/2 часть макета.

При выполнении теплового и механического расчета макета был использован приближенный метод моделирования лазерной сварки, заключающийся в следующем [2]:

- в тепловом расчете нагрузкой является последовательный точечный прогрев металла в области каждого сварного шва до температуры плавления с учетом времени между каждым швом для изменения положения макета в оснастке;

- нагрузками в механическом расчете является тепловое поле, полученное в результате теплового расчета лазерной сварки. После лазерной сварки макетов происходит их геометрическая поводка – изгиб вдоль длинной стороны вследствие укорачивающих остаточных напряжений в области швов. Для учета данного изгиба в расчете вдоль продольных сварных швов прикладывалась сила величиной, обеспечивающей такой же изгиб, как на сваренных макетах:

- продольными укорачивающими напряжениями, возникающими в сварных швах поперек макета, можно пренебречь из-за сравнительно малой длины указанных швов.

Термостабилизация выполняется в вакуумной печи, чтобы не допустить окисления бронзовой поверхности, и предполагает подъем температуры печи до ~425 °С, выдержку при постоянной температуре печи и последующее ускоренное охлаждение исследуемых макетов до температуры 40–60 °С. Температурные распределения в макете были предоставлены в качестве исходных данных.

Для учета последовательности технологических процессов «лазерная сварка – термостабилизация» был выполнен механический расчет, первыми шагами которого являлись лазерная сварка, а последующими – термостабилизация. Таким образом, к расчету НДС макета в процессе лазерной сварки были добавлены расчетные шаги, соответствующие термостабилизации, без изменения конечно-элементной модели и граничных условий. Нагрузками на каждом расчетном шаге, моделирующем термостабилизацию макета ППС, являются тепловые поля.

По результатам механического расчета лазерной сварки и последующей термостабилизации были определены перемещения макета, которые возникают после охлаждения макета до комнатной температуры.

В результате измерений геометрических поволодок на 4 опытных образцах была получена средняя величина изгиба вдоль длинной стороны. Результаты показывают соответствие расчетных и опытных измерений в пределах точности измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнено исследование основных шагов технологического процесса изготовления макетов ППС реактора-токамака ИТЭР: лазерной сварки биметаллической крышки и стального основания и последующей термостабилизации. Был выполнен тепловой расчет макета в процессе лазерной сварки с учетом некоторых упрощений. Под действием теплового поля, полученного в расчете, и подогретой силой, действующей вдоль сварного шва, был выполнен расчет НДС макета в процессе лазерной сварки. С учетом полученного НДС был выполнен механический расчет макетов на следующем этапе изготовления – термостабилизации.

Сопоставление расчетных данных и измеренных значений геометрических поволодок макетов панели первой стенки после исследуемых этапов изготовления подтверждает достоверность разработанной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Structural Design Criteria for In-vessel components, 2012
2. А.М. Кудрявцева, А.Н. Лабусов «Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов первой стенки реактора ИТЭР в процессе

лазерной сварки» // Инновационные идеи в машиностроении. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Под редакцией А.А. Поповича, Д.П. Гасюка. Санкт-Петербург, 2022. С. 271-274.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОБМЕНА В СИСТЕМЕ КОНТАКТОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ VR32С НОМИНАЛЬНЫМ ТОКОМ 100А

Э.Б. Кырыджи¹

¹Аккую АЭС, Мерсин (Турция)
e-mail: e.gunay@akkuyu.com

Разработаны непостоянная трехмерная математическая модель процессов слаботочной теплопередачи и контактная система автоматического выключателя. В качестве математической модели были использованы формулы Купера-Микича-Йовановича. Для разработанной математической модели были проведены экспериментальные исследования, для которых проектирование схемы было выполнено в лабораторных условиях, а температурный тест был измерен с помощью специального прибора. Эта математическая модель дает возможность исследовать, как значение температуры будет реагировать на различное значение тока.

A non-permanent three-dimensional mathematical model of low-current heat transfer processes and a contact circuit breaker system have been developed. The Cooper-Mikich-Jovanovich formulas were used as a mathematical model. Experimental studies were carried out for the developed mathematical model. For the experimental study, the design of the circuit was carried out in laboratory conditions, and the temperature test was measured using a special device. This mathematical model gives us the opportunity to investigate how the temperature value will react to a different current value.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматический выключатель – это выключатель, который служит для отключения, отключения и передачи тока в этой цепи при нормальных условиях эксплуатации и автоматического отключения цепи при ненормальных условиях, таких как короткое замыкание и перегрузка по току. Автоматические выключатели являются наиболее часто используемым элементом защиты. Контактный сплав в выключателях определяется с учетом тока сдвига и переноса, а также конструктивных характеристик. В выключателях обычно используются контакты из сплавов серебра, графита, никеля, вольфрама. Контакты выключателя, использованного в исследовании, были изготовлены из никелевого сплава.

Для тепловых расчетов была выбрана формула Купера-Микича-Йовановича (СМУ) [1], которая может быть применена к изотропным шероховатым поверхностям и сформулирована с использовани-

ем модели, показывающей пластическую деформацию шероховатости поверхности [2]. Однако эта модель не вычисляет и не скрывает пластические деформации неровных кромок. Это означает, что, хотя предполагается пластическая деформация шероховатых кромок, этот рисунок контакта не запоминается [3]. Например, если нагрузка приложена дважды, электрический контакт в обоих случаях будет одинаковым.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Формула Купера-Микича-Йовановича (СМУ) коррелирует НС с неровностями контактной границы и нагрузкой под давлением [4]:

$$nJ_1 = h_c(V_1 - V_2) \tag{1}$$

$$nJ_2 = h_c(V_2 - V_1) \tag{2}$$

$$h_c = 1.25\sigma_{contact} \frac{m_{asp}}{\sigma_{asp}} \left(\frac{p}{H_c}\right)^{0.95} \tag{3}$$

Здесь Нс – микротвердость более мягкого материала, σ – контактное давление, а σ_{contact} – среднее гармоническое значение проводимости контактирующей поверхности [5]:

$$\sigma_{contact} = \frac{2\sigma_u\sigma_d}{\sigma_u + \sigma_d} \tag{4}$$

Интерфейс механики твердого тела основан на решении уравнений движения в сочетании с конструкционной моделью для твердого материала.

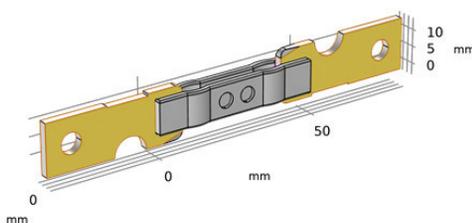


Рис. 1. Геометрия соединения сплошной механической контактной системы

Рассчитываются такие результаты, как смещения и напряжения [6]:

$$0 = \nabla \cdot (Fs)^T + F_v, \quad F = I + \nabla u \quad (5)$$

Материалом по умолчанию является линейный эластичный материал. С помощью модуля нелинейных конструкционных материалов или модуля геомеханики физический интерфейс расширяется за счет большего количества материалов, например моделей материалов для пластичности, гиперупругости, ползучести бетона [4]:

$$S = S_0 + S_{ext} + S_q \quad (6)$$

$$\epsilon = \frac{1}{2} [(\nabla_U)^T + \nabla_U + (\nabla_U)^T \nabla_U] \quad (7)$$

$$C = C(E, \nu) \quad (8)$$

В соответствии с формулами была разработана геометрическая система. На рисунке 1 участки контактной системы, окрашенные в желтый цвет, были определены как никель, а средняя часть – как медь.

На рисунке 2 показано моделирование значений тепловыделения в течение 1800 сек. при 40 А, что является экспериментальным рабочим током.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты тестирования были сопоставлены с программой Comsolmultiphysics. Было замечено, что температура повышалась в зависимости от тока при разных его значениях. Аналогичное увеличение значения температуры по отношению к току наблюдалось как при экспериментальном исследовании, так и при компьютерном моделировании. Экспериментальная работа и результаты моделирования подтвердили друг друга. Эта математическая модель дает нам возможность исследовать, как значение температуры будет реагировать на различное значение тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beck, A. E., An improved method of computing the thermal conductivity of fluid-filled sedimentary rocks. Geophysics, 1976.
2. Cermák, V., and Rybach, L., The thermal conductivity and specific heat of minerals and rocks. In: Angenheister, G. (ed.), Landolt and Börnstein V/I: Physical properties of

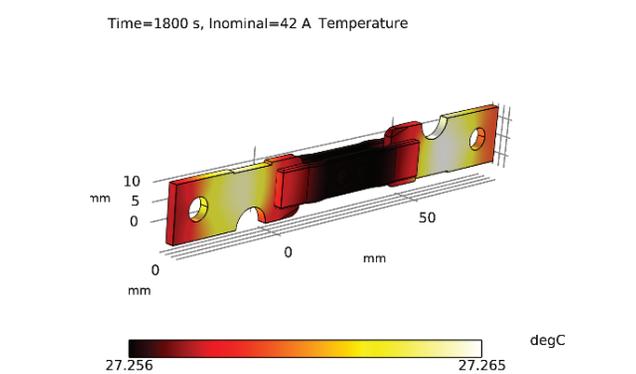


Рис. 2. Тепловые поля через 1800 сек., когда номинальный ток выбран равным 40 А

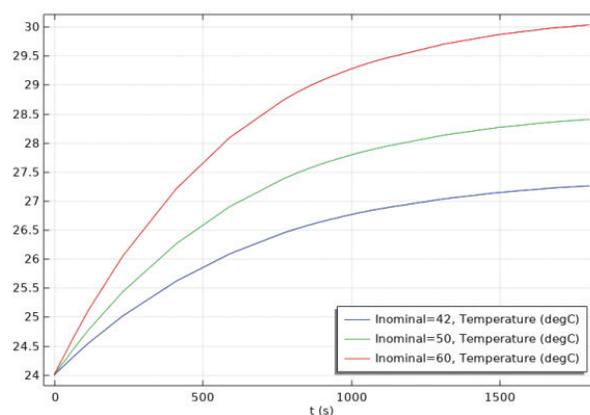


Рис. 3. Результирующая изменчивость значений температуры по сравнению с увеличением значений тока

rocks. SpringerVerlag, Heidelberg-Berlin-NY, 1982.

3. Kvashnin, A., Murashov, I., Frolov, V. Experimental investigation of interrupting capacity of low voltage circuit breaker Journal of Physics: Conference Series, 1753 (1), статья № 012020, 2021.

4. Faraji A., Elastic and Elastoplastic Contact Analysis using Boundary Elements and Mathematical Programming, Topics in Engineering, vol. 45, WIT Press UK 2005.

5. Murashov, I., Frolov, V., Kvashnin, A., Valenta, J., Simek, D., Dostal, L., Kloc, P. Investigation and numerical simulation of a high current AC circuit breaker 2019.

6. Mikic B B and Rohsenow W M Technical report no. 4542-41 130, 1966.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

К.М. Лебедева¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург
e-mail: KMLebedeva@atomproekt.com

В работе исследуется влияние промышленных частот на металлические и железобетонные конструкции на примере зала турбоагрегата. Рассматриваются электрохимические и тепловые нагрузки на конструкцию.

The paper investigates the influence of industrial frequencies on metal and reinforced concrete structures, using the example of the design of a turbine unit hall. Electrochemical and thermal loads on the structural are considered.

ВВЕДЕНИЕ

Современное проектирование использует железобетон в качестве основного композитного материала. При строительстве он имеет ряд преимуществ, таких как устойчивость конструкций к сейсмическим нагрузкам, прочность, огнестойкость и жесткость. Бетон воспринимает только сжимающие усилия, а нагрузки от растяжения и сжатия приходятся на арматуру. Существенным недостатком материала является коррозия. Арматура имеет контакт с влагой при несоблюдении должных условий хранения или через поры бетона, что вызывает неблагоприятные для конструкции химические реакции. В результате чего снижается несущая способность металла. Также происходит увеличение объема арматуры в результате образования коррозии, что приводит к появлению трещин в защитном слое бетона.

Перекрестное армирование в железобетонной конструкции создает импровизированную антенну, которая может образовывать круговые токи в прилегающей к ней среде — бетоне. Следовательно, данные круговые токи будут воздействовать на структуру цементной смеси. В изотропном диэлектрическом пространстве токи смещения не имеют связи с элементами строения среды и ведут себя подобно электромагнитному полю с отсутствием переноса вещества. Чтобы привести в движение вещества бетона как материального потока частиц, необходимо внешнее поле чрезвычайно высокой напряженности, которое оказало бы свое негативное влияние и на живые существа. Поле такой напряженности, вероятно, вызывало бы и непосредственную ионизацию металла арматуры, срывая ионы с фиксированных положений в решетке. Подобные поля отсутствуют в фоновом поле (подразумеваются под данным понятием линии электропередачи, излучение оборудования и т.д.) города и используются только в узкоспециализированной области исследований.

Грунтовые воды и водяные пары в воздухе, сопровождающие этапы строительства, меняют ситуацию. Это происходит по причине пористости среды бетона, заполнение которой в нормальных условиях происходит капиллярно связанной полярной жидкостью (водой и растворами солей). При отсутствии фонового ЭМП арматура сама по себе не является причиной ускоренного водозаполнения пор. Наличие поля и токов смещения приводит к взаимодействию дипольных и ионных структур (воды и электролитов) с токами и эффекту всасывания паров и жидкой фазы в просвет капилляров. Таким образом, электромагнитное поле является катализатором процесса водонасыщения пористой среды бетона.

Фоновые электромагнитные поля, запустив процесс эрозии металла, продолжают участвовать в процессе только уже как один из факторов взаимодействия.

Следующими факторами взаимодействия, которые нельзя не учитывать, являются температура и магнитное поле, если оно присутствует. Если влияние температурных нагрузок прописано в нормах и стандар-

тах, то влияние магнитного поля — нет. Это явление увеличивает скорость пластических деформаций, но наступает оно после достижения определенной пороговой напряженности электрического и магнитного полей.

В местах, где нет возможности использовать железобетон, в строительстве используются металлические конструкции. Как известно, металл является проводником, поэтому должно происходить отражение электромагнитных волн. Но в реальной среде идеальных проводников не бывает, следовательно, присутствует скин-эффект.

ТЕОРИЯ И АНАЛИЗ

Данные исследования проводились на примере зала турбоагрегата атомной электростанции, который имеет как железобетонные конструкции — фундамент, стены и колонны, — так и металлические — кровлю. В зале находится синхронный четырехполюсной генератор на 1200 МВт (количество оборотов — 1500 об/мин) с промышленной частотой 50 Гц. В идеальном синхронном генераторе конструкция должна быть такой, чтобы поля, образуемые статором и ротором, не выходили за пределы корпуса. В реальности потери в генераторе имеют место быть, а следовательно, магнитное поле на торце турбогенератора есть, как описано в статье [3], но оно не столь велико, чтобы иметь сильное влияние на конструкцию. Данные поля могут быть катализаторами для реакций, проходящих в железобетонной конструкции.

Распространение ЭМП описываются уравнениями Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{D} &= \rho, \\ \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{j}, \\ \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0. \end{aligned}$$

Предполагая, что электромагнитные волны (ЭМВ) гармонические, материальные уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \varepsilon_r \varepsilon_0 \mathbf{E} = \varepsilon \mathbf{E}, \varepsilon = \operatorname{const}, \\ \mathbf{B} &= \mu_r \mu_0 \mathbf{H} = \mu \mathbf{H}, \mu = \operatorname{const}, \\ \mathbf{j} &= \sigma \mathbf{E}, \sigma = \operatorname{const}. \end{aligned}$$

Величины ε и μ рассматриваем действительными и зависящими от частоты ω . Производная по времени заменяется на $-i\omega$, для того чтобы преобразовать уравнения Максвелла и свести к уравнениям Гельмгольца, рассматривающих дифракцию электромагнитных волн. Для проводящей среды уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} &= 0, \\ k^2 &= \omega^2 \mu \varepsilon + i\omega \mu \sigma. \end{aligned}$$

С повышением проводимости среды увеличивается концентрация свободных электронов в металле, преимущественно в поверхностном слое. Следова-

тельно, амплитуда ЭМВ уменьшается по мере проникновения вглубь проводящей среды в e раз. Данное явление имеет название «скин-эффект». А слой погружения ЭМВ называется «скин-слой». Результатом проявления эффекта будет нагрев только поверхности металла на глубину скин-слоя.

При рассмотрении конструкции зала турбоагрегата ферменные металлоконструкции, используемые для кровли, выполняются из стали. При промышленной частоте 50 Гц глубина скин-слоя стали будет составлять $\approx 0,7$ мм с коэффициентом затухания

$$\alpha = \sqrt{\pi \nu \mu_0 \sigma}.$$

Температура нагрева поверхности металлоконструкции составляет не более 1°C .

Другая рассматриваемая задача, когда между проводящей поверхностью и источником есть диэлектрик. Тогда тепловая нагрузка будет рассматриваться на контакте двух сред. Так как тепло выделяется только на проводнике, то среда диэлектрика будет нагреваться из-за контакта. Для простоты рассматриваются условия для сопряжения на контакте двух сред и начальные условия в начальный момент времени:

$$\begin{aligned} u_{It} - a_I^2 u_{Izz} &= 0, \\ u_{IIt} - a_{II}^2 u_{IIzz} &= f(z, t), \\ u_I(z, 0) = u_{II}(z, 0) &= u_0 = \text{const}. \end{aligned}$$

В статье [2] представлены более подробные расчеты для двух типов зависимостей «проводящая среда – диэлектрик». Также в статье [1] представлены

исследования «запуска» фоновым электромагнитным полем электрохимического процесса. Эта работа явно показывает, что использование хорошей гидроизоляции уменьшает риски с ускорением разрушения конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассматривалось влияние электромагнитных полей промышленных частот на железобетонные и металлические конструкции. Было выявлено, что тепловые нагрузки на металлоконструкции незначительны. Эти явления требуют множества исследований и анализов, которые на данном этапе не могут быть проведены из-за недостатка теоретических и экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов В.В., Имангулова М.Ф. «Фоновое электромагнитное поле мегаполиса как фактор коррозионного разрушения железобетона» // Сборник III международной научно-технической конференции. – 2006 г.
2. Глазунов П.С., Вдовин В.А., Слепков А.И. «Термические эффекты воздействия электромагнитного излучения на проводящие частицы, интегрированные в диэлектрическую среду» // Журнал радиоэлектроники, №7 – 2016 г.
3. Милых В.И., Высочин А.И. Принципы расчета магнитного поля в торцевой зоне турбогенератора в различных режимах его работы // Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» – 2010 г. – 6 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАЙНИХ ЧАСТИЧНЫХ РЕЖИМОВ ГАЗОВЫХ ТУРБИН ПРИ ПОМОЩИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТУРБИНЫ «ЭТ4»

В.А. Черников¹, Е.Ю. Семакина¹, Н.И. Фокин², А.Г. Михолитсис¹

¹Институт Энергетики, ВШЭМ, СПбПУ им. «Петра Великого», г. Санкт Петербург,

²АО «Силловые Машины», г. Санкт Петербург

e-mail: Chernikov_va@spbstu.ru, g.semakinalena@gmail.com, mail@power-m.ru, a_micholitsis@yahoo.gr

Данная работа посвящена модификации экспериментальной турбины ЭТ4 Лаборатории турбиностроения им. И.И. Кириллова СПбПУ, для исследования крайних частичных режимов силовой газовой турбины 65 МВт для достижения угла выхода потока 4-й ступени 20° в вентиляционном режиме для ГТУ и ПГУ.

This article is devoted to modification of the experimental turbine ET4, of the Turbine Engineering Laboratory named after I.I. Kirillov, SPbPU, to study extreme partial modes of gas turbine 65MW operation so that $\alpha_{2_4\text{th stage}} = 20^\circ$ (ventilation mode) in cases of GTU or CCGT.

ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-экспериментальные исследования аэродинамики системы «Ступень – Диффузор» («С–Д») в широком диапазоне режимов нагрузки проведены на стенде ЭТ4 Лаборатории турбиностроения СПбПУ, т. к. ЭТ4 построена как масштабированная версия силовой газовой турбины 65 МВт. Полученные результаты показали адекватность осесимметричной численной модели вплоть до режимов, характеризующихся

углом выхода потока из последней ступени $\alpha_{2\text{cp}} = 60^\circ$. Дальнейшее снижение нагрузки приводит к значительным расхождениям расчета и эксперимента, как по интегральным характеристикам, так и по структуре потока во всех контрольных сечениях за исключением входа в диффузор. Следовательно, численное моделирование потока на частичных режимах с использованием инженерных осесимметричных расчетных моделей системы «С–Д» дает только приближенную

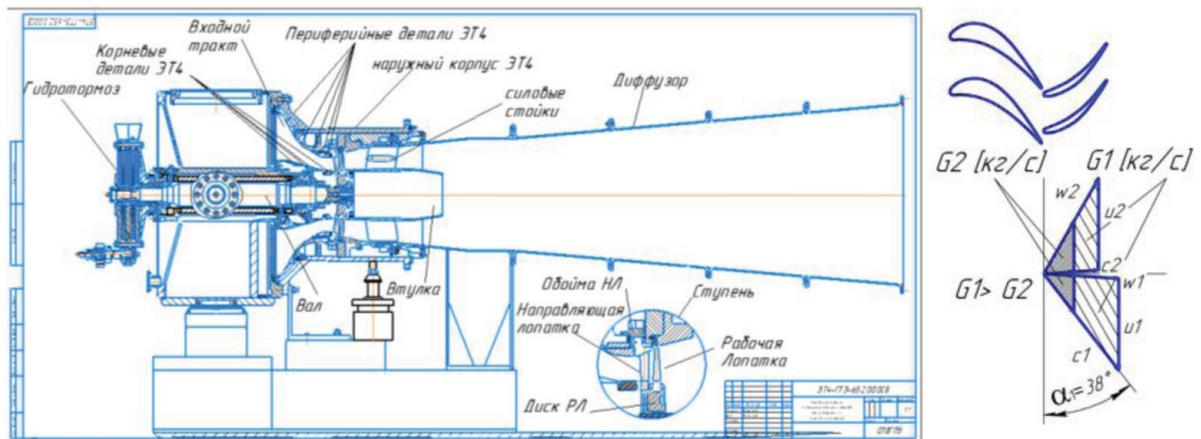


Рис. 1. Продольный разрез стенда ЭТ4 с модельной системой «С – Д»

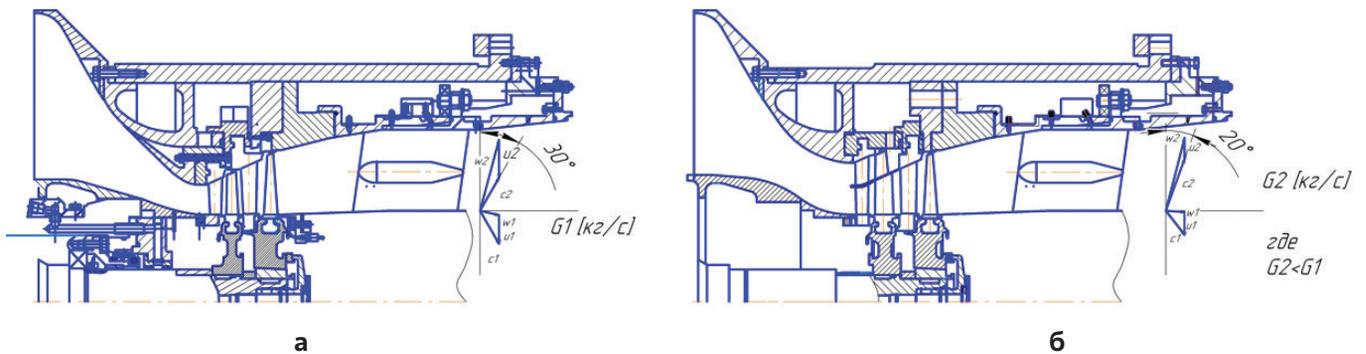


Рис. 2. Модели отсека «С–Д»: а) ЭТ4 двухступенчатая б) ЭТ4 двухступенчатая, двухъярусная

картину течения в силу его срывного характера. Таким образом, единственно надежным инструментом для этих исследований является аэродинамический эксперимент.

Актуальность. Аэродинамические исследования трактов ГТУ, как правило, посвящены изучению характеристик на номинальных режимах, т. к. на них установка работает основное время. Однако на частичных режимах (в особенности на режиме холостого хода ГТУ) существует опасность возникновения повышенных динамических нагрузок на лопатки последней ступени турбины и поверхности кольцевого диффузора. Эти нагрузки возникают в силу срывного характера течения в последней ступени и в выходном тракте. Даже при сравнительно малых длительностях работы близость частот пульсаций давления [1] к собственной частоте обечаек кольцевого диффузора может привести к резонансу и разрушению конструкции.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель исследования. Приблизительная оценка величины α_{2cp} для режима холостого хода ГТУ, полученная численной симуляцией потока в отсеке с полным набором ступеней, дает результат $\alpha_{2срх\text{ГТУ}} = 20^\circ$. Моделирование потока в системе «С–Д» позволяет выйти только на режим холостого хода IV ступени, характеризуемый углом $\alpha_{2срIV} = \alpha_{1срIV} = 36^\circ$. Поэтому цель работы – проектирование модельной системы для исследования аэродинамики выходного тракта турбины на режиме холостого хода ГТУ с помощью модельного эксперимента на стенде ЭТ4 [2].

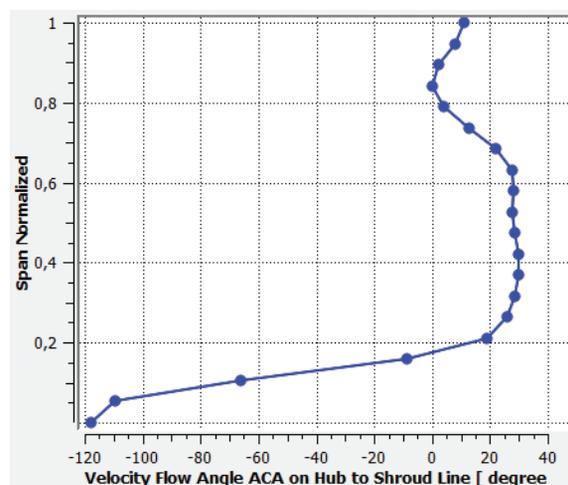
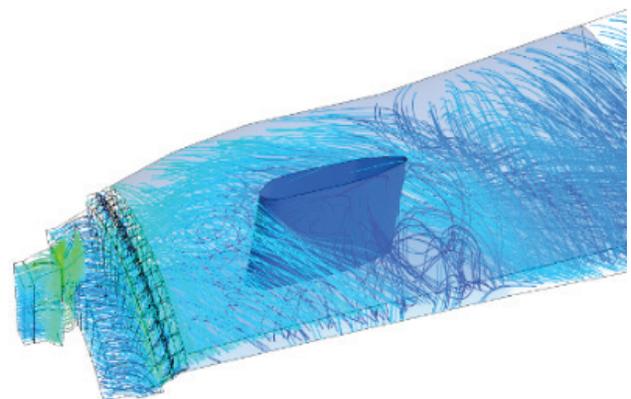


Рис. 3. Поток в диффузоре и углы выхода из РК IV ступени системы «С–Д»

Продольный разрез стенда ЭТ4 с модельной системой «С–Д» представлен на рисунке 1. Объектом исследования является модель выходного диффузора в составе модельного отсека, в котором последняя ступень обеспечивает граничные условия на входе в диффузор, соответствующие режиму холостого хода ГТУ.

Для дальнейшего уменьшения угла α_{2cpIV} требуется подвод дополнительной энергии к IV ступени, т. к. на режиме холостого хода ГТУ в прикорневых областях последней ступени формируются обратные течения. Таким образом, модификация модельного отсека заключается в перепрофилировании подводящего тракта и дополнении отсека моделью III ступени. Вариант модели отсека «С–С–Д» представлен на рисунке 2а. Численное моделирование потока в системе «С–С–Д» показало, что при $\alpha_{2cpIV} = 20^\circ$ суммарная мощность отсека равна отрицательной величине: $N_{III+IV} = -17 \text{ кВт}$. Дальнейшие расчеты привели к заключению, что для покрытия дефицита мощности, недостающей для достижения угла 20° , требуется увеличение расхода. Эта задача решается с помощью проектирования специальной двухъярусной ступени [3] вместо III ступени натурной силовой ГТУ. Двухъярусная ступень (рис. 2б) сохраняет необходимый расход для IV ступени и вместе с тем обеспечивает выработку больше мощности за счет потока второго яруса. При проектировании такой модели в качестве нижнего яруса предлагается взять модель III ступени ГТУ, а верхний ярус профилировать из условия максимально возможной высоты проточной части.

Линии тока в диффузоре и распределения углов выхода за рабочим колесом IV ступени представлены на рисунке 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментальные исследования аэродинамики системы «С–Д» показали наличие опасных пульсаций давления на поверхностях кольцевого диффузора при работе на режиме холостого хода последней ступени.

2. Для исследования аэродинамики выходного тракта на режиме холостого хода ГТУ 65 МВт модельную систему «С–Д» необходимо дополнить специальной двухъярусной моделью ступенью в ЭТ4.

3. Эскизное проектирование и численное моделирование течения в системе «С–С–Д» показало возможность постановки такого эксперимента на стенде ЭТ4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семакина Е.Ю., Черников В.А., Суханов А.И. Пульсации давления потока и вибрация деталей выходных трактов ГТУ // Научно-технические ведомости СПбПУ, 2017. DOI: 10.18721/JEST.230203.

2. Лапшин К.Л. Математические модели проточных частей в проектировочных газодинамических расчетах осевых тепловых турбин на ЭВМ: Учебное пособие. Санкт-Петербург, изд. ЛПИ, 1989. – 68 с.

3. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Паровые и газовые турбины для электростанций, Москва, изд-во. МЭИ университета, 2016–557 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОНЫ ВРЕЗКИ ПАТРУБКА С УЧЕТОМ НАКЛАДНОГО КОЛЬЦА

И.В. Стрекалова¹, А.В. Гаев¹

¹ООО «ААЭМ», г. Санкт-Петербург

e-mail: i.v.strekalova@aaemturbines.com, a.v.gaev@aaemturbines.com

Статья посвящена исследованию способов моделирования зоны врезки патрубка с учетом накладного кольца и сравнению результатов расчетов по категориям напряжений и по предельному состоянию.

The article is devoted to the study of methods for modeling pad and comparing the results of calculations for allowable stresses and limit state for various modeling methods.

ВВЕДЕНИЕ

Сосуды давления при высоких нагрузках на патрубки требуют использования накладок для укрепления соединения патрубка и обечайки. Схема приварки представлена на рисунке 1. Серыми точками обозначаются места сваривания кольца с обечайкой и патрубком.

Для достоверной оценки прочности в зоне приварки патрубка необходимо создать корректную математическую модель конструкции. При использовании метода конечных элементов возможны три варианта моделирования накладного кольца: учет контактного взаимодействия в объемной постановке, учет контактного взаимодействия в оболочечной постановке и зада-

ние дополнительной толщины в оболочечной постановке. На патрубок действует осевая сила и изгибающий момент. Расчет будет проводиться по категориям напряжений и по предельному состоянию [1].

РАСЧЕТ ПО КАТЕГОРИЯМ НАПРЯЖЕНИЙ

В объемной постановке между накладкой и обечайкой моделируется контактное взаимодействие с трением. Различные виды алгоритмов для контакта не показали значительной разницы в результатах.

Для оболочечной постановки используется алгоритм множителей Лагранжа. Накладка моделируется как контакт двух тонкостенных поверхностей.

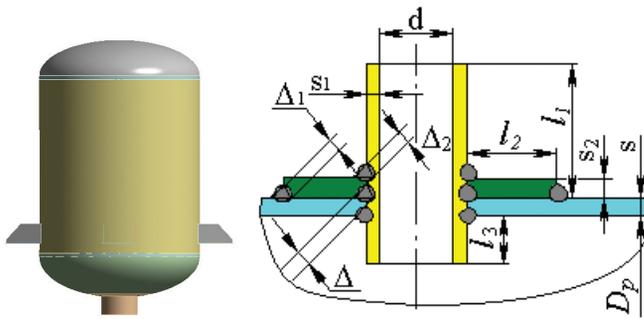


Рис. 1. Модель сосуда и схема приварки накладного кольца

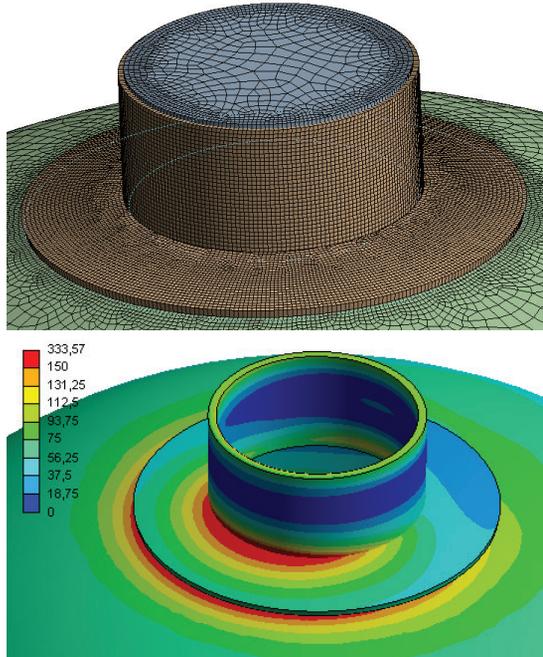


Рис. 2. Сгущение сетки и эквивалентные напряжения, МПа

В оболочечной постановке без учета контактного взаимодействия кольцо моделируется с помощью утолщения зоны дна вокруг патрубка.

Рисунок 2 демонстрирует пример построения сетки и распределение эквивалентных напряжений в зоне патрубка.

Ниже представлен график распределения эквивалентных напряжений в трех разных постановках.

В зоне математического концентратора напряжения распределяются непредсказуемо, поэтому будет оцениваться напряжение вдали от соединения патрубка и дна. Напряжения в разных постановках близки по значениям.

Одна постановка может превышать допустимое значение напряжения в отличие от другой. В таком случае используется расчет по предельным состояниям.

РАСЧЕТ ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

Для расчета по предельному состоянию сравним две оболочечные постановки. Нагрузки на патрубки увеличиваются для достижения пластического шарнира в материале. Ниже представлено сравнение результатов расчета.

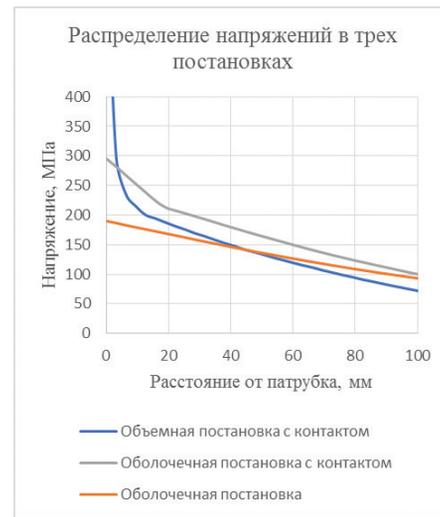


Рис. 3. График распределения эквивалентных напряжений

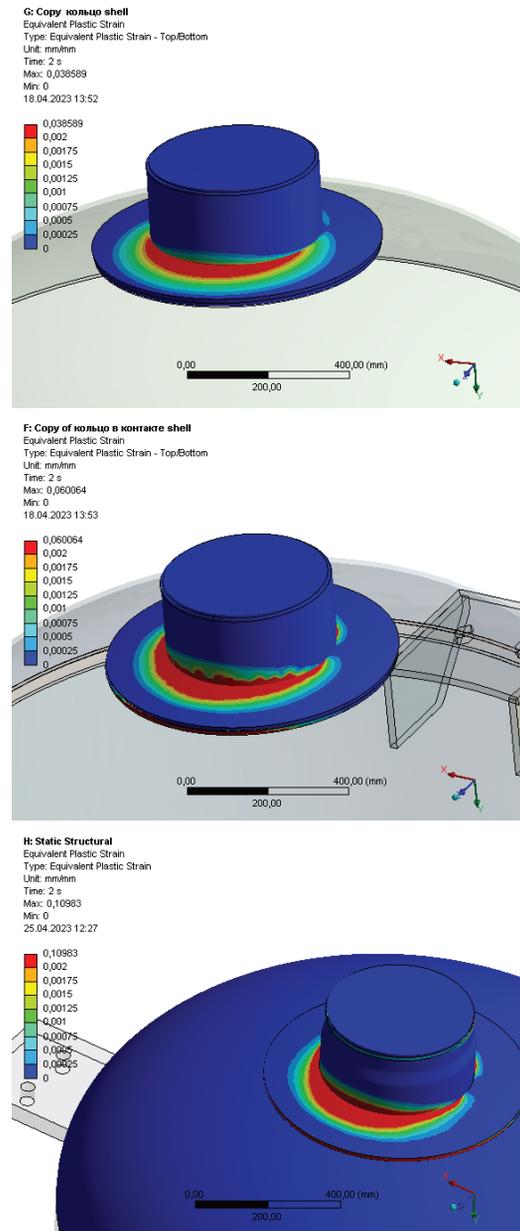


Рис. 4. Пластическое поведение в трех постановках (оболочечная, оболочечная с контактом, объемная с контактом соответственно)

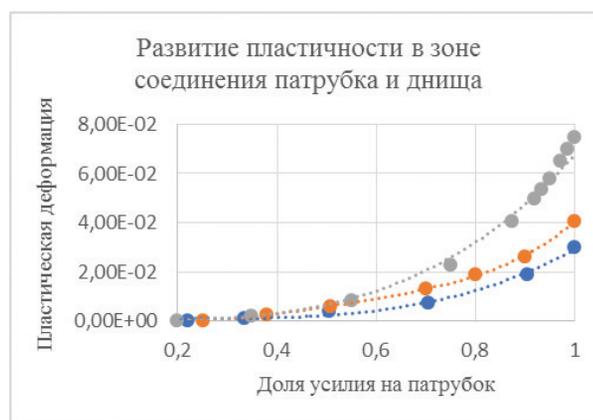
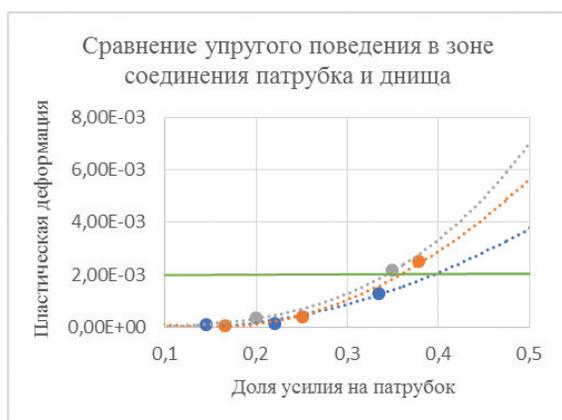


Рис. 5. Сравнение текучести (синяя линия – объемная постановка, оранжевая линия – оболочочная постановка с контактом, серая линия – оболочочная постановка с контактом)

Развитие пластического шарнира в разных постановках отличается, однако значения усилий на патрубок, до которых сохраняется упругое поведение, не отличаются более чем на 5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты по категориям напряжений и по предельному состоянию показали, что все три способа моделирования оказались близки по значениям напряжений. Для уменьшения времени расчета реко-

мендуется использовать оболочечную постановку без контактного взаимодействия.

Преимущество расчета по предельному состоянию заключается в том, что результат не зависит от выбора способа моделирования или выбора точки, в которой рассматривается напряжение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 13445-3. Unfired Pressure vessels.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕННОЙ КЛАДКИ КАК АНИЗОТРОПНОГО ТЕЛА

М.С. Тетерина¹

¹Новосибирский филиал АО «ГСПИ», г. Новосибирск
e-mail: SanyMa@yandex.ru

В данной работе рассмотрена кладка как структурно неоднородный анизотропный материал. Представлена математическая модель, позволяющая теоретически определять эффективные свойства кирпичной кладки. Результаты теоретических вычислений сравниваются с экспериментальными данными других авторов. Получена интервальная диаграмма деформирования кирпичной кладки.

In this paper, masonry is considered as a structurally heterogeneous anisotropic material. A mathematical model is presented that allows theoretically determining the effective properties of masonry. The results of theoretical calculations are compared with the experimental data of other authors. An interval diagram of masonry deformation is obtained.

ВВЕДЕНИЕ

Современные представления о кирпичной кладке сложились в начале XX века. Зависимости, полученные в 1939 году, актуальны в действующих нормативных документах [1]. В работе предлагается рассмотреть кладку как структурно неоднородный анизотропный материал.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим кладку как структурно неоднородный материал с периодичной структурой, состоящий из субструктурных компонент с различными физико-механическими свойствами; изменение механических свойств – скачкообразное при прохождении границы раздела компонент.

Соединение субструктурных компонент кладки дает синергетический эффект, связанный с появлением у композиции свойств, не характерных для поведения данных компонент в изолированном состоянии.

Для кирпича синергетический эффект проявляется в увеличенной деформативности (до 80%) по сравнению с испытаниями в стандартных условиях [2].

Для раствора синергетический эффект обусловлен технологией возведения. Следует различать физико-механические свойства раствора вертикальных швов с повышенной пористостью [3], горизонтальных швов и контактной зоны горизонтального шва (обусловленной интенсивным водопоглощением).

Для получения «эффективных» характеристик кладки как анизотропного квазиоднородного тела

предлагается использовать математическую модель, описанную в [4]. Учитывая взаимное расположение, объемное содержание субструктурных компонент и корректно сформулировав условия сопряжения на плоскостях раздела между компонентами, получаем матрицу жесткости для кладки как квазиоднородного материала в аналитической форме:

$$B = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & & & \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} & & & 0 \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} & & & \\ & & & B_{44} & 0 & 0 \\ & & & 0 & B_{55} & 0 \\ & & & 0 & 0 & B_{66} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\sigma_j = \sum_{k=3}^3 B_{jk} \varepsilon_k, \quad \sigma_i = B_{ii} \varepsilon_i \quad (2)$$

Для учета нелинейного поведения кладки матрицу жесткости $B^{\sigma/R}$ определяем на каждом этапе нагружения (σ/R , где σ – текущий уровень напряжения, R – разрушающее напряжение). Учет изменения свойств компонент кладки в зависимости от уровня нагружения определяем согласно зависимостям, полученным В.В. Пангаевым [2].

Для оценки корректности описанного подхода сопоставлены данные эксперимента, описанного в [5], с данными, полученными теоретически.

Для фрагмента каменной кладки из керамических блоков марки М-100 и раствора М-75, размерами 1230×1300 мм, толщиной в один блок (300 мм) получены зависимости продольных (ε_y) и поперечных (ε_x) деформаций в зависимости от уровня нагружения элемента кладки (σ/R) экспериментально и теоретически с использованием «эффективных» механических характеристик (рис. 1).

Продольные вертикальные деформации, полученные экспериментально и теоретически (согласно зависимостям 1–2), хорошо согласуются между собой.

Также для кладок характерна высокая степень неопределенности физико-механических и геометрических параметров, отмечается большой разброс экспериментальных данных. Например, согласно ГОСТ [6] допуски на геометрические размеры кирпича ведут к изменению его объема на 8,9%. Прочность определяется как среднее для 5 образцов и имеет разброс $\pm 25\%$, согласно [1] жесткость кирпича связана с прочностью.

Предлагается рассмотреть механические характеристики компонент кладки и их удельное объемное содержание нечеткими величинами, функции принадлежности которых имеют треугольный вид (рис. 2):

Функции принадлежности строятся на основе обработки экспериментальных данных и эмпирических зависимостей.

Считая ряд параметров нечеткими величинами, можно получить интервальные оценки параметров напряженно-деформированного состояния материала.

Для кирпича марки М100 и раствора марки М75, учитывая жесткость раствора и кирпича как нечеткие величины, получена интервальная диаграмма дефор-

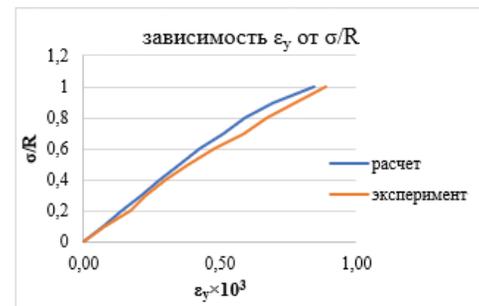


Рис. 1. Зависимость ε_y от σ/R

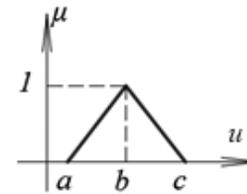


Рис. 2. Треугольная функция принадлежности

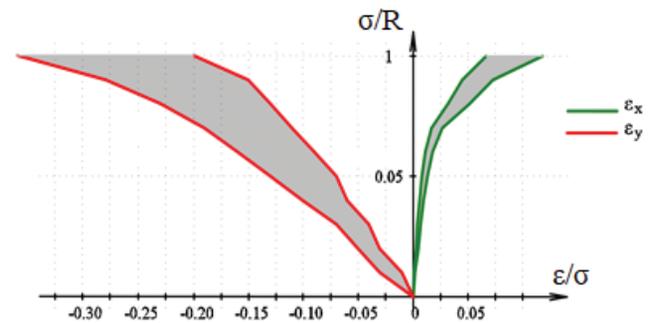


Рис. 3. Интервальная зависимость деформаций от уровней нагружения

мирования кладки как квазиоднородного материала, представленного на рисунке 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика позволяет определить жесткостные характеристики кладки как анизотропного квазиоднородного тела. Методика хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Предложенная методика позволяет учесть высокую степень неоднородности и неопределенности свойств компонент кладки. Предполагается в дальнейшем выполнять расчет каменных кладок в нечеткой постановке, то есть с учетом неопределенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 15.13330.2020 «СНиП II-22-81*Каменные и армокаменные конструкции».
2. Пангаев В.В., Сердюк В.М. О деформативных характеристиках цементных кладочных растворов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 9. С. 110–113.
3. Онищик, Л.И. Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий [Текст] / Л.И. Онищик. – Москва, Ленинград.: Госиздательство строительной литературы, 1939. – 208 с.

4. Резников Б.С., Никитенко А.Ф., Кучеренко И.В. Прогнозирование макроскопических свойств структурно неоднородных сред. // Известия вузов. Строительство. – 2008. № 2. с. 10-17.

5. Адищев В.В., Шакарнех Омар М.Д. Влияние ар-

мирования на физико-механические характеристики кладок из керамических блоков // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. № 5 – С.14–30.

6. ГОСТ 530-2007 Кирпич и камень керамические.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ СОСУДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Р.В. Федоренко¹, А.В. Лукин¹

¹ФГАОУ ВО СПбПУ, г. Санкт-Петербург

e-mail: fedorenko_rv@spbstu.ru, lukin_av@spbstu.ru

В статье проведено исследование приспособляемости сосуда под давлением в условиях термоциклического нагружения перепадом температур по толщине стенки. Получены характерные диаграммы приспособляемости сосуда из высоколегированной стали с учетом физической нелинейности материала и зависимости параметров от температуры с помощью метода конечных элементов.

This article presents the research results of vessel behavior under mechanical and thermal loads via applying temperature gradient through the wall. The characteristic diagrams of material stress regimes were obtained for real steel with nonlinear material properties including temperature dependencies. The finite element method was used for calculations.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительный исследовательский интерес представляют концепты высокотемпературных реакторов, например разрабатываемые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем. Условия работы подобных реакторных установок значительно отличаются от классических реакторов из-за высокой работы всей конструкции в режиме нормальной эксплуатации (температура достигает 400-450 °С). Под действием значительных температур в конструкции могут возникать пластические деформации, которые из-за циклических нагрузок могут приводить к разрушению конструкции. Классические нормативные подходы по оценке циклической прочности с учетом значительного теплового воздействия не дают возможности провести корректную оценку прочности конструкции в конце жизненного цикла.

В работе выполняется исследование приспособляемости сосуда под давлением в условиях термоциклического нагружения с учетом упрочнения материала.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первые исследования влияния термоциклического нагружения сосуда под давлением относятся к 70-м годам XX века и связаны с именем J.Bree, который в своей работе [1] исследует приспособляемость сосуда под внутренним давлением с циклически изменяемым градиентом температуры по толщине стенки. Данная постановка имитирует процесс работы водоводяного энергетического реактора, включение и выключение которого регулирует величину градиента температуры.

Результатом проведенного исследования [1] является диаграмма приспособляемости сосуда в за-

висимости от комбинации механической и тепловой нагрузки. Решение получено аналитически для каждой комбинации с учетом определенных упрощений (упруго-идеально-пластический закон деформирования, отсутствие температурной зависимости параметров материала и переход к эквивалентной одноосной постановке). При этом определяют характерные зоны поведения материала:

- абсолютно упругое поведение конструкции, для которого характерно отсутствие пластических деформаций;

- elastic shakedown, для которого характерно обретение материалом некоторого значения пластической деформации в сечении по толщине стенки на первом цикле нагружения и нечувствительность его к дальнейшему приложению нагрузок;

- plastic cycling, для которого характерно обретение некоторого значения пластической деформации в сечении на первом цикле с последующим циклическим изменением его во времени;

- ratcheting, для которого характерно обретение материалом некоторого значения пластической деформации в сечении по толщине стенки на первом цикле нагружения и их последующий неограниченный рост.

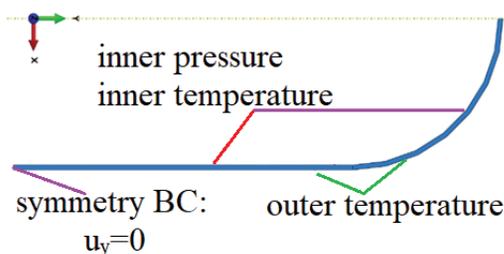


Рис. 1. Расчетная модель

Итоговая диаграмма приспособляемости сосуда под действием тепловых и механических нагрузок получила в литературе название «диаграмма Бри» [2-3].

Однако для реальных материалов, обладающих упрочнением и зависимостью материальных свойств от температуры, получить аналитическое решение и диаграмму Бри не представляется возможным.

Для получения диаграмм Бри для сосуда из упрочняющихся сталей была разработана осесимметричная конечно-элементная модель в программном комплексе Abaqus [4]. Изображение данной модели представлено рисунке 1.

Модель не содержит тех допущений, которые использованы в источнике [1]. В качестве нагрузок задаются внутреннее давление и линейный перепад температуры по толщине стенки, которая циклически меняется во время расчета. Задача решается прямым моделированием циклического процесса с применением методов решения задач статической прочности.

Методика была применена для высоколегированной стали, которая используется во многих «горячих» реакторах в качестве основного материала металлоконструкций.

В нашем расчете получены диаграммы Бри (рис. 2) для сталей при температурах 200 °С и 420 °С и предположении, что амплитуда цикла отсчитывается от данных значений температур. Данные температуры будем называть отсчетными.

Как видно из результатов, наличие упрочнения и зависимости от температуры свойств материалов расширяет зону пластического циклирования (plastic cycling), которая замещает зону ratcheting, что повышает зону эксплуатационных возможностей сосуда по сравнению с аналитическим подходом, не учитывающим упрочнение.

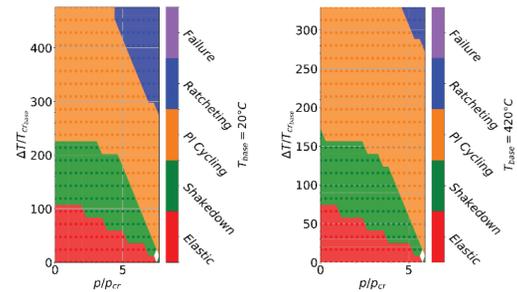


Рис. 2. Диаграмма Бри, высоколегированная сталь при 200 °С (слева) и 420 °С (справа)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследована приспособляемость сосуда из высоколегированной стали под действием внутреннего давления и термоциклических нагрузок, характерных для высокотемпературных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Показано, что зона возможной эксплуатации сосуда повышается при учете упрочнения материала. Увеличение отсчетной температуры приводит к уменьшению зон упругого поведения и упругой приспособляемости (shakedown), расширяя зону пластического циклирования (plastic cycling).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bree J. Elastic-plastic behavior of thin tubes subject to internal pressure and intermittent high-heat fluxes with application to fast nuclear reactor fuel elements. *Journal of Strain Analysis* 1967;2:226e38.
2. Bradford R.A.W. The Bree problem with primary load cycling in-phase with the secondary load. *Int. J. of Pressure Vessels and Piping* 2012; 99-100; 44-50.
3. Bao H., Shen J., Liu Y., Chen H. Shakedown analysis of modified Bree problems involving thermal membrane stress and generalized loading conditions. *Int. J. of Pressure Vessels and Piping* 2021; 192.
4. Abaqus 2017 Theory Guide – Dassault Systems, 2017.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СОСУДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.А. Федоров¹, А.В. Гаев¹

¹ООО «ААЭМ», г. Санкт-Петербург

e-mail: v.a.fedorov@aaemturbines.com, a.v.gaev@aaemturbines.com

В статье описана разработка модуля оценки фактического количества циклов нагружения, представлена его реализация при помощи макропрограммирования и проведено компьютерное моделирование системами анализа МКЭ сосуда под давлением с дальнейшей оценкой накопленного усталостного повреждения.

The article describes the development of an estimate of the actual number of loading cycles, presents an implementation with using macro programming, and conducts computer simulation by FEM analysis systems of a pressure vessel with a further assessment of the accumulated fatigue damage.

ВВЕДЕНИЕ

Циклическая нагрузка является одним из видов переменной нагрузки, воздействию которой подвергается большинство элементов АЭС ввиду наличия специфических режимов работы и длительных

условий эксплуатации. Основные методы расчета циклической прочности на стадии эскизного проектирования связаны с вычислением накопленного усталостного повреждения по размаху/амплитуде напряжений в опасных зонах рассматриваемого элемен-

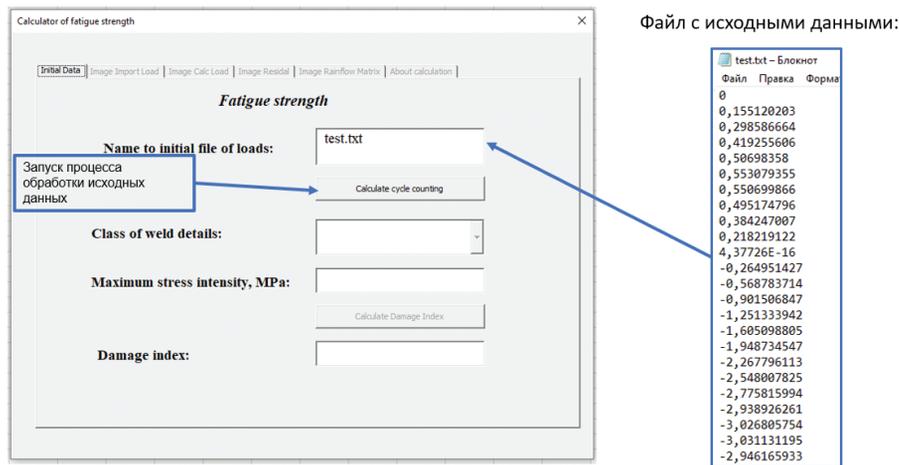


Рис. 1. Модуль расчета фактической повреждаемости оборудования

та, в соответствии с кривыми усталости на заданные параметры переменной нагрузки. Для более точной оценки расчета усталостного повреждения на переменную нагрузку необходима система мониторинга с учетом обработки измеренного сигнала на реальной конструкции. В качестве сигнала могут использоваться различные измеряемые величины, такие как перемещения, давления или напряжения. Дополнительно проводится оценка НДС при измеренных данных при помощи систем анализа МКЭ для сравнения результатов измерения.

ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ

В данной статье рассмотрен расчетный модуль с методикой обработки сигнала данных систем мониторинга (подсчета количества циклов) и вычисления накопленного усталостного повреждения для типового бака. Пользовательский интерфейс расчетного модуля представлен на рисунке 1.

Для оценки количества циклов хорошо зарекомендовал себя «метод дождя» [2], который был реализован при помощи макропрограммирования. Данный метод позволяет выделять амплитуду и количество полных циклов с учетом характера нагружения, а также выделять остаток после обработки. Дополнительно в модуле был реализован фильтр по экстремумам для ускорения дальнейшего подсчета количества циклов, результаты работы которого представлены на рисунке 2.

Для оценки размаха/амплитуды напряжений дополнительно проводился расчет при помощи сторонних систем анализа МКЭ, результаты которого представлены на рисунке 3. В качестве нагрузок использовались давление и локальные силы на патрубки, которые соответствуют данным, полученным при помощи системы мониторинга.

Оценка влияния размаха/амплитуды напряжений на усталостное повреждение проводится по кривой усталости, полученной эмпирическим путем. Для демонстрации работы расчетного модуля выбран ряд кривых усталости, представленных в EN 13445 3 [1], по размахам напряжения которых оценивается накопленное усталостное повреждение. Выбор кривой усталости в расчетном модуле представлен на рисунке 4.

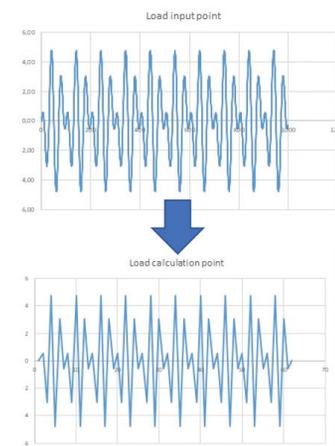


Рис. 2. Обработка исходного сигнала

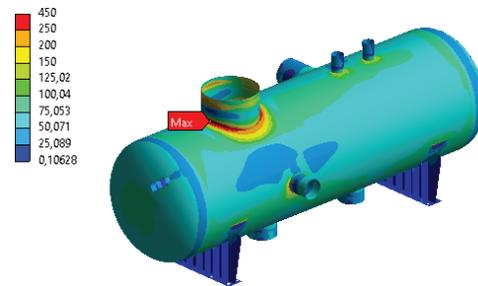


Рис. 3. Результаты расчета системы МКЭ

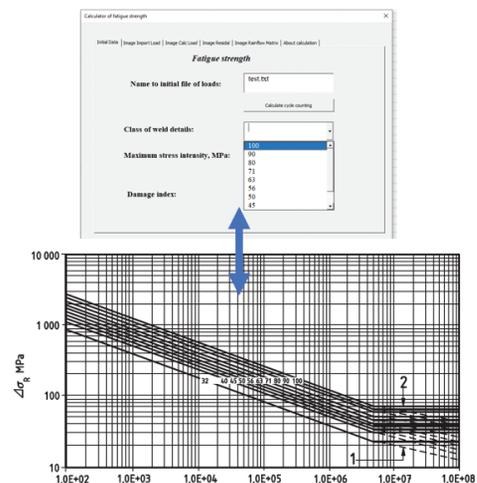


Рис. 4. Выбор кривой усталости

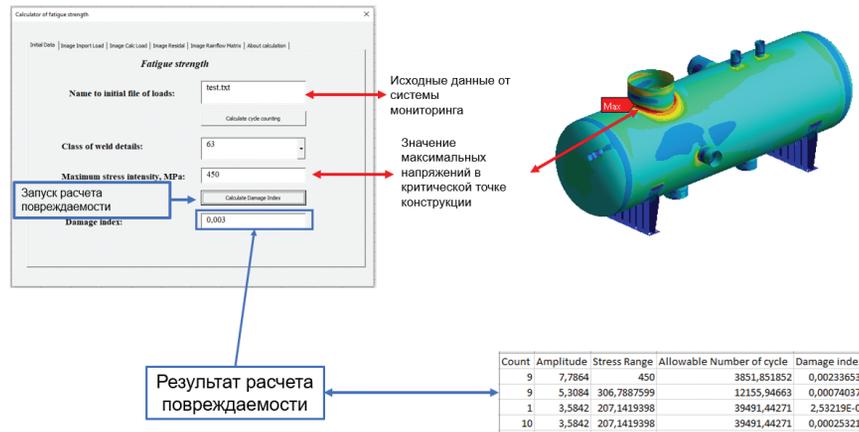


Рис. 5. Результаты расчета

В модуле принято следующее допущение – максимальные напряжения, полученные при помощи систем анализа МКЭ, соответствуют максимальному размаху измеряемого сигнала, в то время как промежуточные напряжения для меньших размахов определяются при помощи метода интерполяции. Результаты работы расчетного модуля представлены на рисунке 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный расчетный модуль является промежуточным звеном для дальнейшего создания

цифрового двойника, который позволит оценивать фактическую накопленную усталостную повреждаемость в соответствии с выбранной кривой усталости и обрабатывать сигнал системы измерения по «методу дождя».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 13445-3. Unfired Pressure vessels.
2. ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СОСУДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКЕ

О.О. Шильцева¹, А.В. Гаев¹

¹ООО «ААЭМ», г. Санкт-Петербург

e-mail: o.o.shiltseva@aaemturbines.com, a.v.gaev@aaemturbines.com

В статье предложена методика оценки прочности опорных конструкций оборудования АЭС. В основе лежит расчет в упругопластической постановке по предельному состоянию.

The method for assessing the strength calculation of the supports of pressure vessel is proposed in the article. It is based on the calculation in the elastoplastic formulation by the limit state.

ВВЕДЕНИЕ

Методы оценки прочности корпусных элементов сосудов под давлением широко представлены в нормативной документации [1]. При этом методы оценки опорных конструкций отраслевыми нормативными документами не регламентированы.

МЕТОД РАСЧЕТА

В настоящей работе предложен метод расчета прочности опорных конструкций по предельному состоянию на примере горизонтального сосуда под давлением.

Опорные конструкции сосуда представляют собой две седловые опоры, одна из которых неподвижная, вторая свободна в продольном направлении. Общий вид конструкции представлен на рисунке 1.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ

Прочность опорных конструкций оценивается по наиболее нагруженной опоре – неподвижной.

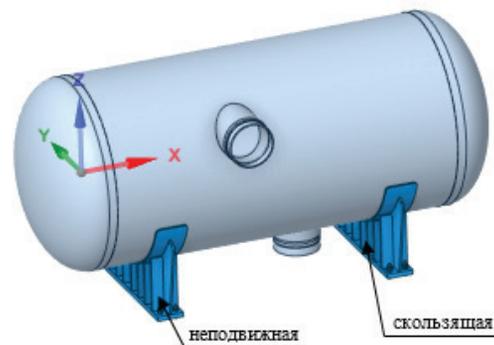


Рис. 1. Общий вид конструкции

Предельное состояние неподвижной опоры достигается при воздействии максимальной инерционной нагрузки.

В расчете также учитываются постоянные эксплуатационные нагрузки: вес пустого сосуда, вес воды, расчетное давление, силы и моменты на патрубки.

Если представить нагрузки в виде диаграммы, она будет выглядеть, как показано на рисунке 2.

Предельное состояние неподвижной опоры оценивается по трем расчетным случаям: сдвиг опоры в продольном направлении, опрокидывание сосуда на сторону, расчет опоры при отрыве. Таким образом, рассматривается пространственное нагружение конструкции.

В каждом расчетном случае предельной инерционной нагрузкой будет та, которая определяется состоянием пластического шарнира для конструкции опоры в соответствующем направлении.

Для примера ниже представлено распределение эквивалентных пластических деформаций в состоянии пластического шарнира в неподвижной опоре сосуда при продольной инерционной нагрузке.

На рисунке 4 показана диаграмма зависимости перемещений опоры от приложенной нагрузки.

Из диаграммы можно определить начало пластического течения в опоре и фактический коэффициент запаса прочности по предельному состоянию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод предельных состояний позволяет оценить прочность опорных конструкций сосуда под давлением и фактический коэффициент запаса прочности без проведения процедуры категоризации напряжений [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 59115.8-2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Расчет по выбору основных размеров.
2. ГОСТ 59115.9-2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на прочность.

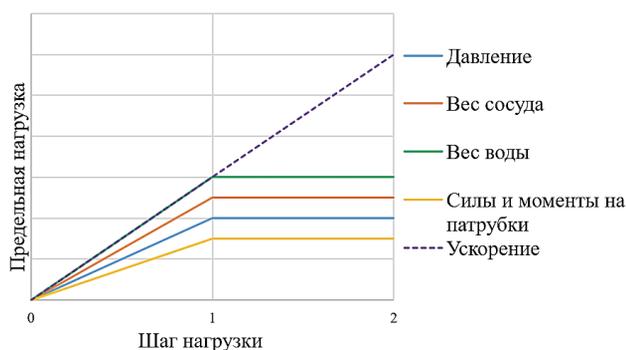


Рис. 2. Диаграмма нагрузок

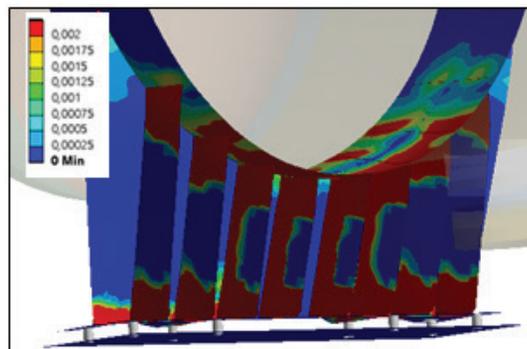


Рис. 3. Эквивалентная пластическая деформация опоры

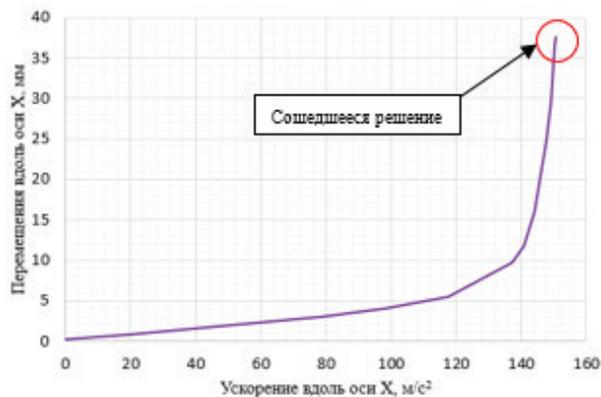


Рис. 4. Диаграмма зависимости нагрузки – перемещения

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СБОРКИ ДИВЕРТОРА РЕАКТОРА ИТЭР

В.Д. Артемьев¹, П.Ю. Чайка

¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

e-mail: artemev@sintez.niiefa.spb.su, chaikap@sintez.niiefa.spb.su

Центральная сборка дивертора (далее ЦСД), выполняя функцию очистки плазмы и отвода тепла, подвергается очень мощным нагрузкам, что сказывается на ее надежности. Проведение анализа показателей надежности позволит провести идентификацию возможных отказов, оценку критичности различных видов отказов ЦСД и оценить ее ресурсные характеристики.

The Dome Divertor (hereinafter Dome), performing the function of plasma purification and heat removal, is subjected to very powerful loads, which affects its reliability. Assess the dependability measures will allow to identify possible failures, assess the criticality of various types of failures of the Dome and evaluate its resource characteristics.

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация принимает участие в реализации международного проекта ИТЭР. Наряду с разработкой, изготовлением и поставкой элементов вакуумной камеры, элементов магнитной системы установки и других предприятия России активно участвуют в разработке, изготовлении и поставке внутрикамерных элементов реактора ИТЭР, к числу которых относится ЦСД [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ЦСД представляет собой стальную опорную конструкцию, состоящую из 3 коллекторов, соединенных 6 силовыми трубами (рис. 1).

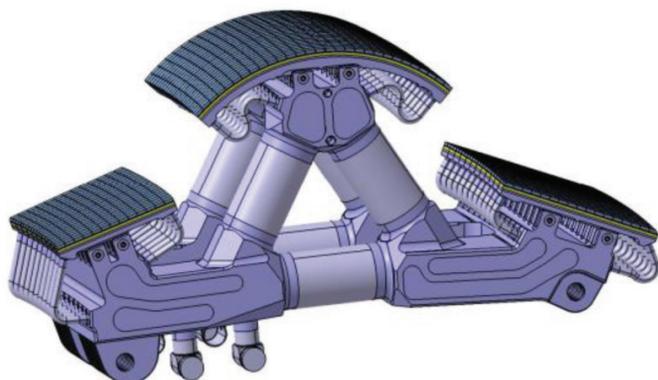
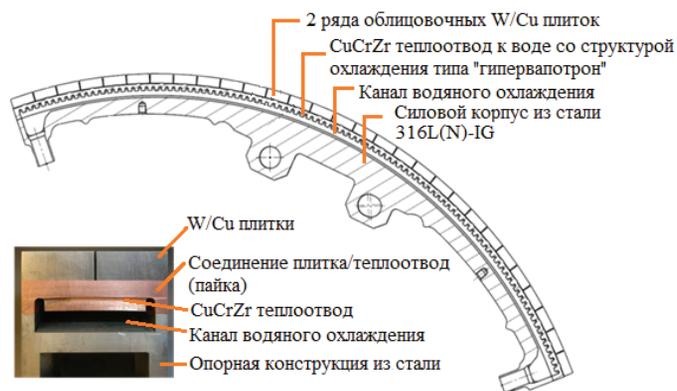


Рис. 1. ЦСД

Коллекторы закрыты теплозащитными элементами, а именно – куполом, внутренней и внешней отражающими пластинами. Они снабжены теплоотводом к воде со структурой охлаждения типа гипервапотрон [2]. Элементы, обращенные к плазме, представляют собой W/Si-плитки, присоединенные при помощи медного припоя марки СТЕМЕТ 1108 к системе теплоотвода, изготовленной из хромциркониевой бронзы и корпуса из стали 316L(N)-IG (рис. 2).

Система теплоотвода, в свою очередь, приварена к стальной опорной конструкции с трубками и каналами охлаждения.

Основным назначением выполняемой оценки показателей надежности является идентификация возможных отказов, оценка критичности различных



Поперечный разрез ОПЭ

Рис. 2. Структура элементов, обращенных к плазме

видов отказов ЦСД и оценка ресурсных характеристик. Необходимо, чтобы компоненты, обращенные к плазме, выдержали механические, тепловые и электромагнитные нагрузки в течение всего срока эксплуатации. По алгоритму, приведенному в [3], определяются оптимальные для данного сочетания критериев показатели надежности. В данном случае это коэффициент оперативной готовности и срок службы изделия.

Основные возможные причины, приводящие к отказу, следующие:

- утечка теплоносителя в любом элементе опорной конструкции с каналами охлаждения;
- отрыв хотя бы одной вольфрамовой плитки от теплоотвода.

На сегодняшний день информация о практическом отслоении плиток при нагрузках, ожидаемых в ИТЭР, отсутствует. Тем не менее данные неразрушающего контроля после испытаний могли бы показать, какие деформации происходят в облицовке и могут ли они привести к возможному отказу [4].

Основной рассчитываемой характеристикой надежности является коэффициент оперативной готовности $K_{О.г.}$.

Численное значение коэффициента оперативной готовности определяется по формуле:

$$K_{О.г.} = K_{г.} \cdot P_{Б.р.} \tag{1}$$

где $K_{г.}$ – коэффициент готовности, $P_{Б.р.}$ – вероятность безотказной работы ЦСД.

В [5, 6] определены значения интенсивностей отказов для сварных швов, основного металла и труб охлаждения малого и большого диаметров, изгибов труб охлаждения и плиток. При отсутствии данных о надежности элементов в условиях ТЯР приведенные величины носят условный характер.

Для оценки вероятности безотказной работы допускаем, что все элементы и их составляющие соединены последовательно и отказ любого из них приведет к отказу всей ЦСД. Интенсивность отказов ЦСД вычисляется по следующей формуле:

$$\lambda_{\text{ЦСД}} = \lambda_{\text{оп.конс.}} \cdot I_{\text{опор.}} + \lambda_{\text{св.шв.}} \cdot I_{\text{шв.опор.}} \cdot I_{\text{шв.кан.}} + \lambda_{\text{кан.}} \cdot I_{\text{кан.}} + \lambda_{\text{труб.}} \cdot I_{\text{труб.}} + \lambda_{\text{изг.}} \cdot n_{\text{изг.}} + \lambda_{\text{плит.}} \cdot n_{\text{плит.}} \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы в течение времени t будет описываться экспоненциальным законом:

$$P_{\text{ЦСД}} = \exp^{-\lambda_{\text{ЦСД}} \cdot t} \quad (3)$$

Оценка проводилась для двух случаев: с учетом плиток и без учета плиток в нормальном и переходном режимах. Результаты показали, что вероятность безотказной работы в обоих случаях равна 0,9999, а коэффициент оперативной готовности по формуле (1) будет равен 0,81.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных значений, видно, что ЦСД соответствует предъявленным к нему требованиям. Однако пока нельзя с точностью сказать, что за 10 лет назначенного срока службы не потребуется замена хотя бы одной кассеты. Это может быть связано

с термоциклической усталостью материалов, которую можно наблюдать после испытаний на неразрушающем контроле [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИТЭР Россия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iterrf.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=4 (Дата обращения: 11.04.2022).
2. Алексеев А.Б., Лабусов А.Н., Маханьков А.Н. и др. Прочность центральной сборки дивертора реактора-токамака ИТЭР – ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2010, вып. 4, с. 7-8.
3. ГОСТ 27.003 – 2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: АО «Кодекс», 2017. 21 с.
4. Еремкин А.В., Володин А.В., Кокоулин А.И. и др. Испытательная установка для экспериментального исследования поведения компонентов дивертора ИТЭР при интенсивных тепловых потоках – ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2020, т. 43, вып. 4, с. 7.
5. Cadwallander L.C., Selected Component Failure Rate Values from Fusion Safety Assessment Tasks, INEEL/EXT-98-00892, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, September 1998.
6. Пашков А.Ю., Петров В.С., Шпанский Ю.С. и др. Теплогидравлический расчет и оценка надежности систем водяного охлаждения первой стенки и дивертора ДЕМО-ТИН – ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2018, т. 41, вып. 3, с. 45.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОММУТИРУЮЩЕЙ ЧАСТИ ЗАЩИТНОГО РАЗМЫКАТЕЛЯ СИСТЕМЫ БЫСТРОГО ВЫВОДА ЭНЕРГИИ ИТЭР

В.А. Ахмедова¹, М.В. Манзук¹

¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

e-mail ahmedova@sintez.niiefa.spb.ru , manzuk@sintez.niiefa.spb.ru

Защитный размыкатель разработан для обеспечения надежной коммутации постоянных токов в силовых цепях систем электропитания уникальных электрофизических установок. Работа посвящена численному моделированию детонационных и деформационных процессов с целью анализа и оптимизации конструкции защитного размыкателя.

The Protective switch (Pirobreaker) is designed to provide reliable switching of direct currents in high current circuits of power supply systems of unique electrophysical installations. The paper is devoted to numerical modeling of detonation and deformation processes in order to analyze and optimize the design of a protective switch.

ВВЕДЕНИЕ

Применение сверхпроводниковых магнитных систем в токамаках позволило не только существенно снизить энергозатраты на создание и удержание плазмы при помощи магнитных полей, но и увеличить величину магнитной индукции в вакуумной камере.

Для обеспечения защиты сверхпроводниковых катушек от перегрева в случае перехода в нормальную фазу, в результате которого в катушке появляется резистивность, на которой выделяется энергия, необходимо осуществить быстрый вывод энергии,

запасенной в магнитном поле. Для этого в системе электропитания токамака ИТЭР предусмотрен комплекс коммутационных устройств, одним из основных элементов которого является защитный размыкатель, выполняющий функцию резервной защиты.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Различные модификации защитного размыкателя [1], разработанного в АО «НИИЭФА», широко применяются в системах питания современных токамаков со сверхпроводниковой магнитной системой, таких как

ИТЭР, JT-60SA, KSTAR. Конструкция защитного размыкателя показана на рисунке 1.

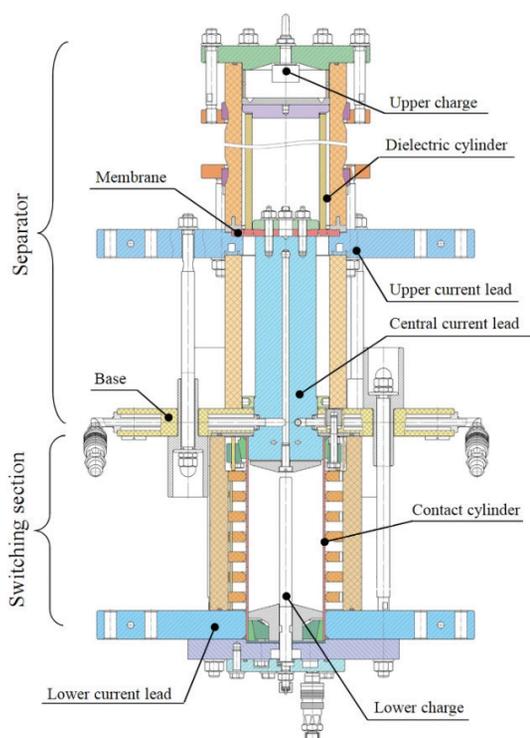


Рис. 1. Конструкция защитного размыкателя

В то же время работы по оптимизации конструкции и повышению эффективности и надежности защитного размыкателя требуют дополнительных исследований детонационных и деформационных процессов, сопровождающих коммутацию тока.

Решение инженерных задач на основе одной из принятых моделей механизма разрушения материалов взрывом достаточно затруднительно.

Это является одной из основных причин поисков эмпирических способов расчета таких процессов. Необходимо отметить, что на основе эмпирических данных удается получить различные модели разрушения твердых материалов, такие как модель Джонсона-Кука. [2, 3]

Существует множество методик расчета параметров поля напряжений, давлений в поперечной плоскости к зарядам взрывчатого вещества при его иницировании.

Одной из программ, позволяющей рассчитать детонационные характеристики, а также оценить результат взрыва с точки зрения разрушения тела, является программное обеспечение (ПО) Ansys. Данное

ПО позволяет решать большое количество инженерных задач, в частности моделирование взрывных процессов в различных материалах. Модули Explicit Dynamics и Autodyn позволяют моделировать нелинейные быстропротекающие процессы и решать многочисленные задачи, связанные с развитием взрывного процесса в замкнутой среде. В основе ПО лежат методики Эйлера и Лагранжа.

Целью работы является продолжение исследований, направленных на оптимизацию конструкции защитного размыкателя, сравнение результатов аналитического и экспериментального исследований процессов импульсного взрывного нагружения [4] и результатов численного моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведены исследования детонационных и деформационных процессов в коммутирующей части защитного размыкателя системы быстрого вывода энергии ИТЭР. Проведено сравнение параметров давления с ранее полученными результатами.

Работа выполнена в рамках Договора №17706413348230000070/39-23/01 от 23.05.2023 на выполнение НИОКР «Разработка, опытное изготовление и испытания образцов коммутирующей аппаратуры, энергопоглощающих резисторов, шинопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры для систем электропитания обмоток магнитной системы ИТЭР в 2023 году». Государственный контракт 18.01.2023 № Н.4а.241.19.23.1014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аванесов С.Д., Манзук М.В., Волков С.М., Бестужев К.О., Семенова М.И., Алексеев Д.И. ПАТЕНТ РФ №2755454. «Взрывной размыкатель».
2. Johnson G.R. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high rates and high temperature / G.R. Johnson, W.H. Cook // Proc. of the 7th int.symp. on Balilistics. –1983. –Pp. 541-547.
3. Johnson G.R. Fracture characteristics of three metals subjected to various strain, strain rates, temperatures and pressures / G.R. Johnson, W.H. Cook // Eng. fract.mech. - Vol. 21, № 1. -1985. - Pp. 31-48.
4. Манзук М.В., Алексеев Д.И., Кривошеев С.И., Магазинов С.Г., Харченко В.В., Юрченко В.О. «Аналитическое и экспериментальное исследование процессов импульсного взрывного нагружения разрушаемых элементов конструкции защитных коммутационных аппаратов» // «Забахинские научные чтения» Сборник тезисов. – 2021. – С. 20.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА
В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Д.В. Бубнова¹, А.В. Пудова¹

¹АО «Атомэнергoproject», г. Москва

e-mail: Bubnova_DV@aep.ru, Pudova_AV@aep.ru

Рассмотрено течение жидкого металла (ртути) в круглой трубе при наличии поперечного магнитного поля. Рассматривались реалистичные каналы со стенками с различной электрической проводимостью в диапазоне чисел Гартмана $Ha = 20-100$. Исследование проводилось с использованием метода численного моделирования, основанного на коде ANES20XE. Были рассчитаны профили скорости, а также длина трансформации и длина распада струи.

The flow of liquid metal (mercury) in a round pipe in the presence of a transverse magnetic field is considered. Realistic channels were considered with walls with different electrical conductivity in the range of Hartmann numbers $Ha = 20-100$. The study was carried out using a numerical simulation method based on the ANES20XE code. The velocity profiles were calculated, as well as the transformation length and the jet breakup length.

ВВЕДЕНИЕ

Струйные течения жидкого металла имеют множество практических применений, в особенности в металлургии, например в литейных машинах. Электромагнитные тормоза, которые в них используются, служат для управления выходящими струями. Поэтому знание того, как ведут себя струи в присутствии магнитных полей, представляет не только теоретический, но и практический интерес. Также затопленные струи встречаются в элементах жидкометаллических бланкетов термоядерных реакторов. В общем, МГД-течения в круглых трубах играют огромную роль в жидкометаллических бланкетах и диверторах термоядерных реакторов, т. к. трубы бланкетов имеют круглое поперечное сечение.

Преимущества использования жидких металлов в качестве теплоносителя настолько очевидны разработчикам, что множество проектов предусматривает именно жидкометаллическое охлаждение бланкетов. К примеру, проект охлаждения бланкета экспериментального ТЯР ITER [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Решается трехмерная задача о ламинарном течении электропроводной жидкости (ртути) в трубе круглого сечения в поперечном неоднородном магнитном поле. Все уравнения записываются в цилиндрической системе координат и впоследствии решаются в безразмерном виде с помощью встроенной модели MHD ANES.

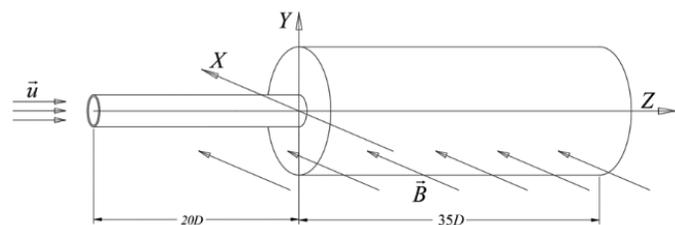


Рис. 1. Постановка задачи течения жидкости в трубе в поперечном магнитном поле

Рассматривается такая конфигурация, что из трубы меньшего диаметра поток втекает в трубу большего диаметра. При этом отношение диаметров составляет $d/D = 1/6$. Толщина стенки по всей длине одинаковая. Выход из трубы малого диаметра осуществляется в месте, где магнитное поле однородно.

Магнитное поле задается функцией распределения компонент вектора магнитной индукции по пространству [2].

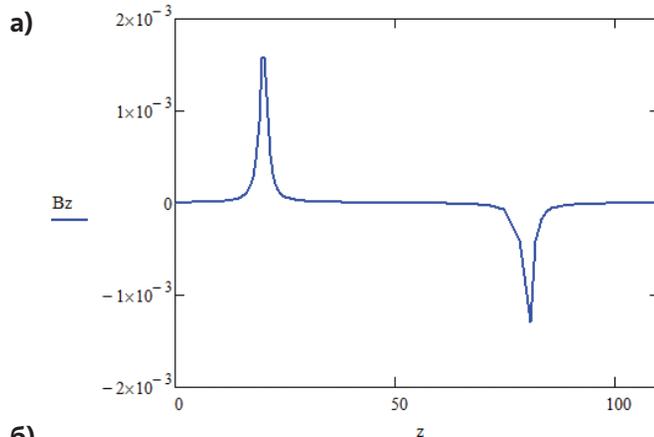
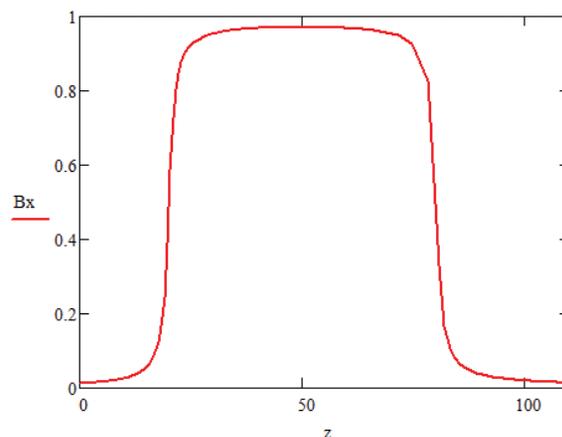


Рис. 2. Распределение магнитного поля по длине трубы: а – поперечная компонента; б – продольная компонента вектора магнитной индукции

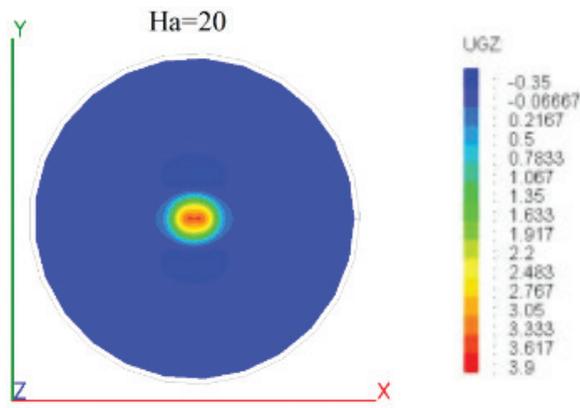


Рис. 3. Поле скорости в поперечном магнитном поле при $Re = 150$ и $Ha = 20$

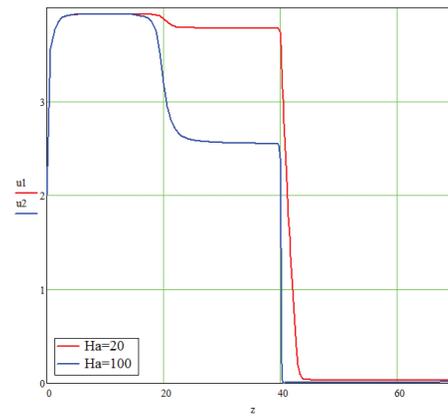


Рис. 5. Влияние числа Гартмана на длину распада струи

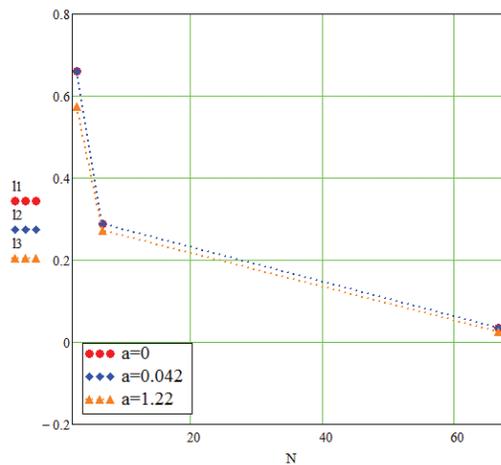


Рис. 4. Зависимость длины трансформации от числа Стюарта

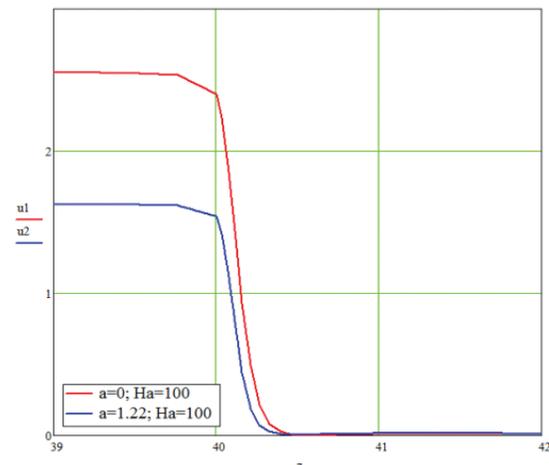


Рис. 6. Влияние проводимости стенки на длину распада струи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С увеличением числа Гартмана поперечное сечение струи вытягивается вдоль силовых линий магнитного поля, а также в области малого радиуса возникают возвратные течения, что подтверждают теоретически полученные данные.

Увеличение магнитного поля уменьшает длину трансформации струи:

$$l_z \approx \frac{l^2}{\delta N}, \quad (1)$$

в отличие от проводимости стенки, которая не оказывает почти никакого влияния [3].

На длину распада струи магнитное поле оказывает такое воздействие, что при увеличении числа Гартмана длина распада струи уменьшается, аналогично проводимость стенки уменьшает длину распада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ITER Organization. Annual report 2013. http://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/Attachments/553/2013_iter_annual_report.pdf.
2. Samad S. The flow of conducting fluids through circular pipes having finite conductivity and finite thickness under uniform transverse magnetic fields. *Int. J. Eng. Sci.*, 1981.
3. Davidson P. A. Magnetic damping of jets and vortices // *J. Fluid Mech.*, 1995.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ КАТУШЕК МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ТОКАМАКОВ

Ю.Н. Латманизова¹, А.Г. Рошаль¹

¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

e-mail: latmanizova.yuliya@sintez.niiefa.spb.su, roshal@sintez.niiefa.spb.su

В работе рассказывается об истории развития систем электропитания сверхпроводниковых катушек магнитных систем установок управляемого термоядерного синтеза типа токамак, с акцентом на установки, разработанные в АО «НИИЭФА».

Развитие токамаков шло в сторону увеличения индукции магнитных полей, необходимых для удержания плазменного шнура и управления его положением в пределах вакуумной камеры, что потребовало разработки сверхмощных систем питания, рабочие токи которых достигают десятков килоампер. При этом коммутация настолько больших постоянных токов в цепях с большой индуктивностью представляет собой сложную инженерную и научно-техническую задачу, решить которую с использованием стандартных промышленных образцов электротехнического оборудования не представляется возможным.

The paper describes the history of the development of power supply systems for superconducting coils of magnetic systems of controlled thermonuclear fusion facilities of the tokamak type, with an emphasis on facilities developed at JSC NIIEFA.

The development of tokamaks went in the direction of increasing the induction of magnetic fields necessary to hold the plasma and control its position within the vacuum chamber, which required the development of heavy-duty power supply systems, the operating currents of which reach tens of kiloamperes. At the same time, switching such large direct currents in circuits with high inductance is a complex engineering and scientific and technical problem, which cannot be solved using standard industrial samples of electrical equipment.

ВВЕДЕНИЕ

За многолетний период физических исследований на токамаках системы их электропитания эволюционировали из простейших устройств на основе конденсаторных батарей до уникальных электротехнических комплексов. [1]

В настоящее время работы, направленные на создание систем электропитания токамаков, можно считать самостоятельным направлением силовой электротехники. Это обусловлено, во-первых, их исключительными масштабами, а во-вторых, своеобразием и сложностью технических задач, решаемых при их создании.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Развитие токамаков на пути к созданию термоядерного реактора неразрывно связано с увеличением объема и времени поддержания плазменного шнура и, соответственно, с ростом энергопотребления электромагнитной системы и мощности систем электропитания, которые должны обеспечивать необходимую величину, форму и закон изменения магнитного поля в течение всего рабочего цикла.

На ранних этапах развития тематики электромагнитные системы токамаков имели резистивные обмотки. На первых токамаках в качестве источников питания использовали конденсаторные батареи, которые разряжались на обмотку с помощью игнитрона или управляемого разрядника; плазменный разряд производился в момент приближения тока к амплитудному значению. Несмотря на простоту и надежность такой схемы, ее применение ограничено малыми установками, в которых запас магнитной энергии в обмотках не превышает нескольких мегаджоулей.

Следующей ступенью развития систем электропитания токамаков стало использование электромашинного агрегата – синхронного генератора с кинетическим накопителем энергии.

Значительный скачок в развитии токамаков произошел в результате перехода от резистивных к сверхпроводниковым обмоткам, что позволило радикально снизить энергозатраты на формирование и поддержание магнитных полей. Для непрерывного поддержания тока в сверхпроводниковых обмотках в течение сколь угодно большого отрезка времени практически не требуется дополнительная мощность от внешнего источника. Ограниченная мощность необходима лишь для восполнения незначительных потерь в подводящих шинах, коммутационных аппаратах, включенных последовательно с катушками, и контактных соединениях за пределами криостата. С учетом описанных выше преимуществ большинство современных крупномасштабных токамаков имеют сверхпроводниковую магнитную систему.

Системы питания токамаков, в зависимости от вида и назначения обмоток электромагнитной системы, которые они питают, можно разделить на 3 типа:

- системы питания обмоток тороидального поля;
- системы питания обмоток полоидального поля;
- системы питания корректирующих катушек.

В международном экспериментальном термоядерном реакторе ИТЭР требуется прерывание больших постоянных токов как для создания плазменного разряда в начале каждого рабочего цикла, так и для защиты сверхпроводящих обмоток в случае появления нормальной фазы.

Высокое напряжение, необходимое для пробоя газа и инициирования плазмы, будет обеспечиваться

с помощью системы оперативной коммутации тока [2], а защиту сверхпроводящих обмоток путем перевода тока в энергопоглощающий резистор обеспечит система быстрого вывода энергии [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проекта ИТЭР в АО «НИИЭФА» для системы электропитания сверхпроводниковых обмоток были разработаны коммутационные аппараты, которые можно разделить на две группы.

Первая группа включает в себя три типа многообразных устройств: размыкатели, замыкатели и разъединители, имеющие общее конструктивное исполнение и схожие характеристики. Эти аппараты предназначены для системы оперативной коммутации. Вторая группа включает в себя приводимые в действие энергией детонации взрывчатого вещества размыкатель и замыкатель повышенной надежности, которые будут использоваться в качестве резервных защитных устройств.

Работа выполнена в рамках Договора №17706413348230000070/39-23/01 от 23.05.2023 на выполнение НИОКР «Разработка, опытное изготовление и испытания образцов коммутирующей аппаратуры, энергопоглощающих резисторов, шинпроводов и контрольно-измерительной аппаратуры для систем электропитания обмоток магнитной системы ИТЭР в 2023 году». Государственный контракт 18.01.2023 № Н.4а.241.19.23.1014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manzuk, M. V. et al.: "Type tests of switches for the ITER coil power supply system"// Fusion Engineering and Design, volume 124, – 2017 pp. 35-39.
2. Roshal, A. G. et. al., "Design and analysis of Switching Network Units for the ITER coil power supply system"// Fusion Engineering and Design 86, – 2011, pp. 1450-1453.
3. Song, I. et. al., "The Fast Discharge System of ITER Superconducting Magnets"// International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), – 2011, pp. 1-6.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ГЕОМЕТРИЮ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЩЕННЫХ К ПЛАЗМЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Н.В. Монтанк¹, М.Н. Большаков¹, В.А. Васильев¹, С.Н. Мазаев¹, А.Н. Маханьков¹

¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

e-mail: montak@sintez.niiefa.spb.su, m.bolshakov@sintez.niiefa.spb.su,

vlad.vasiliev@sintez.niiefa.spb.su, mazaev@sintez.niiefa.spb.su, amakh@sintez.niiefa.spb.su

В данной работе описывается исследование влияния гидростатических испытаний на изменение геометрических характеристик, обращенных к плазме элементов (ОПЭ) центральной сборки дивертора (ЦСД) ИТЭР со стороны вольфрамовой облицовки.

This paper describes the study of effect of hydrostatic pressure test on the geometrical dimensions of the ITER Divertor Dome Plasma-Facing Units on the side of tungsten armor.

ВВЕДЕНИЕ

Обращенный к плазме элемент – это отдельный полоидальный элемент, непосредственно обращенный к плазме. Обращенная к плазме поверхность всех ОПЭ облицовывается вольфрамовыми плитками с медным подслоем толщиной 1-2 мм, который необходим для снижения возможных термомеханических напряжений между вольфрамом и бронзой. Вследствие тороидального расширения ЦСД ширина W плиток не является постоянной величиной, а меняется по длине [1].

Целью работы стала проверка: приводят ли гидростатические испытания к деформациям ОПЭ. Для выявления возможных изменений поверхности из-за гидростатических испытаний и анализа результатов были выбраны наружные отражающие мишени, которые измерялись до и после гидростатических испытаний в одних и тех же контрольных точках.

ПРОЦЕДУРА ИСПЫТАНИЙ

Гидростатические испытания выполняются манометрическим методом при давлении $7,15 \pm 0,2$ МПа

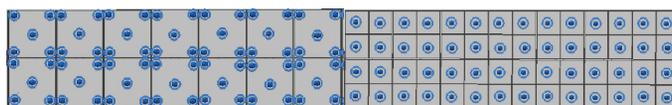


Рис. 1. Фрагменты схемы расположения контрольных точек на двух поверхностях ОПЭ

в течение 30 минут при комнатной температуре, при этом должны соблюдаться следующие критерии: не допускается видимая утечка воды, не допускается падение испытательного давления более чем на 0,2 МПа, не допускается остаточная деформация, обнаруженная визуальным контролем.

Для исследования влияния гидростатических испытаний на изменение формы обращенных к плазме элементов были проведены геометрические измерения в 578 контрольных точках в двух различных конфигурациях на поверхности вольфрамовой облицовки четырех наружных отражающих мишеней ЦСД. После гидростатических испытаний были проведены повторные геометрические измерения. Для проведения корректного сравнительного анализа геометрические измерения проводились на том же оборудовании.

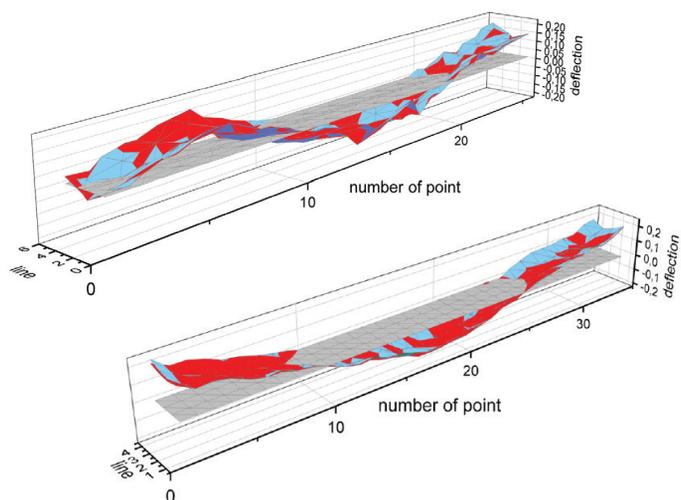


Рис. 2. Трехмерные модели поверхностей двух мишеней, где голубым и красным цветами выделены поверхности до и после испытаний соответственно

довании, в одних и тех же контрольных точках на поверхностях, измеренных до гидростатических испытаний. На рисунке 1 представлены фрагменты схемы расположения контрольных точек на поверхности вольфрамовой облицовки двух разных отражающих мишеней.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для визуальной интерпретации данных на рисунке 2 приведены трехмерные модели наружных отражающих мишеней, которые показывают отклонения измеренных точек по нормали от аппроксимированной плоскости.

За референтную поверхность принята плоскость, которая аппроксимирована из точек, измеренных на ней до проведения гидростатических испытаний.

Следует отметить, что пространственные координаты точек не важны, и измерению подвергаются отклонения от аппроксимированной плоскости. Точки, которые не лежат на этой плоскости, отражают криволинейный характер данной поверхности.

Таблица 1. Разница между геометрическими измерениями до и после гидростатических испытаний, мм

ОПЭ 1	Минимум	0,0005
	Максимум	0,017
ОПЭ 2	Минимум	0
	Максимум	0,008
ОПЭ 3	Минимум	0
	Максимум	0,0185
ОПЭ 4	Минимум	0
	Максимум	0,0065

Разница между измерениями до и после гидростатических испытаний представлена в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, максимальная измеренная разница отклонений точек на поверхности вольфрамовой облицовки до и после гидростатических испытаний не превышает пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длины ± 29 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования было обнаружено, что изменение положения точек по нормали от смоделированной поверхности не превышает пределы допускаемой погрешности измерений. Следовательно, можно сделать вывод о том, что в результате гидростатических испытаний поверхность вольфрамовой облицовки не претерпевает существенных изменений или данные изменения не велики и их значения находятся в пределах допускаемой абсолютной погрешности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуль И.В., Гиниятулин Р.Н., Кавин А.А., Литиновский Н.В., Маханьков А.Н., Пискарев П.Ю., Танчук В.Н. Обращенные к плазме компоненты токамака TRT // Физика плазмы. – 2021. – Т. 47, № 12. – С. 1103-1122. – ISSN 0367-2921.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ С СОБСТВЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Е.А. Муравьева¹, А.А. Карташева¹, В.Л. Подковыров¹, К.М. Гуторов¹

¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», г. Троицк, г. Москва

e-mail: easeal16@gmail.com

Исследована структура плазменного потока в квазистационарном сильноточном плазменном ускорителе (КСПУ). С помощью высокоскоростной камеры определено, что на срезе электродов плазменный поток делится на светлую центральную и темную периферийную части. Концентрация электронов в центральной зоне порядка $4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, на периферии – порядка $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. При этом продольная структура потока также неоднородна, образуется из чередования плотных и разреженных участков разного размера. На расстоянии 90 см от среза электродов радиальная структура потока выравнивается, продольная же остается неоднородной. Концентрация электронов на порядок меньше концентрации на срезе электродов.

The structure of the plasma flow in a quasi-stationary high-current plasma accelerator is investigated. Using a high-speed camera, it was determined that the plasma flow is divided into a light central and a dark peripheral part at the electrode section. The electron concentration in the central zone is of the order of $4 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, at the periphery of the order of $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. At the same time, the longitudinal structure of the flow is also heterogeneous, formed from the alternation of dense and sparse sections of different sizes. At a distance of 90 cm from the cut of the electrodes, the radial structure of the flow is leveled, while the longitudinal one remains heterogeneous. The concentration of electrons is an order of magnitude less than the concentration on the electrode slice.

ВВЕДЕНИЕ

Квазистационарные сильноточные плазменные ускорители (КСПУ) в настоящее время используются для испытания обращенных к плазме компонентов термоядерного реактора (ТЯР) токамака ИТЭР и исследования эрозии материалов при воздействии мощных плазменных потоков. В качестве перспективных направлений применения КСПУ рассматриваются также прикладные задачи, связанные с разработкой мощных электрореактивных плазменных двигателей. Решение поставленных задач предполагает эксплуатацию КСПУ в новых режимах работы, что, в свою очередь, требует оптимизации плазменного ускорителя с целью обеспечения определенного диапазона параметров плазменного потока, согласования с источником питания, обеспечения устойчивости. В связи с этим актуальными являются экспериментальные исследования структуры плазменного потока, генерируемого КСПУ, в том числе и определение значений концентрации электронов вдоль направления распространения плазменного потока.

ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ

Исследование проводилось на квазистационарном сильноточном плазменном ускорителе [1]. В качестве плазмообразующего газа использовался водород. Электрическая мощность, вкладываемая в разряд, составила 100 МВт. Контроль изменения структуры плазменного потока производился с помощью высокоскоростной камеры Phantom V2512. Съемка велась с экспозицией 1 мкс, интервал между кадрами составил 5 мкс. С целью исследования однородности потока на выходе ускорителя была проведена видеорегистрация излучения камерой PCO с экспозицией от 55 нс. Состав плазмы определялся путем расшифровки обзорных спектров, снятых в диапазоне 200-1000 нм. Обратная линейная дисперсия спектрометра составляет 33 нм/мм, спектральное разрешение – 1 нм. Для определения значений концентрации по уширению спектральных линий излучение регистрировалось с помощью монохроматора со спектральным разрешением 0,1 нм. На выходе монохроматора была установлена высокоскоростная камера Phantom v2640. Съемка велась с экспозицией 4 мкс и интервалом между кадрами 22 мкс.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 представлена характерная фотография структуры плазменного потока на выходе ускорителя. Из рисунка видно, что вблизи электродов интенсивность потока в радиальном направлении несимметрична: в центре излучение имеет большую

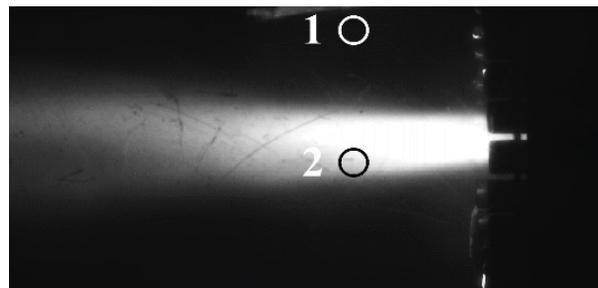


Рис. 1. Плазменный поток на выходе ускорителя. Цифрами отмечены области, из которых собиралось излучение на вход монохроматора

интенсивность, чем на периферии. Зона радиальной неоднородности имеет длину порядка 10 см. За пределами данной зоны была проведена видеорегистрация излучения с малой экспозицией, от 55 нс, с целью изучить распределение интенсивности излучения в продольном направлении. Регистрация позволила сделать вывод, что плазменный поток представляет собой чередующиеся темные и светлые области. Характерный размер каждой области составляет величину порядка 30 мм. Частота колебания интенсивности излучения составляет величину порядка 1 МГц.

Обзорные спектры показали, что центральная область (зона (2)) имеет большое число примесных линий, на периферии (зона (1)) – спектр излучения состоит практически целиком из линий плазмообразующего газа. Полученное из обзорных спектров отношение интенсивностей спектральных линий бальмеровской серии в центре и на периферии позволяет предполагать, что значение температуры электронов в зоне (1) выше, чем в зоне (2).

Зарегистрированное с помощью монохроматора уширение спектральной линии излучения H_{β} позволяет определить концентрацию электронов в центре и на периферии плазменного потока. Концентрация электронов в центральной зоне (максимум составляет порядка $(4 \pm 0,7) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) выше, чем на периферии (максимум порядка $(1 \pm 0,2) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$).

Исследование структуры потока было проведено также на расстоянии 90 см от выхода ускорителя. Полученная с помощью ФЭУ (фотоэлектронного умножителя) временная зависимость интенсивности излучения позволяет сделать вывод, что в продольном направлении колебания интенсивности излучения сохраняются. Концентрация электронов в данной области потока составляет $(2,5 \pm 0,5) \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, что на порядок меньше концентрации в центральной части на выходе ускорителя, рисунок 1.

Исследование выполнено в рамках Государственного контракта от 25.08.2022 № Н.4ф.241.09.21.1127.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климов Н.С. и др. Экспериментальное исследование интегральных характеристик потока плазмы и разряда квазистационарного сильноточного

плазменного ускорителя с собственным магнитным полем// Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез. – 2019. – Т. 42. – №. 3. – С. 52-63.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ КОММУТАЦИИ ТОКА ТОКАМАКА ИТЭР К ПОСТОЯННОМУ МАГНИТНОМУ ПОЛЮ

А.И. Семенов¹

¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург

e-mail: aleks.semenov@sintez.niiefa.spb.su

Устойчивость электронных компонентов устройства системы оперативной коммутации тока токамака ИТЭР к постоянному магнитному полю является одним из обязательных требований, предъявляемых к данному оборудованию. В статье показаны результаты проведения экспериментального тестирования электронных компонентов коммутационных аппаратов ИТЭР в постоянном и однородном магнитном поле испытательной магнитной системы, созданной на основе катушек Гельмгольца.

The stability of the electronic components of the Switching network unit apparatus of the ITER tokamak to a constant magnetic field is one of the mandatory requirements for this equipment during design. The article shows the results of experimental testing of electronic components of ITER switching devices in a constant and uniform magnetic field of a test magnetic system based on Helmholtz coils.

ВВЕДЕНИЕ

Под электромагнитной устойчивостью понимается корректное функционирование электронного устройства в условиях возникновения электромагнитных помех или воздействия постоянного магнитного поля.

Исследование устойчивости электронных компонентов проводилось на испытательной базе АО «НИИЭФА».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во время плазменного разряда, при токе плазмы около 15 МА, вокруг токамака создается квазистационарное магнитное поле, затухающее по мере удаления от источника. При этом в зоне размещения оборудования систем электропитания магнитное поле достигает величины порядка 15 мТл, и электронные компоненты устройства системы оперативной коммутации тока [1-3] должны сохранять работоспособность в таких условиях.

Исследования оборудования проводились на испытательной магнитной системе (ИМС) АО «НИИЭФА», предназначенной для создания в рабочем объеме постоянного однородного магнитного поля и прове-

дения испытаний электрофизического оборудования и других объектов на стойкость к воздействию постоянного магнитного поля в диапазоне от 1 до 60 мТл.

Установка ИМС состоит из двух пар, соосно расположенных одинаковых радиальных катушек, расстояние между центрами которых равно их среднему радиусу (кольца Гельмгольца) (рис. 1). Одна пара катушек установлена в вертикальной плоскости, вторая – в горизонтальной.

Питание установки ИМС выполнено от электромашиного агрегата – генератора постоянного тока, который обеспечивает стабильное питание системы и регулирование тока. Величина тока (и постоянного магнитного поля) контролируется измерительным преобразователем тока NXCT-F3.

Исследования оборудования проводились при воздействии постоянного магнитного поля по каждой оси в двух направлениях (X, -X, Y, -Y, Z, -Z).

Процедура экспериментального исследования устойчивости электронных компонентов к постоянному магнитному полю заключается в следующем:



Рис. 1. Испытательная магнитная система с исследуемым оборудованием

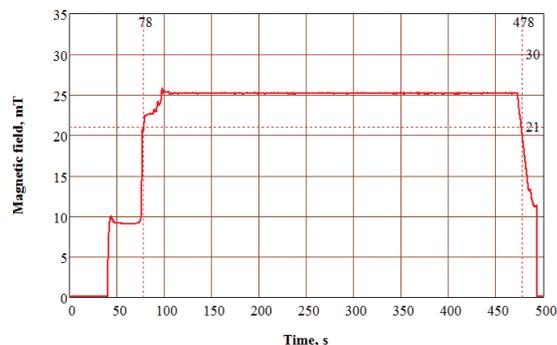


Рис. 2. График зависимости воздействия магнитного поля от времени

- объект помещается в центре системы катушек Гельмгольца;
- подключается система измерения и контроля;
- производится проверка функционирования объекта без воздействия поля.

Затем устройство подвергается воздействию магнитного поля (в одном из направлений) в течение пяти минут, и проверяется функционирование в магнитном поле.

Профиль испытательного воздействия магнитного поля постоянного тока показан на рисунке 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показаны исследования влияния постоянного магнитного поля на электронные компоненты устройства системы оперативной коммутации тока токамака ИТЭР, методика испытаний и измерений, оценка устойчивости оборудования к воздействию постоянного магнитного поля.

Работа выполнена в рамках Договора №17706413348230000070/39-23/01 от 23.05.2023 на

выполнение НИОКР «Разработка, опытное изготовление и испытания образцов коммутирующей аппаратуры, энергопоглощающих резисторов, шинопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры для систем электропитания обмоток магнитной системы ИТЭР в 2023 году». Государственный контракт 18.01.2023 № Н.4а.241.19.23.1014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roshal A., Avanesov S., Koktsinskaya, Manzuk M., Milani F., Mustafa G., Nesterenko A., Song I., Filippov A., Frolov A. // Design and analysis of Switching Network Units for the ITER coil power supply system. Fusion Engineering and Design 86 (6):1450-1453. 2011.

2. Bareyt B. The switching network and discharge circuit of ITER // Proc. 19th Symposium on Fusion Technology (SOFT), Lisbon, Portugal, 16-20 September 1996, pp. 1059-1062.

3. Manzuk, M. V. et al.: "Type tests of switches for the ITER coil power supply system" // Fusion Engineering and Design, volume 124, – 2017 pp. 35-39.

ИТЭР. ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ЧАСТЬЮ ПРОЕКТА

П.А. Сергеев¹, Ю.Н. Савченко¹

¹ЧУ «ИТЭР-Центр», г. Москва

e-mail: p.sergeev@iterrf.ru, y.savchenko@iterrf.ru

Очевидно, что развитие любой страны определяется уровнем потребления энергии. В последние годы многие страны начали переход от энергетики на ископаемом топливе к т. н. «зеленой» энергетике. Но оказалось, что и «зеленая» энергетика не может обеспечить потребности общества. Опять потребовались газ и уголь. Опять заговорили о развитии атомной энергетики для достижения целей устойчивого развития и особенно о термоядерной энергетике как неисчерпаемом источнике энергии. Тем самым подтвердив правильность стратегической линии на строительство физической установки, которой является ИТЭР и на которой должны быть решены все задачи, необходимые для принятия решения о строительстве термоядерной электростанции.

Особенностью и основой уникального проекта является изготовление странами-участниками оборудования и систем токамака и его инфраструктуры за счет собственных промышленности и средств. При соблюдении единых технических и управленческих стандартов.

На данном этапе ИТЭР вступил в наиболее сложную фазу строительства – сборку токамака. Это потребовало перестроить систему управления. В прошлые годы график работ по проекту «собирался» из графиков работ домашних агентств, которые обладали различными ресурсными возможностями и, соответственно, различным темпом создания систем. Теперь за основу приняли единый график поставок оборудования на ИТЭР с требованием беспрекословного выполнения этих поставок.

Obviously, the growth of any country is determined by the level of energy consumption. In recent years, many countries have begun the transition from fossil fuel energy to the so-called «green» energy. But it turned out that the «green» energy cannot meet the needs of society. Gas and coal were needed again. People started talking again about the development of nuclear energy to achieve the goals of sustainable growth and, especially, about thermonuclear energy as an inexhaustible source of energy. Thus, confirming the correctness of the strategic line for the construction of a physical installation, which is ITER, and on which all the tasks necessary for making a decision on the construction of a thermonuclear power plant should be solved.

The peculiarity and basis of the unique project is the manufacture by the participating countries of tokamak equipment and systems and its infrastructure by their industry and for their own financing. In compliance with uniform technical and management standards.

At this stage, ITER has entered the most difficult phase of construction – the assembly of the tokamak. This required rebuilding the management system. In the past years, the working schedule on the project was «assembled» from the schedules of activities of home agencies that had different resource capabilities and, accordingly, different rates of system creation. Now a single schedule of equipment deliveries to ITER has been adopted as a basis with the requirement of unquestioning fulfillment of these deliveries.

ВВЕДЕНИЕ

Проект ИТЭР очень сложный как с точки зрения техники и технологий, так и с точки зрения управления. Проектная команда состоит из Международной организации ИТЭР и семи стран-участниц. Управление проектом на уровне стран-участниц осложняется тем, что необходимо работать по стандартам ИТЭР и в то же время учитывать национальные стандарты и правила.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В докладе представлены принципы и элементы управления российской частью проекта и действия при возникающих изменениях. К ним относятся:

- особенности планирования и бюджетирования российской части проекта;
- создание и контроль графика изготовления и поставок оборудования российскими организациями-поставщиками в соответствии с графиком сооружения ИТЭР;
- создание системы документооборота с Госкорпорацией «Росатом»;

- информационное обеспечение и цифровизация управления при соблюдении единых с Международной организацией ИТЭР стандартов управления (Primavera, PLM и др.);

- выработка новых стандартов управления при возникающих изменениях проекта ИТЭР;
- оценка рисков невыполнения госконтрактов.

В докладе также представлено выполнение обязательств РФ по изготовлению и поставкам оборудования для устойчивой сборки токамака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в докладе принципы и элементы управления российской частью проекта и действия при возникающих изменениях дают представление о том, как и в каких условиях выполняется проект, с какими вызовами приходится сталкиваться, обретая бесценный опыт при их решении.

Работа выполнена по государственному контракту с Госкорпорацией «Росатом» от 18.01.2023 № Н.4а. 241.19.23.1014.

ПОДХОДЫ К УЧЕТУ ОСОБЕННОСТЕЙ ИННОВАЦИОННЫХ ЯДЕРНЫХ И ТЕРМОЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИХ РЕГУЛИРОВАНИИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Курындин¹, А.М. Киркин¹, С.В. Синегрибов¹, М.А. Бучихин¹

¹ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва

e-mail: kuryndin@secnrs.ru, kirkin@secnrs.ru, sinegribov@secnrs.ru, buchihin@secnrs.ru

Наиболее перспективными и не имеющими ограничений, связанных с географическим местоположением, источниками энергии по праву считается атомная энергетика, а в будущем термоядерная энергетика. При этом установки управляемого термоядерного синтеза, как правило, являются источниками высокоэнергетического нейтронного излучения, что определяет их связь с областью использования атомной энергии. Однако специфические факторы опасности инновационных ядерных и термоядерных технологий приводят к необходимости разработки специализированных подходов к регулированию и обеспечению безопасности, что является одной из наиболее актуальных задач, требующей корректировки действующих и разработки новых нормативных документов.

Nuclear energy and in future fusion energy are considered as the most prospective energy sources without any geographic location limitations. Moreover, fusion facilities usually are sources of high-energy neutron radiation, which determines their connection with the field of atomic energy use. However, the specific hazards of innovative technologies lead to the necessity to develop customized approaches to safety regulation and provision. Accordingly, safety regulation of the innovative nuclear and fusion installations safety is one of the most urgent tasks that requires the adjustment of existing and the development of new regulatory documents.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время как в Российской Федерации, так и в мировом сообществе растет интерес к инновационным ядерным и термоядерным технологиям, которые в перспективе позволят повысить эффективность производства электроэнергии и использования тепловой энергии и нейтронных потоков.

В Российской Федерации исторически сложилась практика промышленного внедрения наиболее инновационных реакторных технологий. При этом одним из наиболее важных факторов, определивших возможность реализации таких проектов, стала заблаговременная разработка специализированной норма-

тивной правовой базы.

В соответствии с документами стратегического планирования Российской Федерации в рамках ряда государственных программ разрабатываются наиболее перспективные технологии жидкосольевых реакторов и установок управляемого термоядерного синтеза (УТС).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Поддержание высокого уровня безопасности объектов использования атомной энергии требует своевременной разработки и актуализации нормативной правовой базы. В рамках научно-технической под-

держки Ростехнадзора в ФБУ «НТЦ ЯРБ» проводятся комплексные научно-исследовательские работы, которые включают анализ особенностей зарубежных инновационных проектов и международной практики регулирования их безопасности, анализ информации о перспективных российских технологиях (в том числе во взаимодействии с проектировщиками), оценку применимости требований действующих нормативных документов к инновационным проектам, а также разработку предложений по внесению изменений в действующие и разработке новых нормативных правовых актов в области использования атомной энергии.

При этом выявление потенциальных проблем регулирования и обеспечения безопасности может проводиться на ранних этапах проектирования при неполной комплектности проектной и конструкторской документации и зачастую позволяет заблаговременно внести изменения в проект будущей установки.

Схожие подходы реализуются в международной практике в отношении первых в своем роде ядерных и термоядерных установок в рамках процедуры предварительного лицензирования (англ. pre-licensing). Такая процедура осуществляется Комиссией по ядерной безопасности Канады (CNSC), а также аналогичные подходы реализуются в США, Великобритании, Франции и Южной Корее.

ФБУ «НТЦ ЯРБ» проведены работы по анализу соответствия принятой АО «НИКИЭТ» концепции исследовательского жидкосолевого реактора (ИЖСР) требованиям действующего в Российской Федерации законодательства, норм и правил в области использования атомной энергии, а также по оценке достаточности данных требований для нормативного регулирования ядерной и радиационной безопасности ИЖСР. По результатам разработан и согласован с Ростехнадзором и Госкорпорацией «Росатом» План разработки (переработки, актуализации) нормативных документов, регламентирующих вопросы безопасности исследовательских ядерных установок с жидкосолевыми ядерными реакторами (окончание работ планируется в 2026 году). В частности, в рамках реализации указанного плана разрабатывается проект федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, устанавливающих требования по ядерной безопасности исследовательских реакторов солевым топливом. В связи со спецификой используемого в ИЖСР топлива в виде расплава солей ядерных материалов, данный нормативный документ содержит ряд требований по обеспечению ядерной безопасности, характерных для предприятий ядерного топливного цикла по переработке ядерного топлива.

С точки зрения необходимости совершенствования нормативной правовой базы регулирование безопасности технологий управляемого термоядерного синтеза является гораздо более сложной задачей. Это связано в первую очередь с тем, что в действующем законодательстве Российской Федерации установки управляемого термоядерного синтеза не определены в качестве объектов регулирования. В связи с чем Ростехнадзором совместно с Госкорпорацией «Росатом» осуществляется разработка проекта изменений в Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (далее – Законопроект). Внесение предусмотренных Законопроектом изменений станет основой для разработки ряда нормативных правовых актов, необходимых для лицензирования и обеспечения безопасности будущих установок управляемого термоядерного синтеза. ФБУ «НТЦ ЯРБ» в рамках оказания научно-технической поддержки Ростехнадзора осуществляет подготовку комплекта документов, необходимых для принятия Законопроекта. Также параллельно проводятся научно-исследовательские работы по разработке подходов к регулированию и обеспечению безопасности установок управляемого термоядерного синтеза. В частности, в рамках этой деятельности разработана первая редакция глоссария термоядерных установок [1], содержащая определения терминов, которые в дальнейшем будут использоваться в нормативных документах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимодействие организаций отрасли и органа регулирования безопасности (с привлечением организаций научно-технической поддержки) до начала основных этапов рассмотрения обосновывающих безопасность документов с целью выявления специфических особенностей обеспечения безопасности инновационных объектов является хорошей практикой и отвечает современным международным тенденциям. Такая совместная работа Ростехнадзора и Госкорпорации «Росатом» способствует своевременной разработке и внедрению в нормативную правовую базу документов, учитывающих специфические особенности и факторы опасности инновационных ядерных и термоядерных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарафутдинов Р.Б. и др. Установки управляемого термоядерного синтеза. Глоссарий (первая редакция). Preprint № SEC NRS-2023-01. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2023. – 41 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОММУТАЦИИ РАЗМЫКАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ИТЭР

А.А. Соленьий¹, Е.Р. Терещенко¹, А.И. Соколова¹
¹АО «НИИЭФА», г. Санкт-Петербург, Россия
 e-mail: solenyu.artem@mail.ru

Статья посвящена исследованию процесса коммутации гибридного коммутационного аппарата, являющегося основным размыкателем устройства оперативной коммутации тока в системе электропитания сверхпроводниковых катушек токамака ИТЭР.

The article is devoted to the study of the switching process of a DC circuit breaker, which is the main circuit breaker of the power supply system for the superconducting coils of the ITER tokamak. The principle of operation of a Switching network unit circuit breaker and the process of current switching and its output to the load resistor are shown.

ВВЕДЕНИЕ

Термоядерный реактор ИТЭР – сложная электрофизическая установка, потребляющая колоссальное количество энергии, требующая разработки и применения уникальных технологий для обеспечения нормального функционирования.

Длительный режим горения плазменного разряда в сочетании с огромной энергоемкостью сверхпроводниковых катушек токамака ИТЭР накладывает на источники питания серьезные требования по мощности и способности длительного поддержания тока, выполнение которых осуществляется за счет использования сверхпроводниковых катушек в качестве индуктивного накопителя для создания условий, при которых происходит омический нагрев и пробой плазменного шнура.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Системы питания обмоток полоидального поля работают в импульсном режиме.

Полоидальное магнитное поле формируется несколькими обмотками. Их можно разделить на две группы. Одна из них – это обмотки центрального соленоида, генерирующие вихревое электрическое поле, необходимое для образования и омического нагрева плазмы; другая – обмотки управления положением плазменного шнура, обеспечивающие его удержание в равновесном состоянии [1].

Функция прерывания постоянного тока при иницировании плазменного разряда возложена на размыкающие устройства многократного действия (РУМД), входящие в состав системы оперативной коммутации тока, электрическая схема которой показана на рисунке 1.

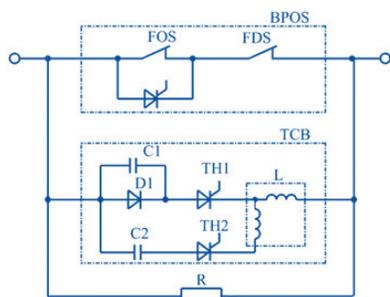


Рис. 1. Принципиальная схема РУМД

Гибридный аппарат состоит из блока «механических» аппаратов (BPOS) [3] с пневмоэлектрическим приводом, контакты одного из которых шунтированы полупроводниковыми ключами-тиристорами, и двухступенчатой батареи противотока, выполняющей функции импульсного коммутатора (TCB).

Коммутация происходит в автоматическом режиме и имеет следующую последовательность.

1. Перевод тока при размыкании механических контактов аппарата КТК (FOS) в тиристоры TH, включенные параллельно его механическим контактам.
2. Запирание тиристоров TH, которое происходит при создании искусственного нуля тока в цепи КТК/БВР (BPOS) за счет разряда конденсатора C1 импульсного коммутатора (TCB) встречно основному току.
3. Перевод тока в тиристоры TH1 и диод D1 импульсного коммутатора (TCB) на время, достаточное для размыкания и восстановления электрической прочности за счет размыкания механических контактов разъединителя БВР (FDS).
4. Запирание тиристоров TH1 импульсного коммутатора (TCB) за счет разряда конденсатора C2 встречно основному току.
5. Перевод тока в энергопоглощающий резистор R, установленный параллельно размыкателю, в процессе перезаряда конденсатора C2 [2].

Целью работы является исследование коммутационного процесса в размыкателе постоянного тока.

Для проведения исследований процесса коммутации постоянного тока был подготовлен испытательный стенд на базе генератора импульсных токов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были проведены исследования процесса коммутации размыкателем постоянного тока, подтверждены его характеристики и алгоритм функционирования.

Работа выполнена в рамках Договора №17706413348230000070/39-23/01 от 23.05.2023 на выполнение НИОКР «Разработка, опытное изготовление и испытания образцов коммутирующей аппаратуры, энергопоглощающих резисторов, шинпроводов и контрольно-измерительной аппаратуры для систем электропитания обмоток магнитной системы ИТЭР

в 2023 году». Государственный контракт 18.01.2023 № Н.4а.241.19.23.1014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roshal A., Avanesov S., Koktsinskaya, Manzuk M., Milani F., Mustafa G., Nesterenko A., Song I., Filippov A., Frolov A. // Design and analysis of Switching Network Units for the ITER coil power supply system. Fusion Engineering and Design 86 (6):1450-1453. 2011.

2. Bareyt B. The switching network and discharge circuit of ITER // Proc. 19th Symposium on Fusion Technology (SOFT), Lisbon, Portugal, 16-20 September 1996, pp. 1059-1062.

3. Manzuk, M.V. et al.: "Type tests of switches for the ITER coil power supply system" // Fusion Engineering and Design, volume 124, – 2017 pp. 35-39.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМОЙ ТОКАМАКА Т-15МД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПУСКА

Г.Б. Игонькина¹, А.Г. Качкин¹, М.М. Соколов¹, Э.Н. Хайрутдинов¹
¹НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва
e-mail: eduard@khayrutdinov.ru

В докладе освещается модернизация программно-технического комплекса системы управления плазмой токамака Т-15МД и локальной системы управления тиристорными преобразователями источников питания обмоток индуктора (центрального соленоида) CS1-CS3 и тороидальной обмотки TF, а также информационных сетей с целью повышения точности синхронизации работы электромагнитной системы токамака, уменьшения времени передачи уставок коррекции токов в обмотках в цикле управления плазмой и оптимизации совместной работы тиристорных выпрямителей в составе системы импульсного электропитания для обеспечения энергетического пуска установки токамак Т-15МД.

The report describes the modernization of the T-15MD tokamak plasma control system software and hardware complex and local control system of power supply sources thyristor converters of inductor coils (central solenoid) CS1-CS3 and toroidal field coils TF, as well as information networks to improve the accuracy of T-15MD electromagnetic system synchronization, to reduce time of setting currents correction transfer in the coils during plasma control cycle and optimization of thyristor converters joint operation as a part of pulse power supply system to provide power start-up of T-15MD tokamak.

ВВЕДЕНИЕ

Токамаки с D-образным поперечным сечением являются одним из наиболее перспективных направлений управляемого термоядерного синтеза. На их основе планируется создавать термоядерные источники нейтронов, гибридные термоядерные реакторы и термоядерные энергетические реакторы. Нагрев и удержание плазмы в токамаках для обеспечения самоподдерживающейся термоядерной реакции обеспечивают системы магнитного и кинетического управления плазмой с обратной связью. Магнитное удержание плазменного шнура в установке типа токамак осуществляется при помощи электромагнитной системы, состоящей из обмоток, генерирующих тороидальное и полоидальное магнитные поля. Ввод тока в обмотки электромагнитной системы осуществляется при помощи управляемых тиристорных выпрямителей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В ходе осенней экспериментальной кампании на токамаке КТМ в 2021 году специалисты НИЦ «Курчатовский институт» обратили внимание на то, что недостаточная точность синхронизации тиристорных выпрямителей, в особенности тех, что отвечают за электропитание центрального соленоида, аналогичных используемым на установке Т-15МД [1], влечет уменьшение количества успешных разрядов. В связи

с этим было принято решение о проведении работ по улучшению параметров синхронизации тиристорных преобразователей обмоток тороидального поля и центрального соленоида на установке Т-15МД ввиду единообразия их конструктива и имеющихся цепей управления. Тиристорные преобразователи были поставлены с собственной системой управления, реализованной с использованием RS-протоколов обмена данными и разнесенной на различные контроллеры (распределенная система). К сожалению, в ходе испытаний было выявлено, что во время эксперимента контроллеры электропитания допускают многочисленные пропуски цикла управления, приводя к рассинхронизации и запаздыванию реализации необходимой магнитной конфигурации, что, в свою очередь, ведет либо к дестабилизации полученного разряда, либо к отсутствию пробоя при возникновении описанных эффектов на начальной стадии. Так как этот эффект может приводить и к аварийной ситуации в группе из 4 тиристорных преобразователей обмотки тороидального поля, было принято решение о проведении работ по разработке и реализации новой архитектуры аппаратно-программного комплекса системы импульсного электропитания и системы управления плазмой на платформе NI PXIe с собственной системой регистрации электромагнитной диагностики [2] для лимитерной конфигурации электромагнитной

системы Т-15МД. В среде LabVIEW разработано программное обеспечение контроллера и автоматизированного рабочего места системы управления плазмой для энергетического пуска, а также выполнена калибровка измерительных каналов (датчики контуров обратной связи), настройка регулятора, замена и оптимизация интерфейсов и протоколов связи между составными частями комплекса системы импульсного электропитания и системы управления плазмой [3] с использованием сети рефлексивной памяти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализованные изменения, затронувшие автоматизированную систему импульсного электропитания, систему управления плазмой и систему синхронизации и координации скоростных систем, обеспечили энергетический пуск токамака Т-15МД и позволяют стабильно получать плазменный разряд с заданными параметрами, увеличив количество успешно реализованных экспериментов установки Т-15МД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хвостенко П.П., Анашкин И.О., Бондарчук Э.Н., Инютин Н.В., Крылов В.А., Левин И.В., Минеев А.Б., Соколов М.М. Экспериментальная термоядерная установка токамак Т-15МД. // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез – 2019, т. 42, вып. 1, с. 15-38.
2. Sushkov A.V., Belov A.M., Igonkina G.B., Kachkin A.G., Khayrutdinov E.N. Melnikov A.V., Sokolov M.M. Design of inductive sensors and data acquisition system for diagnostics of magnetohydrodynamic instabilities on the T-15MD tokamak // Fusion Engineering and Design – 2019. – Т. 146 – С.383-387.
3. Sokolov M.M., Kachkin A.G., Dokuka V.N., Khayrutdinov R.R., Igonkina G.B., Khayrutdinov E.N., Sushkov A.V., Khvostenko P.P. The architecture and test-bed of the T-15MD tokamak plasma control system // 31th symposium on fusion technology (2020), Topic C – Plasma Engineering and CODAC, Poster P4.093, Book of Abstracts – 2020, p. 666.

СТЕНДЫ ТРИТИЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА ТЕРМОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Т.А. Шишкова¹, Б.В. Иванов¹, С.С. Ананьев¹, Б.В. Кутеев¹
¹НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва
 e-mail: anfimova_t_a@mail.ru

В рамках федерального проекта «Разработка технологий управляемого термоядерного синтеза и инновационных плазменных технологий» комплексной программы РТТН Госкорпорации «Росатом» планируется создание комплекса лабораторных стендов в соответствии с программой развития термоядерных и гибридных систем синтез-деление, реализуемой НИЦ «Курчатовский институт». Данный комплекс стендов предназначен для отработки технологий термоядерного топливного цикла, тестирования перспективных технологий и материалов, а также для подготовки научного персонала. Доклад посвящен описанию кандидатных технологий обращения с топливными изотопами водорода.

Within the framework of the federal project «Development of controlled thermonuclear fusion technologies and innovative plasma technologies» of the comprehensive program of the State Corporation Rosatom, it is planned to create a complex of laboratory stands in accordance with the program for the development of fusion and hybrid fusion-fission systems implemented by the National Research Center «Kurchatov Institute». This complex of stands is intended for testing the fusion fuel cycle technologies, testing promising technologies and materials, as well as for the preparation of scientific personnel. The report is devoted to the description of the following candidate technologies for handling fuel hydrogen isotopes.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых систем любой термоядерной или гибридной установки является топливный цикл, обеспечивающий переработку и оборот топливной смеси – дейтерия и трития – во всех узлах установки [1].

Топливный цикл представляет собой совокупность взаимосвязанных систем, каждая из которых выполняет определенные технологические функции. В основе соответствующих систем ТЦ лежат отдельные технологии, обеспечивающие откачку газов, инъекцию в плазму, хранение топливных изотопов, очистку топлива от химических примесей, разделение изотопов водорода. Помимо выполнения отдельных технологических функций, системы топливного цикла должны отвечать общим требованиям безопас-

ности, поскольку топливный изотоп тритий является радиоактивным. В связи с тем, что попадание радиоактивного трития за пределы реактора является источником потенциальной опасности для здоровья населения, системы ТЦ должны обеспечивать контроль трития и исключать вероятность его утечки. Необходимость снижения потерь трития во всех узлах установки и обеспечения его возврата в реактор обусловлены также высокой стоимостью и ограниченностью ресурсов трития.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Технологические решения, реализованные на эксплуатируемых ранее тритиевых термоядерных установках (JET и TFTR), могут быть использованы

в проектируемых термоядерных и гибридных реакторах лишь частично, так как определяющим фактором при создании систем переработки трития является его количество [2]. Поскольку в проектируемых установках, например таких как ДЕМО-ТИН, планируется использовать сравнительно большие количества трития (~1 кг), то потребуются предварительная отработка технологий, обеспечивающих эффективную и надежную переработку топливных изотопов в соответствии с требуемыми эксплуатационными параметрами функциональных систем ТЦ.

Одними из ключевых систем ТЦ, обеспечивающих оборот изотопов водорода, являются системы хранения, очистки и разделения топливных изотопов. Для создания этих систем в качестве кандидатов технологий предлагаются сорбционные методы хранения, мембранно-каталитический метод очистки от примесей и хроматографическое разделение изотопов водорода соответственно. Выбор данных технологий обусловлен рядом их преимуществ. Мембранно-каталитический метод позволяет наиболее эффективно перерабатывать большие потоки водородсодержащих газовых смесей, поступающих из камеры токамака. Хроматография может обеспечить высокую степень разделения изотопов водорода, а новое направление хроматографического разделения – термоциклическая абсорбция при переменной температуре – позволит сделать процесс разделения непрерывным. Хранение изотопов водорода в виде гидридов металлов по сравнению с другими методами позволит обеспечить наиболее высокий уровень безопасности хранения трития.

Несмотря на то что некоторые технологии успешно зарекомендовали себя в различных областях применения, их внедрение в системы топливного цикла с обеспечением необходимых параметров работы требует экспериментальных исследований. Этапу соз-

дания полномасштабных технологических систем и отработке их совместной работы должны предшествовать стендовые испытания узлов установок с модельными газовыми смесями без трития. Несмотря на то что реализуемые в лабораторных стендах эксплуатационные условия использования технологий будут отличаться от планируемых параметров в гибридных и термоядерных установках, стендовые испытания технологий и материалов для топливного цикла предоставляют возможность провести анализ рисков и минимизировать их при создании полномасштабных макетов, интегрированных в общую структуру.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы развития термоядерной и гибридной атомной энергетики, сочетающей ядерные и термоядерные технологии, делают актуальной задачу отработки ключевых систем термоядерных и гибридных реакторов, в том числе системы топливного цикла.

Создание в Российской Федерации комплекса лабораторных стендов и проведение стендовых испытаний позволит не только отработать существующие и протестировать перспективные технологии и материалы для ТЦ, но и позволит решить такие важные задачи, как подготовка научного персонала и испытание технологического оборудования.

Работа поддержана Национальным исследовательским центром «Курчатовский институт».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ananyev S.S., Ivanov B.V., Kuteev B.V. Analysis of promising technologies of DEMO-FNS fuel cycle // Fusion Eng. – 2020. P. 111940.
2. Иванов Б.В., Ананьев С.С. Оценка уровня готовности технологий тритиевого цикла в России на примере проекта гибридного реактора ДЕМО-ТИН // ВАНТ. Сер. Терм. Синтез. – 2021. – С. 5.

PITTING CORROSION BEHAVIOUR OF AUSTENITIC AND FERRITIC STAINLESS STEELS INVESTIGATED BY IMAGE-ASSISTED ELECTROCHEMICAL METHOD

A. Amaechina^{1,2}

¹School of Nuclear Engineering and Technology, Tomsk Polytechnic University, Tomsk

²University of Manchester, U.K.

e-mail: anthony.amaechina@gmail.com

Investigation of pitting corrosion has been carried out on various stainless-steel alloys of grades 304L, 316L and 444 alloys in aerated 3.5 wt% NaCl at room temperature. Image-assisted electrochemical method IAEM (cyclic polarisation) was used to observe the degree of susceptibility of the alloy with real-time micrographs obtained at specific time intervals during the polarization of the stainless-steel alloys. Furthermore, surface profiling was carried out with white light interferometer (WLI) and optical micrograph (OM) to observe the different stainless steel alloys' pitting corrosion geometries. The investigation revealed that 304L SS was most susceptible to pitting corrosion.

INTRODUCTION

Stainless steels are known to be corrosion resistant alloys due to their chromium content of at least 10.5%. Material composition is known to be a key factor in their superior performance such as corrosion resistance. These properties make them versatile to industrial applications such as nuclear application among others. Although stainless steel is corrosion resistant, it is still prone to localized corrosion such as pitting corrosion in certain environments.

This work is aimed at studying stainless steel (Grades 316, 304, 444) susceptibility to pitting corrosion in simulated chloride environment by means of IAEM, WLI and OM.

MAIN PART

Materials and compositions. In the cause of this work austenitic stainless steel (304L and 316L) and ferritic stainless steel (444) are studied (Table 1).

Sample Preparation. The procedures listed below are used in sample preparation:

1. Specimen of rectangular sizes 2mm x 3mm for the pitting corrosion investigation was obtained.
2. Silicon carbide papers of up to 4000 grit size are used to polish sample surface.
3. Sample was degreased with acetone in an ultrasonic bath after which was rinsed with deionized water and dried with cool air stream.
4. Finally, the samples were coated with beeswax to expose the desired area (1cm²) of the samples for the tests for pitting corrosion investigation.

Experimental Setup is presented on Fig. 1.

Results. In this chapter the corrosion behaviour of austenitic (304, 316) and ferritic (444) stainless steels

are presented and discussed. The analyses are based on results obtained from image assisted electrochemical method (cyclic polarization), optical microscope and white light interferometer (Fig. 2).

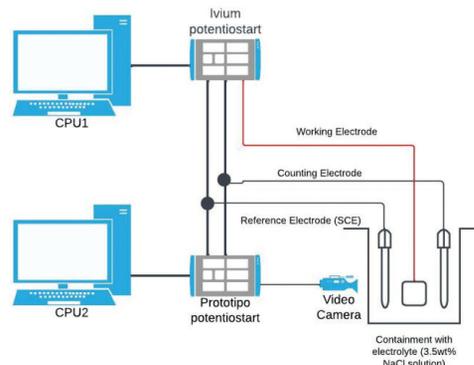


Fig. 1. Schematic of the experimental setup

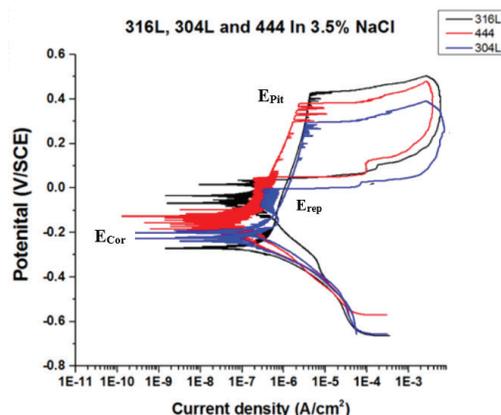


Fig. 2. Cyclic polarization curves of 304L SS, 316L SS and 444 SS in 3.5 wt % NaCl solutions aerated

Table 1. SS Compositions from X-ray diffraction analysis (XRD)

Alloys	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N	Mo
304L	0.03	2.00	0.045	0.03	0.75	18-20	8	0.10	–
316L	0.03	2.00	0.045	0.03	0.75	16-18	10-14	0.10	2-3
444	0.025	1.00	0.040	0.03	1	17-19	1	0.035	1.75-2.50

Note: values are given in weight %; 'L' indicates low carbon in the steel.

Table 2. Data during the cyclic polarizations of the steels

Samples	E_{Pit} (v/SCE)	E_{Rep} (v/SCE)	E_{Cor} (v/SCE)	$E_{Pit} - E_{Cor}$ (v/SCE)	$E_{Pit} - E_{Rep}$ (v/SCE)	$E_{Rep} - E_{Cor}$ (v/SCE)
304L SS	0.297	0.015	-0.198	0.496	0.282	0.177
316L SS	0.432	0.037	-0.273	0.705	0.395	0.309
444L SS	0.345	0.054	-0.173	0.518	0.291	0.227

Material susceptibility to pitting can be analysed using these potentials. Pit nucleation resistance can be given as $E_{Pit} - E_{Cor}$. Re-passivate can be obtained by the difference between $E_{Pit} - E_{Rep}$ and the range of protection is given as $E_{Rep} - E_{Cor}$. Where: (E_{Cor}), (E_{Pit}), (E_{Rep}) are corrosion, pitting and re-passivation potentials (Table 2).

Result Discussion. Comparing the data in Table 2 in terms of pit nucleation resistance ($E_{Rep} - E_{Cor}$), 304L SS is the most susceptible to pitting next to 444 SS and then 316L SS.

The size of the hysteresis ($E_{Pit} - E_{Rep}$) could also be considered as a measure of material susceptibility as stated by Frankel in his review article on pitting. Thus, the size of the loop (hysteresis) can be an indication of the steels re-passivate.

Based on the above, the stainless-steel alloys can also be arranged in an order of re-passivation capacity as: 316L SS > 304L SS > 444 SS. Although protection potential range ($E_{Rep} - E_{Cor}$) gives the order:

304L SS > 444 SS > 316L SS.

Furthermore, it can be said that 316L SS has the highest resistance to pitting corrosion. The order of susceptibility can be ranked as:

304L > 444 SS > 316L SS.

This, the order of susceptibility agrees with literature considering their pitting resistance equivalent number ($PRE = \% Cr + 3.3 \% Mo + 16 \% N$), which is given as 17.5 for 304L SS, 25 for 316L SS and 20 for 444 SS. Susceptibility of the alloy is most likely dependent on their varying alloying compositions.

Additions of Cr, Mo and N have shown to have positive effect on the pitting behaviour of steels stainless steel.

Considering the composition of the alloys, 304L SS has no molybdenum (Mo) but a Cr content of about (18 %-20 %) and nitrogen of about (0.1%). 316L SS has Mo of about (2 %-3 %) with Cr of (16 %-18 %) and N of (0.1 %) and 444 SS contains Mo (1.75 %-2.50 %), Cr (17 %-19 %) and N (0.03 %). The absence of Mo in 304L SS which plays a very vital role in enhancing material resistance to localized corrosion may be a reason for its high susceptibility compared to localized corrosion 444 SS and 316L SS [1].

Analysis based on WLI of the indicated that 444 SS had pits with greatest depth of -17.6 μ m next to 316 SS and 304 SS with depths of -11.58 μ m and -11.15 μ m.

CONCLUSION

Experimental data indicated 304L is most susceptible to pitting corrosion.

The order of susceptibility of the stainless-steel alloys is given as 304L SS > 444 SS > 316L SS. This could be attributed to the compositional variations and distribution of inclusions in the alloys.

REFERENCES

1. R.W. Revie, H.H. Uhlig, and Electrochemical Society, Uhlig's corrosion handbook, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2000. [Online]. Available: <http://uclibs.org/PID/109990>.

ОЧИСТКА ^{223}Ra МЕТОДОМ КАТИОНООБМЕННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ НА СИЛЬНОКИСЛОМ КАТИОНИТЕ BIO RAD AG 50W-X8

В.Г. Аббязова¹, Р.Г. Абдуллоев¹, А.В. Борзова¹, А.Ю. Енизеркина¹, И.Л. Буткалюк¹, П.С. Буткалюк¹

¹АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград

e-mail: niar@niar.ru

В работе исследуются режимы очистки препарата ^{223}Ra от радиоактивных и нерадиоактивных примесей на сильнокислом катионите Bio Rad AG 50W-X8 (100-200 меш) из растворов, содержащих аммонийную соль этилендиаминтетрауксусной кислоты.

The paper investigates the modes of purification of the ^{223}Ra preparation from radioactive and non-radioactive impurities on a strongly acidic cation exchanger Bio Rad AG 50W-X8 (100-200 mesh) from solutions containing ammonium salt of ethylenediaminetetraacetic acid.

ВВЕДЕНИЕ

Препарат хлорид ^{223}Ra имеет доказанную эффективность для терапии костных метастазов рака предстательной железы. В 2022 году в рамках импортозамещения в АО «ГНЦ НИИАР» был создан

участок производства препарата на основе ^{223}Ra . Сырьем для получения ^{223}Ra является нитрат ^{227}Ac , ранее выделенный из облученных радиевых мишеней [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Схема получения ^{223}Ra основана на промежуточном отделении ^{227}Th от ^{227}Ac методом анионообменной хроматографии в азотной кислоте с концентрацией 8 моль/л. Преимуществом данной схемы является дополнительная очистка от долгоживущего ^{227}Ac на первой стадии процесса. После накопления ^{223}Ra проводится его отделение от ^{227}Th в аналогичных условиях. К препаратам на основе ^{223}Ra предъявляются строгие требования по содержанию радиоактивных и нерадиоактивных примесей, для финальной очистки от которых можно использовать метод катионообменной хроматографии.

Целью данной работы являлось исследование и подбор режимов очистки ^{223}Ra на катионообменной смоле Bio Rad AG 50W-X8 (100-200 меш). Сорбцию радия проводили из растворов, содержащих аммонийную соль этилендиаминтетрауксусной кислоты $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{ЭДТА}$ в ацетатно-аммиачном буферном растворе. После этого колонку промывали буферным раствором для удаления следов $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{ЭДТА}$ и раз-

бавленной соляной кислотой для удаления солей аммония. Радий элюировали соляной кислотой с концентрацией 8 моль/л.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изучались коэффициенты распределения ^{223}Ra между катионитом Bio Rad AG 50W-X8 (100-200 меш) и раствором $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{ЭДТА}$ в зависимости от концентраций комплексообразователя и буферного раствора, а также величины pH. Были определены необходимые объемы растворов HCl различной концентрации для удаления солей аммония и элюирования радия. В выбранных условиях были получены опытные партии ^{223}Ra и определены их характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Р.А., Буткалюк П.С., Тарасов В.А., Баранов А.Ю., Буткалюк И.Л., Романов Е.Г., Куприянов В.Н., Казакова Е.В. Выходы продуктов активации при облучении ^{226}Ra в высокопоточном реакторе СМ // Радиохимия. 2012. Т. 54. №. 4. С. 352-356.

ПОЛУЧЕНИЕ КАЛИФОРНИЯ-252 ОБЛУЧЕНИЕМ БЕРКЛИЕВЫХ МИШЕНЕЙ С МЕДНЫМ РАЗБАВИТЕЛЕМ

Р.Г. Абдуллоев¹, П.С. Буткалюк¹, А.В. Куприянов¹, Д.А. Перепелкин¹, В.Е. Шаландин¹, Е.Ф. Павлова¹
¹АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград
 e-mail: rgabdulloev@niiar.ru

В работе представлен метод получения калифорния-252 облучением мишеней, содержащих смесь оксидов берклия-249 и калифорния-249, распределенную в медной матрице.

The paper presents a method for production californium-252 by irradiation of targets containing a mixture of berkelium-249 and californium-249 oxides distributed in a copper matrix.

ВВЕДЕНИЕ

Производство калифорния-252 сложный и многоступенчатый процесс длительностью 6-7 лет. На последней стадии кроме целевого ^{252}Cf в мишенях накапливается ^{249}Bk , который можно использовать для получения дополнительных количеств ^{252}Cf [1]. Облучение мишеней с ^{249}Bk в высокопоточных каналах реактора сопровождается высоким энерговыделением. Во избежание расплавления мишени необходимо использовать разбавитель, который равномерно распределял бы стартовый материал по объему мишени. В данной работе в качестве такого разбавителя использовался порошок металлической меди.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Перед экспериментом проводили очистку ^{249}Bk от примеси церия методом анионообменной хроматографии на катионите BioRadAG 1x8 и от остальных примесей экстракционной хроматографией на сорбенте Ln-Resin. Очищенный берклий в виде формиата нанесли на медный порошок, изготовили 8 таблеток диаметром 7,6 мм и суммарной высотой столба 57 мм и прокалили их при 600 °С. Таблетки облучали в цен-

тральной ловушке реактора СМ-3 в течение 20,1 эфф. суток. На момент начала облучения в мишени было 1,16 мг ^{249}Bk и 0,31 мг ^{249}Cf , который накопился при распаде ^{249}Bk .

После облучения и выдержки для распада короткоживущих дочерних продуктов деления облученную мишень вскрыли и растворили в азотной кислоте. Полученный раствор содержал ~0,3 мг ^{252}Cf , что соответствует 0,36 мг на момент окончания облучения. Для определения степени выгорания берклия от раствора отобрали аликвоту объемом 0,4 мл. Берклий является бета-излучателем низкой энергии, прямое измерение его активности на фоне продуктов деления невозможно. Для выделения берклия использовали двухстадийную методику, аналогичную его очистке перед облучением. Объемная активность ^{249}Bk , измеренная по скорости накопления его дочернего продукта распада ^{249}Cf в растворе, составила $2,45 \cdot 10^6$ Бк/мл, что соответствует 11,7 мкг ^{249}Bk . Согласно проведенным ядерно-физическим расчетам, из них 3,4 мкг образовалось при распаде ^{253}Es , а остальные 8,3 мкг – невыгоревший берклий, что соответствует выгоранию 99,3 %.

Из раствора облученного материала соосадили гидроксиды калифорния, берклия и редкоземельных элементов (РЗЭ) с гидроксидом железа под действием аммиака. Медь в этих условиях образует устойчивые растворимые аммиачные комплексы. Доочистку калифорния от примесей проводили на трех последовательных колонках с катионитом BioRadAG 50x8. На первой колонке отделяли железо и следы меди из солянокислого раствора. На второй колонке проводили разделение калифорния, берклия и РЗЭ, элюируя их раствором альфа-гидроксиизобутирата аммония, для очистки от которого использовали третью колонку с катионитом. В результате была получена опытная партия ^{252}Cf , содержание радиоактивных примесей в которой не превышало 0,07 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате эксперимента по облучению экспериментальной берклиевой мишени с медным разбавителем была получена опытная партия ^{252}Cf , содержание радиоактивных примесей в которой не превышало 0,07 %. Экспериментальные данные по выходу ^{252}Cf и выгоранию ^{249}Bk хорошо согласуются с расчетными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топоров Ю.Г., Тарасов В.А., Куприянов А.В. и др. Получение калифорния-252 из облученного берклия-249. — Научный годовой отчет АО «ГНЦ НИИАР» (отчет об основных исследовательских работах, выполненных в 2017 году) / под общей редакцией доктора техн. наук, проф. В.В. Калыгина. — Димитровград: АО «ГНЦ НИИАР», 2018. С. 127-130.

IMPLANTABLE DRUG DELIVERY SYSTEM FABRICATED FROM BIODEGRADABLE POLYMERS: A PROMISING TECHNOLOGY FOR NUCLEAR MEDICINE APPLICATIONS

C. Awuah^{1,2}

¹B.P. Weinberg Research Center, Tomsk Polytechnic University, Tomsk

²School of Nuclear Engineering and Technology, Tomsk Polytechnic University, Tomsk

e-mail: collins.awuah.stu@uenr.edu.gh

This is a study about biodegradable polymer; particularly polylactic acid (PLA), and how it can work as a drug release system by virtue of its degradable tendencies. A 3D printed polylactic acid (PLA) microchamber structure was filled with Rhodamine B and covered with a thin PLA layer of $\approx 230 \mu\text{m}$ thickness, and placed into a circulating phosphate buffered saline (PBS) solution under physical conditions similar to that of the human body. With time, the thin cover of the microchamber structure degraded with increasing surface roughness, simultaneously releasing Rhodamine B from the structure into the surrounding PBS solution.

INTRODUCTION

For its potential biomedical applications and beyond, the effectiveness in loading of cargo; most often, drugs in the form of microparticles or solutions, and enclosing them in a biodegradable polymer-made microchamber as a system for release-on-demand of the cargo is worthy of study.

The effectiveness of this technology depends on the degradation and release dynamics of drug from the biodegradable polymeric microchamber covered with a layer of the polymer. This is governed by many factors including the interactions that happens between the microchamber and the surrounding medium, and also the rate at which such interactions occur.

First, these factors cause degradation of the microchamber, especially the covering layer, in order to expose the cargo (drug) that has been filled in the microwells of the structure. The drug then subsequently gets released into the surrounding medium as a result of the exposure [2].

This study was aimed at determining the dynamics involved in the degradation of a biodegradable polymeric microchamber structure; specifically, polylactic acid (PLA), as well as investigating the possible release of drug from the structure into surrounding aqueous medium.

MAIN PART

A 10 cm long cylindrical plastic container of 2.5 cm diameter was placed in a thermostat (thermal cabinet) and connected end to end with a 97 cm long and 0.35 cm inner diameter flexible tube through a peristaltic pump placed outside the thermostat. A 3D printed 10 x 10 x 1 mm PLA microchamber of ≈ 35 microwells was filled with 1.0 mg of Rhodamine B (RhB) (representing a radiopharmaceutical), and covered with a thin layer of $\approx 230 \mu\text{m}$ thickness made from 0.5% w/v PLA solution. This filled and covered microchamber was placed in 42 cm³ volume of Phosphate Basic Saline (PBS). Similar to the physical proper-

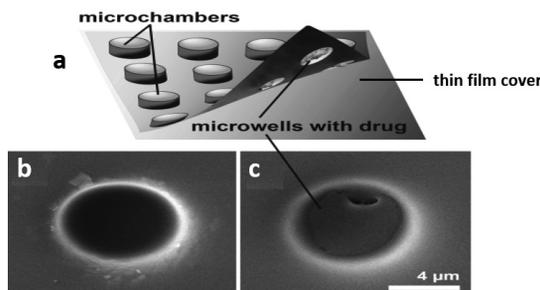


Fig. 1. Scanning Electron Microscope images of 3D printed (a) biodegradable microchamber structure and its (b) empty and (c) filled microwells; covered with a thin film of the polymer [1]

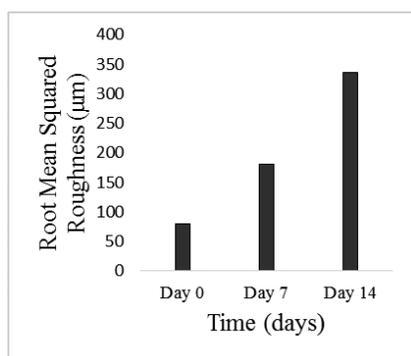


Fig. 2. Increment in roughness of thin covering layer of the microchamber structure as a result of degradation from circulating PBS solution

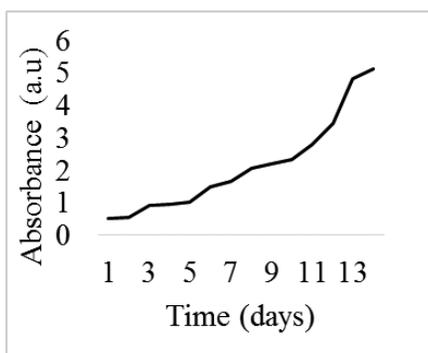


Fig. 3. Increment in absorbance of Rhodamine B with respect to time signifying the consistent release of the cargo (Rhodamine B) on daily basis

ties and ionic concentrations of the human blood [3], the PBS solution of pH 7.4 was pumped from the cylindrical container through the tube and back to the container at 37 °C under a pulse pressure of 85 pulses per minute consistently for 14 days.

In this period, the surface roughness and the absorbance of Rhodamine B cargo released on daily basis were determined by Atomic Force Microscopy and Fluorescence Spectroscopy respectively.

With time, there was a liner progression in the surface roughness of the PLA cover as shown in figure 2 below.

The spectroscopic measurements also generally showed a linear progression in the absorbance of the RhB cargo released into the PBS solution with time. In agreement with the Beer-Lambert's law, the concentration of the cargo will equally increase with time. Figure 3 below shows the release profile of the cargo.

For this reason, the area under the peak for Day 14, being 198.254, was far greater than that of Day 1; 20.598, signifying a higher absorption of light energy from the

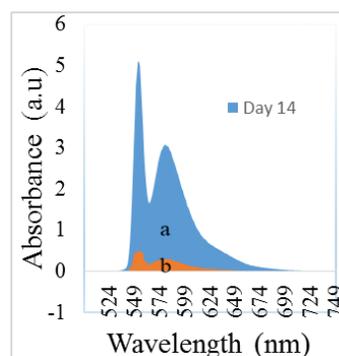


Fig. 4. Difference in peak area of fluorescence measurements of Rhodamine B cargo released on Day 14 (a) and Day 1. (b).

spectrophotometer on Day 14 due to a higher concentration of the cargo, as opposed to Day 1.

For applications in Nuclear Medicine, as used in this study, the cargo: RhB, can be replaced with an appropriate radiopharmaceutical, and the polymer structure implanted in or near cancerous region in vitro or in vivo, and expect the release profile of the radiopharmaceutical to be similar to the above observations.

CONCLUSION

Biodegradable polymers, such as PLA, degrade under circulating or running aqueous medium under basic physiological conditions similar to that of a human blood. If these polymers are filled with the appropriate radiopharmaceuticals, in nuclear medicine, they can be effective for purposes of cancer research or even as a novel option in systemic radiation therapy when used as drug release implants.

REFERENCES

1. Sindeeva O.A., Prikhozhdenko E. S., Schurov I., Sedykh N., Goriainov S., Karamyan A., Mordovina E. A., Inozemtseva O. A., Kudryavtseva V.; Shchesnyak L.E. Patterned Drug-Eluting Coatings for Tracheal Stents Based on PLA, PLGA, and PCL for the Granulation Formation Reduction: In Vivo Studies. //Pharmaceutics. – 2021. URL: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13091437> (Accessed 15.04.2023).
2. Kiryukhin, S. Gorelik, S. M. Man, M. Subramanian, G. S. Antipina, H. Y. Low and G. Sukhorukov, *Macromol. Rapid Commun.* – 2013. – C. 87-93.
3. Kaewsichan L, Riyapan D, Prommajan P, Kaewrichan J. Effects of sintering temperatures on micro-morphology, mechanical properties, and bioactivity of bone scaffolds containing calcium silicate // *ScienceAsia.* – 2011. – C. 240–246.

НАВОДОРОЖИВАНИЕ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА КАНАЛОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ РЕАКТОРОВ РБМК-1000 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОДЛЕННЫЙ СРОК СЛУЖБЫ

А.Н. Бирюков¹, В.Д. Балдин¹, Д.В. Бакулин¹, Е.В. Юрманов¹, А.В. Алешин¹

¹АО «НИКИЭТ», г. Москва

e-mail: bakulin@nikiet.ru

В настоящей работе представлены результаты комплекса расчетно-аналитических работ по исследованию наводороживания циркониевого сплава каналов системы управления и защиты (СУЗ) реакторов РБМК-1000. В ходе работ выполнен анализ условий и истории эксплуатации каналов СУЗ, проведены послереакторные исследования каналов, эксплуатировавшихся более 30 лет, выполнен комплекс экспериментальных работ по изучению наводороживания циркониевого сплава и формированию скоплений гидридов в металле в лабораторных условиях, а также выполнено расчетное обоснование прочности каналов и разработана методика оценки их технического состояния и остаточного ресурса по критерию водородного охрупчивания.

This paper presents the results of a series of computational and analytical studies to investigate the hydrogenation of zirconium alloy in the RBMK-1000 reactor control and protection system channels. The following was undertaken as part of the studies: an analysis of the CPS channel conditions and operating history, a post-irradiation examination of channels with a 30-year service life, a series of experimental studies to investigate the hydrogenation of zirconium alloy and formation of hydride clusters in metal in laboratory conditions, a computational channel strength justification, and development of a methodology to assess technical state and residual life of the channels with regard for the hydrogen embrittlement criterion.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в России эксплуатируется семь энергоблоков с реакторами РБМК-1000, срок службы которых будет продлен до 50 лет. В состав активной зоны РБМК входят каналы системы управления и защиты (КСУЗ), средняя часть которых изготовлена из циркониевого сплава Э125. Основными их функциями являются размещение исполнительных механизмов СУЗ и организация потока теплоносителя для охлаждения каналов и размещенных в них устройств.

Начиная с 2017 года по результатам послереакторных исследований (ПРИ) каналов СУЗ регистрируется повышенное содержание водорода в материале циркониевых труб и ниппелей переходников «сталь-цирконий», а также наличие скоплений гидридов циркония в виде одиночных блистеров и слоев.

Наводороживание циркониевого сплава приводит к его охрупчиванию и снижению сопротивления разрушению материала каналов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Процесс наводороживания циркониевых сплавов в ядерных реакторах известен давно, в частности указанная проблема фиксировалась на реакторах CANDU

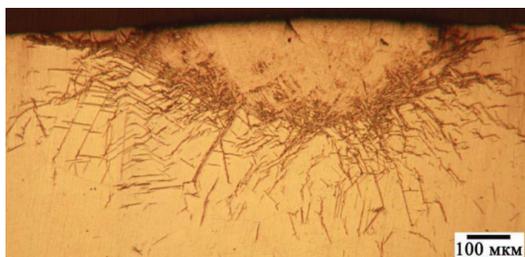


Рис. 1. Блистер на внутренней поверхности канала СУЗ

с 80-90-х годов [1], однако на реакторах РБМК-1000 до 2017 года фиксируемая в циркониевых частях КСУЗ концентрация водорода никак не отражалась на их работоспособности.

По результатам ПРИ каналов СУЗ на их внутренней поверхности обнаружены блистеры – локальные скопления гидридов циркония (ZrH_2 , $ZrH_{1,6}$), имеющие меньшую плотность и прочность по сравнению с основным металлом канала (рис. 1).

Процесс наводороживания и охрупчивания каналов СУЗ условно можно подразделить на следующие стадии: образование водорода, абсорбция цирконием водорода и его диффузия в металле, образование гидридов циркония, образование и рост скоплений гидридов в виде блистеров, их слияние и образование и рост гидридного слоя в толщину стенки металла.

В ходе работ был выполнен анализ истории изготовления и эксплуатации каналов, водно-химического режима (ВХР) контура охлаждения КСУЗ (КО СУЗ) с учетом особенностей каждого энергоблока.

По результатам анализа выявлено, что основными источниками водорода в КО СУЗ являются: радилиз воды контура, наличие гальванической пары «сталь-цирконий», коррозия алюминиевого сплава внутриканальных устройств.

По результатам выполненных коррозионных испытаний разработаны рекомендации по совершенствованию ВХР КО СУЗ, включающие сужение диапазона pH и минимизацию его колебаний.

По результатам ПРИ каналов выявлено, что плотность и глубина обнаруженных блистеров и гидридных слоев значительно больше в зонах электронно-лучевых сварных соединений (ЭЛСС) средней части. Причина заключается в том, что в зонах ЭЛСС имеются особенности структуры, связанные со свар-

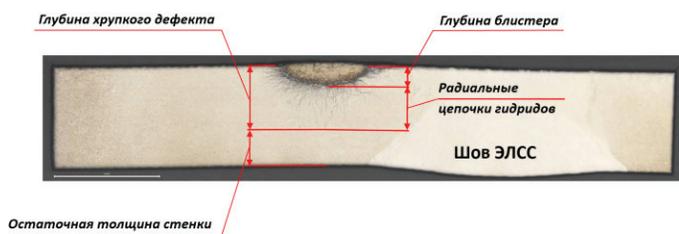


Рис. 2. Хрупкий дефект в зоне ЭЛСС

кой, увеличенное количество остаточной β циркониевой фазы, обладающей повышенной способностью к абсорбции водорода [2, 3], и остаточные сварочные напряжения и напряжения от изгиба канала, способствующие радиальному росту блистеров и ориентации гидридов [4].

В ходе исследований выявлено, что охрупчивание сплава происходит и за счет радиальных цепочек гидридов (рис. 2). Для обозначения охрупченной части стенки канала введено понятие «хрупкий дефект».

Для изготовления необлученных образцов КСУЗ с блистерами была разработана и реализована методика «выращивания» блистеров в лабораторных условиях. Соответствие полученных блистеров реальным подтверждено металлографическими исследованиями.

Для обоснования дальнейшей безопасной эксплуатации КСУЗ выполнены прочностные расчеты, по результатам которых определены критерии предельных геометрических параметров остаточной толщины стенки и хрупкого дефекта.

На основе результатов ПРИ и прочностных расчетов разработана методика оценки технического сос-

тояния и остаточного ресурса каналов по критерию водородного охрупчивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работ исследованы процессы наводороживания каналов СУЗ реактора РБМК-1000. По результатам ПРИ показано, что данный процесс является кумулятивным и протекает на всех энергоблоках, определены критические для ресурса каналов места максимального повреждения, выявлены параметры, определяющие ресурс, и разработана методика оценки ресурса.

По результатам комплекса работ разработаны первоочередные меры, направленные на достижение реакторами РБМК-1000 50-летнего срока эксплуатации и определены дальнейшие направления деятельности по данной проблеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.A. Bahurmuz, I.J. Muir, V.F. Urbanic. Predicting Oxidation and Deuterium Ingress for Zr-2.5Nb CANDU Pressure Tubes. Journal of ASTM International, May 2005, Vol. 2, No.5 Paper 10.
2. Черняева Т.П., Остапов А.В. Водород в цирконии. Часть 1. Вопросы атомной науки и техники. 2013, № 5(87), с. 16-32.
3. Черняева Т.П., Остапов А.В. Водород в цирконии. Часть 2. Состояние и динамика водорода в цирконии. Вопросы атомной науки и техники. 2014, № 2(90), с. 3-16.
4. Иванова С.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Воздействие водорода на циркониевые сплавы для реакторов на тепловых нейтронах. Москва, 2004.

КОРРОЗИОННАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ КАРБИДА КРЕМНИЯ, СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕЗАКТИВАЦИОННЫХ РАСТВОРОВ

А.Я. Красильников¹, А.В. Ряпосов², К.А. Бармин²

¹Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²АО «СвердНИИхиммаш», г. Екатеринбург

e-mail: krasilnikov1951@yandex.ru, ryaposov@sniihim.ru, barmink@bk.ru

Использование различных конструкционных материалов в оборудовании, работающем в агрессивных средах, ограничивается химической стойкостью этих материалов. В качестве материала для подшипника скольжения насосного оборудования используются карбид кремния и силицированный графит. Цель исследования – проверить стойкость вышеуказанных материалов в растворах щелочей и кислот, входящих в состав дезактивационных растворов для АЭС. По результатам испытаний предварительно получены положительные результаты по химической стойкости материалов из карбида кремния и силицированного графита.

The use of various construction material in the equipment, operating in aggressive media, is limited by chemical durability of these material. As material for a pumping equipment sleeve-type bearing silicon carbide and silicified graphite are applied. The goal of research – to verify the above-mentioned materials durability in alkali and acid solutions entering in the composition of decontamination fluids for NPPs. On the completion of testing there are preliminary received positive results regarding chemical durability of the materials of silicon carbide and silicified graphite.

ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях радиохимической промышленности применяется герметичный насос с магнитной муфтой ЦГМ-12,5/20 [1-3]. Для изготовления проточной части насоса используется конструкционный материал коррозионная сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-2014. В качестве материала для подшипника скольжения применяется силицированный графит ТУ 48-20-89-76. Насос относится по принципу действия к центробежным герметичным насосам и предназначен для перекачивания слабоактивных радиохимических, агрессивных и токсичных растворов. Температура перекачиваемых растворов от 10 до 60 °С.

Особенностью этого насоса является то, что при выполнении ремонтных работ рабочая полость насоса должна быть промыта дезактивирующими растворами при температуре от 80 до 95 °С. После промывки рабочей полости насоса такими растворами при разборке у втулок подшипника скольжения на наружных и внутренних поверхностях образуются мелкие поры.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С целью подбора более стойкого материала взамен силицированного графита подшипника скольжения проведен поиск подходящих конструкционных материалов. Найдена информация по применению изделий из карбидкремниевых материалов марки SILCAR.

Карбид кремния (SiC) является керамикой высокого исполнения, которая демонстрирует превосходную долговечность в диапазоне тяжелых условий эксплуатации. SiC также обладает рядом необходимых свойств, включая высокую теплопроводность, отличную стойкость к тепловому удару, низкую химическую реактивность и высокую механическую прочность. Эти характеристики обуславливают применение SiC для заданных условий [4].

В докладе приведены результаты исследований, проведенных на образцах карбида кремния и силицированного графита (испытания проводились не на реальных втулках, а на бесформенных образцах).

При проведении испытаний образцы неметаллических материалов помещались во фторопластовые стаканы с крышкой в налитые дезактивирующие растворы. Испытания проводились в статических условиях. Фото внешнего вида поверхности образцов карбида кремния, полученных с микроскопа, показаны на рисунке 1.

В результате испытаний образцов карбида кремния (SiC) и силицированного графита в дезактивирующих растворах при температурах 80 °С и 95 °С продолжительностью 100 часов выявлено следующее:

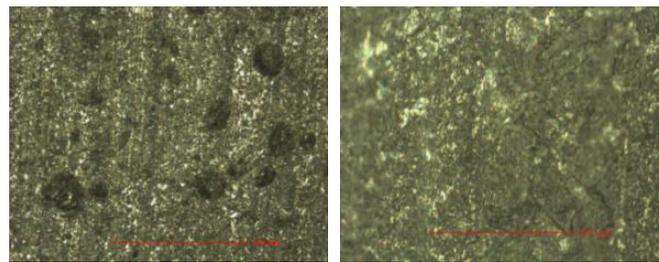


Рис. 1. Внешний вид поверхности образцов карбида кремния

- изменение массы образцов не превысило $\pm 0,1\%$ по отношению к первоначальной массе;
- при внешнем осмотре образцов никаких изменений поверхности в сравнении с контрольными образцами (без испытаний) не обнаружено;
- при микроисследовании поверхности образцов после испытаний обнаружено небольшое изменение цвета в сравнении с исходным образцом, как для карбида кремния, так и для силицированного графита; выявлено также наличие кристаллов, размеры которых на поверхности образца карбида кремния больше, чем на поверхности образца силицированного графита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных исследований карбид кремния (SiC) и силицированный графит продемонстрировали хорошую химическую стойкость в дезактивирующих растворах. Следует отметить, что образование налета и появление кристаллов на поверхности карбида кремния (SiC) и силицированного графита при использовании раствора 1 (NaOH 40 г/л + KMnO_4 , 5 г/л) в рабочих условиях может привести к изменению эксплуатационных характеристик изделий из этих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добротворский В.В., Красильников А.Я., Сухоров Л.Н. Разработка серийных герметичных насосов с магнитной муфтой // Труды СвердНИИхиммаша.– 1995. – С. 75–81.
2. Чемезов В.А., Бекетов А.Р., Баранов М.В., Каримов Р.С. Оборудование для регенерации и рефабрикации ядерного топлива: Учебное пособие. – 2011. – 171 с.
3. Красильников А.Я. Особенности использования магнитной муфты в конструкциях герметичных машин. Екатеринбург: АМБ.– 2017.– 280 с.
4. C. Zollfrank, H. Sieber, Microstructure evolution and reaction mechanism of biomorphic SiSiC ceramics, J. Am. Ceram. Soc. 88 (2005) 51–58.

ЗАКАЛКА ИМПУЛЬСНЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ШХ15 И 40ХН2МА

А.К. Кутуков¹, А.А. Беляков¹, А.А. Сергеечев¹, С.Е. Панин¹, М.А. Миллер¹, В.В. Гапонова¹
¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Россия, г. Москва, г. Троицк
 e-mail: kutukov@triniti.ru

Рассмотрены результаты закалки конструкционных сталей импульсными плазменными потоками. Определены режимы обработки, при которых происходит улучшение физико-механических характеристик материалов. В режимах без оплавления поверхности сталей установлено увеличение микротвердости в три раза, причем закалка не сопровождалась значительными изменениями шероховатости. В результате обработки с оплавлением образцы приобретают развитый рельеф, в то время как предельное значение микротвердости превысило исходное в четыре раза. Толщина закаленного слоя сталей ШХ15 и 40ХН2МА достигала 120 мкм и 80 мкм соответственно.

The results of pulsed plasma flows quenching of structural steels are considered. The treatment modes are determined, under which the improvement of the physical and mechanical characteristics of materials occurs. In modes without melting of the steels surface, an increase in microhardness by a factor of 3 was found, and quenching was not accompanied by significant changes in roughness. As a result of treatment with melting, the samples acquire a developed relief, while the limiting value of microhardness exceeded the initial value by 4 times. The thickness of the hardened layer of the ShKh15 and 40KhN2MA steels reached 120 μm and 80 μm , respectively.

ВВЕДЕНИЕ

Закалка является основным способом термической обработки металлических изделий для улучшения их физико-механических характеристик. Традиционно в промышленности закалка производится объемно и сопровождается изменением свойств изделия целиком. Помимо этого, широко распространена поверхностная закалка, часто реализуемая с использованием токов высокой частоты [1]. Оба метода закалки достигли своего предела в результирующих характеристиках при упрочнении. В связи с растущими требованиями к эксплуатационным свойствам материалов разрабатываются новые способы закалки. Среди них перспективными являются способы поверхностной закалки концентрированными потоками энергии [2], к которым относится воздействие импульсными потоками плазмы (ИПП). Доказано, что обработка материалов ИПП способна улучшать ряд эксплуатационных свойств, таких как износостойкость, усталостная прочность и коррозионная стойкость [2-5].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для демонстрации преимуществ закалки ИПП были выбраны две распространенные конструкционные стали марок ШХ15 и 40ХН2МА. Данные марки используются для изготовления ответственных деталей в машиностроении – втулок, шатунов, подшипников, роликов, дисков и др. Обработка сталей ИПП осуществлялась на квазистационарном сильноточном плазменном ускорителе (КСПУ), описание установки и схема обработки приведены в работе [5]. В качестве плазмообразующего газа использовался гелий. Длительность импульса составляла 1мс. Тепловая энергия, поглощаемая материалом, варьировалась в диапазоне от 20 до 160 Дж/см². В соответствии с данными режимами обработки закалка материалов производилась как с оплавлением поверхности, так и без.

Исследование морфологии закаленного слоя сталей осуществлялось методом оптической и сканирующей электронной микроскопии. Структурно-фазовый анализ производился с использованием рентгеновского дифрактометра. Методом конфокальной профилометрии измерена шероховатость образцов. Измерение микротвердости производилось методом Виккерса с нагрузкой индентора 50 г.

В ходе анализа поверхности закаленных образцов обеих марок сталей было выделено несколько температурных диапазонов, при которых происходят характерные изменения морфологии поверхности, микротвердости и глубины закаленного слоя. Обнаружено, что закаленный слой, полученный при температурах нагрева, близких к плавлению (1200-1500 °С), обладает оптимальным комплексом характеристик. Закалка сталей в данном диапазоне приводит к увеличению микротвердости упрочненного слоя (800-950HV) и незначительному уменьшению шероховатости. При дальнейшем увеличении поглощаемой тепловой энергии наблюдается рост микротвердости вплоть до 1200 HV. Стоит отметить, что рельеф поверхности также претерпевает изменения – в режимах с оплавлением отмечено значительное увеличение шероховатости (в среднем в 4,7 раза). Предельная толщина закаленного слоя ШХ15 составляла 120 мкм. Для стали 40ХН2МА величина не превысила 80 мкм. Подобная разница в толщине обусловлена различной прокаливаемостью сталей, которая зависит от легирующих добавок. В ходе рентгенофазового анализа установлено, что увеличение микротвердости поверхностного слоя сталей связано с мартенситным превращением, происходящем за счет сверхбыстрого нагрева и охлаждения материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поверхностная закалка конструкционных сталей методом ИПП приводит к значительному улучшению

физико-механических характеристик. В результате исследования образцов, обработанных без оплавления, выделен режим, при котором достигается увеличение микротвердости в три раза без значительного изменения шероховатости. Закалка с оплавлением сопровождается существенным ростом шероховатости, однако отмечаются максимальные значения микротвердости (до 1200 HV) и толщины закаленного слоя (до 120 мкм). Полученные результаты показывают высокую эффективность закалки воздействием ИПП в качестве метода поверхностного упрочнения промышленных изделий.

Работа выполнена в рамках комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии» по государственному контракту № Н.4ф.241.09.22.1120 от 25.08.2022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев Е.Н. Термическая обработка токами высокой частоты: Учеб. пособ. для профес.-техн. учи-

лиц. М.: Высш. шк., 1970. 328 с.

2. Грибков В.А. и др. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Физика металлов», «Физика твердого тела», «Электр. Машиностроение» // Н. – М.: Кружлый год. – 2001. – 527 с.

3. Калинин Б.А. и др. Упрочнение поверхности и повышение износостойкости металлических материалов при обработке потоками высокотемпературной импульсной плазмы // Физика и химия обработки материалов. – 2010. – №. 2. – С. 21–27.

4. Камруков А.С. и др. Антикоррозионная обработка низкоуглеродистой стали импульсными плазменными потоками // Наука и образование. – 2013. – №12 – С. 73–94.

5. Kutukov A.K. et al. Effect of Pulsed Plasma Flow Treatment Parameters on the Thickness, Microhardness, and Elemental and Phase Compositions of Modified Surface Layers of Structural Steel // Physics of Atomic Nuclei. – 2022. – Т. 85. – №. 11. – С. 1925–1930.

ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРЕПАРАТА ^{227}Th

А.В. Борзова¹, И.Л. Буткалюк¹, П.С. Буткалюк¹, В.Г. Аббязова¹, Р.Г. Абдуллоев¹, А.Ю. Енизеркина¹, Д.А. Перепёлкин¹, В.Е. Шаландин¹
¹АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград
 e-mail: niar@niar.ru

В работе представлены метод очистки и выделения ^{227}Th , а также характеристики полученных экспериментальных образцов препарата.

The paper presents the method of purification and isolation of ^{227}Th , as well as the characteristics of the obtained experimental samples of the preparation.

ВВЕДЕНИЕ

Препараты на основе альфа-излучающего радионуклида ^{227}Th с периодом полураспада 18,7 сут. являются перспективными для терапии различных онкологических заболеваний [1]. Относительно большой период полураспада позволяет легко транспортировать ^{227}Th от места производства до места использования, а химические свойства тория позволяют легко связывать его в прочные комплексы и проводить меченое использование средств доставки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2022 году в рамках импортозамещения в АО «ГНЦ НИИАР» был создан участок производства препаратов на основе ^{223}Ra из ^{227}Ac . Выбранная схема получения ^{223}Ra позволяет одновременно с поставками ^{223}Ra осуществлять поставки ^{227}Th . Отделение тория от радия и актиния основано на его способности образовывать прочные анионные комплексы с нитрат-ионами в азотнокислых растворах. Сорбцию тория проводили на сильноосновной анионообменной смоле BioRad AG 50W-X8 (100–200 меш) из 8M HNO_3 , а элюировали ^{227}Th 1M раствором HCl .

При применении ^{227}Th в медицине важнейшим параметром является остаточное содержание долгоживущего ^{227}Ac . В связи с особенностями схемы распада ^{227}Ac прямое измерение его активности в препарате ^{227}Th дает неприемлемо высокие пределы обнаружения. Для определения содержания ^{227}Ac проводили его предварительное химическое выделение из аликвоты препарата. На первых двух стадиях следы ^{227}Ac отделяли от ^{227}Th методом анионообменной хроматографии, а на заключительной стадии от ^{223}Ra – методом катионообменной хроматографии [2]. Для контроля химического выхода использовали метку нитрат европия, меченный ^{152}Eu .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было получено 5 партий ^{227}Th с объемной активностью от 37 до 87 МБк/мл, содержанием $^{227}\text{Ac} \leq 4,0 \cdot 10^{-4} \%$, содержанием остальных радиоактивных примесей $\leq 2,2 \cdot 10^{-3} \%$ и нерадиоактивных примесей $\leq 9 \cdot 10^4$ г/Ки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брускин А.Б., Лунёв А.С., Лунёва К.А., Кодина Г.Е., Клементьева О.Е. // Комплекс тория-227 с оксиди-

фором как новый радиофармпрепарат для терапии метастазов в кости // Сборник тезисов «Радиохимия-2022» – 2022 – С.482.

2. P.S. Butkalyuk, I.L. Butkalyuk, O.I. Andreev, A.S. Kupriyanov, K.V. Rotmanov, E.V. Kazakova. Applied Radiation and Isotopes 184 (2022) 110205 <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110205>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ СПЕЦПРАЧЕЧНЫХ АЭС

В.М. Минич¹, О.С. Вельгин¹, Е.А. Устинович¹

¹Белорусский государственный университет, г. Минск
e-mail: olegvelhin@gmail.com

Студентами 4-го курса специальности 1-31 05 03 Химия высоких энергий дан анализ содержания, методического обеспечения и обучающего результата оригинальной лабораторной работы «Моделирование процессов очистки сточных вод спецпрачечных АЭС от поверхностно-активных веществ и радионуклидов кобальта», входящей в программу практикума по дисциплине «Водоподготовка и водно-химические режимы АЭС». Дано пояснение особенностей режима выполнения этой работы, организованной по кооперативному принципу и позволяющей сравнить три метода очистки. Представлены данные по апробации адсорбционно-коагуляционного метода очистки на государственном унитарном предприятии МосНПО «Радон» на реальных объектах – кубовых остатках Калининской АЭС и жидких радиоактивных отходах самого «Радона».

4th year students of the specialty 1-31 05 03 High Energy Chemistry analyzed the content, methodological support and training result of the original laboratory work «Modeling the process of cleaning wastewater from special laundry facilities of nuclear power plants from surfactants and cobalt radionuclides», which is part of the workshop program in the discipline «Water treatment and water-chemical regimes of nuclear power plants». An explanation is given of the features of the mode of performing this work, organized according to the cooperative principle and allowing comparison of three methods of purification. Data are presented on the testing of the adsorption-coagulation method of purification at the state unitary enterprise MosNPO Radon on real objects - evaporation concentrates of the Kalinin NPP and liquid radioactive waste of the Radon itself.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость проведения работ с растворами, моделирующими сточные воды спецпрачечных санпропускников АЭС, обусловлена реально существующей проблемой утилизации таких вод. Причина – высокое содержание в них поверхностно-активных веществ (ПАВ), комплексообразующих добавок, микровзвесей и коллоидных веществ – отстирываемых загрязнений. Такие воды – это сложные растворы переменного состава, которые содержат ПАВ, частицы белковой природы, жиры, радионуклиды ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr и нерадиоактивные минеральные соли. Усложняют процесс очистки и дезактивационные вещества – щавелевая, лимонная и этилендиаминтетрауксусная кислоты. В связи с этим представляет интерес сравнение различных методов очистки этого типа вод на модельных растворах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Актуальность. Несовершенство существующих технологий обработки сточных вод спецпрачечных АЭС на ряде электростанций уже привело к критической ситуации с переполненностью немалых по объему емкостей для хранения разбавленных радиоактивных отходов. Поэтому важной задачей является улучшение существующей схемы обращения с жидкими радиоактивными отходами – в частности, желательно отказать от стадии небезопасного и дорогостоящего

озонирования и малопроизводительного обратного осмоса, увеличить эффективность ионообменной сорбции и всего технологического цикла, что позволит значительно уменьшить объем захораниваемых радиоактивных отходов. В основу создания лабораторной работы положена разработанная в Учреждении БГУ «НИИ физико-химических проблем» адсорбционно-коагуляционная технология с применением в качестве сорбента высокоактивных мезопористых углей.

Несомненным достоинством работы является то, что она основана на реальных результатах научного исследования, которые были апробированы на государственном унитарном предприятии МосНПО «Радон» на реальных объектах – кубовых остатках Калининской АЭС и жидких радиоактивных отходах самого «Радона». При этом удалось в 200 раз снизить показатель химического потребления кислорода, в 2 раза уменьшить объемную β-активность растворов и в 66 раз снизить суммарную α-активность системы.

Целью работы является моделирование процесса очистки сточных вод спецпрачечных от ПАВ и ионов Co²⁺.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи.

1. Приготовление модели сточной воды путем осуществления цикла замачивание-стирка-полоскание загрязненной спецодежды (халата) в водопроводной воде, содержащей стиральный порошок.

Таблица 1. Степень извлечения ДСН и комплекса Со:ЭДТК из модельных растворов

Состав раствора	Степень извлечения, %	
	ДСН	Со:ЭДТК
ДСН+Со:ЭДТК(1:1)	99,3 ± 0,5	85 ± 0,2
ДСН+Со:ЭДТК(1:1)+NaNO ₃	99,2 ± 0,5	85 ± 0,2

2. Обработка модельных вод, содержащих соль кобальта, ЭДТК, ПАВ (додецилсульфат натрия, ДСН) с помощью различных методов (адсорбционно-коагуляционная очистка, окисление, ионный обмен).

3. Выбор наиболее эффективного метода на основании полученных данных и выдача рекомендаций по его возможному применению.

4. Представление отчета по лабораторной работе в виде мультимедийной презентации.

Использование адсорбционно-коагуляционного метода показало, что при достаточном количестве сорбента (порядка 40 г/дм³) из модельного раствора сложного состава могут удаляться не только ПАВ, но и кобальт в виде органических соединений, в частности комплекса с ЭДТК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что наиболее полное удаление ионов кобальта достигается при использовании адсорбционно-коагуляционного метода с предварительной обработкой воды реактивом Фентона. Такая технология может быть рекомендована для применения на БелАЭС и других атомных станциях. Дана оценка эффективности обучения с помощью образовательных технологий, использованных в данной лабораторной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванец М.Г. Моделирование адсорбционно-коагуляционной очистки жидких радиоактивных отходов от поверхностно-активных веществ / М.Г. Иванец, Т.А. Савицкая, Д.Д. Гриншпан, Н.Г. Цыганкова, А.Е. Савкин // Ж. Прикл. Химии. – 2012. – Т. 85 № 1. – С. 49-54.
2. Иванец М.Г. Адсорбция поверхностно-активных веществ на активированных углях различного происхождения: автореферат дис. кан. хим. Наук.– Минск. – 2012. – 24 С.
3. Савицкая Т.А. Инновационные образовательные технологии в преподавании дисциплины «Водоподготовка в атомной энергетике» в условиях пандемии COVID-19 / Т.А. Савицкая, И.М. Кимленко, Д.Д. Гриншпан, М.Б. Новицкая // Минск: БГУ НИИФХП. – С 8.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕНИТРАЦИИ

И.В. Гайдай¹, Д.Г. Ходус¹, А.В. Дворянчиков¹, С.Г. Пименов¹, А.А. Томаш¹, Д.Е. Егорова¹, М.И. Шачнева²

¹АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск

²Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Северск

e-mail: sxk@atomsib.ru

В настоящее время развитие атомной энергетики как в РФ, так и за рубежом создает предпосылки к развитию технологий, позволяющих оптимизировать изготовление ядерного топлива. Одним из таких решений является замыкание ядерно-топливного цикла, которое позволяет осуществить возврат облученного урана в «головные стадии» процесса, а также снизить количество жидких радиоактивных отходов. Такой технологией с давних времен рассматривается прямая термическая денитрация гексагидрата уранилнитрата. Долгое время способы реализации данного процесса в АО «СХК» приводили к получению порошков с неудовлетворительными свойствами, не позволяющими их дальнейшее использование в конверсионном производстве.

В работе рассматривается новый опыт проведения указанной технологии в тонкопленочном роторном денитраторе, проводится определение его недостатков и возможности их устранения для получения удовлетворительных результатов.

At present, the development of nuclear energy both in the Russian Federation and abroad creates the prerequisites for the development of technologies that allow optimizing the production of nuclear fuel. One of these solutions is the closure of the nuclear fuel cycle, which allows the return of irradiated uranium to the «head stages» of the process, as well as reducing the amount of liquid radioactive waste. Such technology has long been considered direct thermal denitration of uranyl nitrate hexahydrate. For a long time, the methods for implementing this process at SCP led to the production of powders with unsatisfactory properties that did not allow their further use in conversion production.

The paper considers a new experience of carrying out this technology in a thin-film rotary denitrator, identifies its shortcomings and the possibility of eliminating them to obtain satisfactory results.

ВВЕДЕНИЕ

Предыдущий опыт АО «СХК» проведения термической денитрации в аппаратах различной конструкции:

- пламенный денитратор;
- плазмохимический реактор;
- СВЧ-денитратор;

– осциллирующий шнек.

Опыт подтвердил принципиальную возможность осуществления данной технологии, однако полученные в результате ультрадисперсные порошки оксидов урана (ОУ) не соответствовали по физико-механическим свойствам требованиям, предъявляемым для переработки в действующей схеме конверсионного производства АО «СХК».

Все эти факторы обусловили продолжение проведения работ по совершенствованию конструкции аппарата, позволяющего решить технологические проблемы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения технологии термической денитрации ранее была разработана конструкция (рис. 1) тонкоплочного роторного денитратора (ТРД) на азотнокислом растворе урана $UO_2(NO_3)_2$ и гексагидрате уранилнитрата $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (ГГУН) на лабораторном стенде.

После этого испытания были проведены уже с применением только ГГУН на аппарате в составе лабораторной установки (рис. 2).

В результате проведенных испытаний были выявлены недостатки в работе оборудования. На основании полученных практических данных была проведена дальнейшая работа по изменению конструкции аппарата.

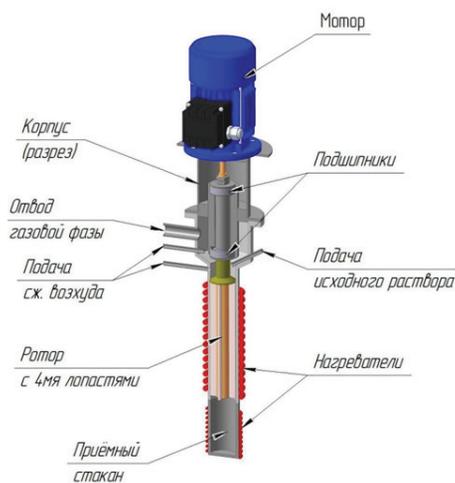


Рис. 1. Схема аппарата



Рис. 2. Лабораторный аппарат

В результате была разработана новая конструкция ТРД (рис. 3), благодаря которой стало возможно снижение температурного воздействия на нижний подшипниковый узел.

Также на базе опытно-промышленного аппарата создана и смонтирована установка термической денитрации на базе ТРД с узлами оплавления, дозирования и улавливания газовой смеси, образующейся в процессе реакции.

В результате получены порошки ОУ, которые были проанализированы с помощью рентгенофазного анализа и методом ИК-спектроскопии. По результатам анализа было установлено, что порошки ОУ представляли собой преимущественно триоксид урана UO_3 (рис. 4).

Далее при проведении ресурсных испытаний также были выявлены недостатки, которые создали предпосылки для дальнейшего совершенствования конструкции.

Были доработаны следующие элементы (рис. 5):

- конструкция ротора и лопаток;
- нижний подшипниковый узел;
- узел выгрузки из ТРД.

В рамках данной работы был отработан следующий этап – сушка и прокаливание полученного UO_3 до U_3O_8 в сушильно-прокалочных агрегатах АО «СХК».

Помимо этого, стоит отметить, что полученный путем прокалки U_3O_8 удовлетворяет требованиям ТУ 95-2786-2001, содержание азота меньше пре-

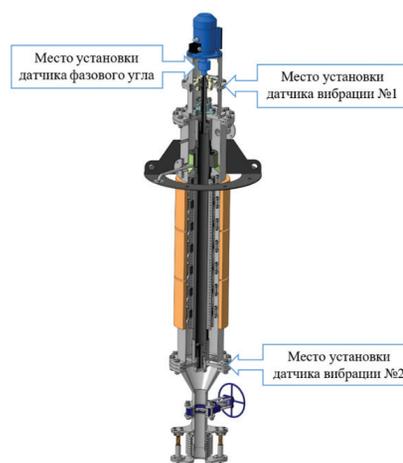


Рис. 3. Опытно-промышленный аппарат

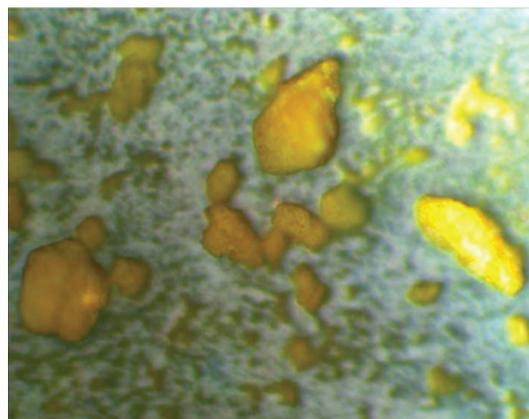


Рис. 4. Микрофотография пробы UO_3

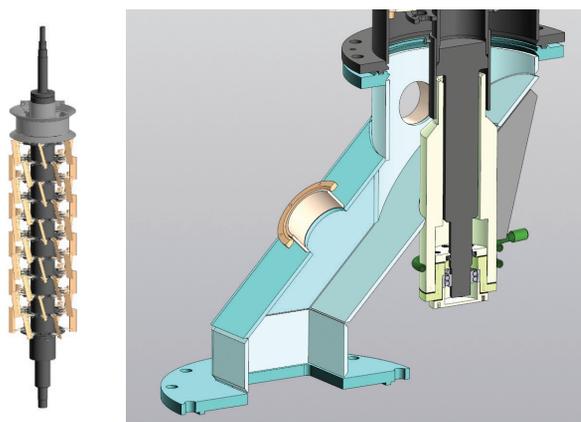


Рис. 5. Усовершенствованные элементы

дела обнаружения по ОСТ 95-406-92, т. е. меньше 0,0005 % к U.

В результате завершающего этапа работ было проведено фторирование U_3O_8 на оборудовании конверсионного производства АО «СХК». Полученная пар-

тия UF_6 соответствует требованиям ТУ 95-2523-2011 и ASTM C787-06 по показателям качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ разработана конструкция опытно-промышленного аппарата и усовершенствованы ее основные конструкционные элементы.

Установка термической денитрации на базе ТРД подтвердила свою пригодность и работоспособность для получения UO_3 .

Полученные ОУ по физико-химическим свойствам удовлетворяют требованиям к порошкам, используемым в действующем конверсионном производстве АО «СХК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТУ 95-2786-2001 «Уран. Оксиды РС для производства гексафторида». Технические условия.
2. ТУ 95-2325-2011 «Урана гексафторид. Сырьевой сублиматного производства». Технические условия.

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ШХ15

В.В. Гапонова¹, А.К. Кутуков¹, И.С. Макогон¹, Р.В. Смирнов¹

¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Россия, г. Москва, г. Троицк

e-mail: gaponova@triniti.ru

Исследованы образцы конструкционной стали ШХ15 после лазерной ударной обработки (ЛУО) при различной плотности мощности и количестве лазерных импульсов. Изучена микроструктура стали, а также измерено распределение микротвердости по глубине. Установлено, что при ЛУО достигается увеличение микротвердости до 90% по сравнению с исходным значением. В результате рентгенофазового анализа обнаружено повышение плотности дислокаций в структуре.

The samples of structural steel ShKh15 after laser shock peening (LSP) with different impact power density and the number of laser pulses were studied. The microstructure of steel was studied and the distribution of microhardness over depth was obtained. It is established that the increase of microhardness up to 90% compared to the initial value was achieved with the LSP. As a result of X-ray phase analysis, an increase in the density of dislocations in the structure was detected.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние поверхности металлических деталей во многом определяет их эксплуатационные свойства. В частности, такие параметры, как шероховатость, микротвердость, а также структура материала влияют на величину усталостной прочности – способности изделия сопротивляться разрушению под действием циклических нагрузок [1, 2].

Известно, что в ряде случаев появление усталостных трещин начинается в поверхностных слоях материала, которые подвергаются наибольшим нагрузкам. По этой причине эффективным способом повышения ресурса изделия считается механическая обработка поверхности.

Существует множество методов поверхностной механической обработки [3]. Перспективным способом улучшения эксплуатационных свойств является лазерная ударная обработка [4]. Эффект упрочнения достигается путем возникновения сжимающих оста-

точных напряжений, вызываемых пластическими деформациями в поверхностных слоях материала. Известно, что данные процессы приводят к увеличению микротвердости, а также структурным изменениям в материале как результат пластической деформации [4].

Целью данной работы было изучение влияния ЛУО на микротвердость и структуру конструкционной стали ШХ15.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Произведена обработка образцов лазерным излучением плотностью мощности импульса q от 1 до 10 ГВт/см² и количеством импульсов – 1 или 3. Методом Виккерса измерены микротвердость и ее распределение по глубине материала, что позволило определить толщину упрочненного слоя. По рентгенограммам произведен анализ процессов, происходящих в результате воздействия лазерного излучения.

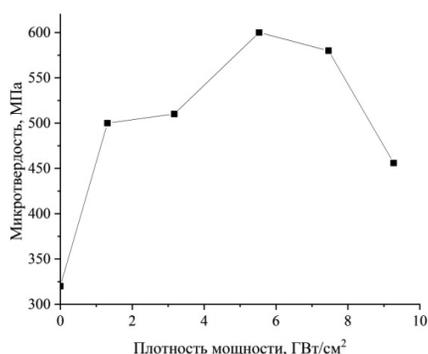


Рис. 1. Показатели микротвердости ШХ15 после облучения при различных значениях q

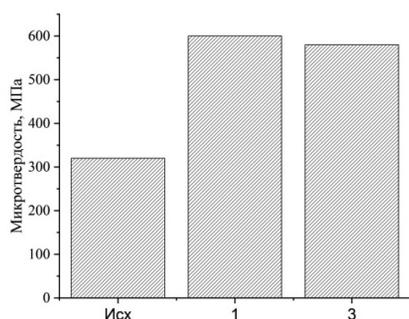


Рис. 2. Зависимость микротвердости от количества импульсов

Методом оптической микроскопии получены фотографии структуры стали после облучения.

В результате обработки лазерным импульсом с различной плотностью мощности было установлено, что при увеличении параметра до 5,5 ГВт/см² (рис. 1) наблюдается рост показателей микротвердости от исходных 320 МПа до предельных 600 МПа. Для больших значений q характерен резкий спад микротвердости. Возможной причиной является внутреннее растрескивание материала, что и оказывает отрицательное влияние на исследуемый параметр [5].

На рисунке 2 представлены результаты измерения микротвердости для исходных и обработанных различным количеством лазерных импульсов образцов. Отмечено, что в результате единичного и трехкрат-

ного воздействия лазерным излучением происходит соизмеримый рост микротвердости стали.

Рентгенофазовый анализ показал отсутствие качественных изменений в структуре стали после ЛУО. Однако наблюдалось уменьшение интенсивности дифракционных линий, что в данном случае может свидетельствовать об увеличении плотности дислокаций. Происходящие изменения отражают протекающие пластической деформации в материале. В результате наклепа наблюдается возникновение остаточных напряжений, знак и величину которых можно определить рентгеновским методом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки лазерным ударным воздействием произошло повышение микротвердости стали ШХ15 до 90%, достигаемое при $q = 5,5$ ГВт/см² за счет повышения дефектности структуры. Исходя из полученных данных, можно сделать предположение о возникновении сжимающих остаточных напряжений в материале, что, в свою очередь, приведет к повышению усталостной прочности стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев А.П. и др. Физико-технологические основы методов обработки // М.: Феникс. – 2006. – 410 с.
2. Новиков И.А., Ножницкий Ю.А., Шibaев С.А. Мировой опыт в исследовании и применении технологического процесса лазерной ударной обработки металлов (обзор) // Авиационные двигатели. – 2022. – № 2(15). – С. 59-82.
3. Дудкина Н.Г. и др. Влияние комбинированных термомодеформационных воздействий на микротвердость и усталостную прочность закаленных углеродистых сталей // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2018. – № 9. – С. 109-116.
4. Zhang Z. et al. Progress in applications of shockwave induced by short pulsed laser on surface processing // Optics & Laser Technology. – 2023. – V. 157. – P. 108760.
5. Zhang X. et al. A comprehensive review of fatigue behavior of laser shock peened metallic materials // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2022. P. 1-45.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОКСИПРОПИЛМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Г.Д. Герасимович¹

¹АО «АЭК», г. Ангарск

e-mail: GDGerashimovich@rosatom.ru

Описана предлагаемая технология производства гидроксипропилметилцеллюлозы (ГПМЦ). Проведено сравнение ее с аналогичными иностранными технологиями. Получены и испытаны опытные образцы гидроксипропилметилцеллюлозы, сделаны выводы о целесообразности разработки собственной технологии.

The proposed technology for the production of hydroxypropylmethylcellulose is described. The proposed technology is compared with similar foreign technologies. Prototypes of hydroxypropylmethylcellulose are received and tested. Conclusions about the feasibility of developing own technology for the production of hydroxypropyl methylcellulose are drawn.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы вызвана необходимостью обеспечения независимости РФ от импортных поставок гидроксипропилметилцеллюлозы, а также потребностью в решении стратегической задачи по выводу на российский рынок нового продукта.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ГПМЦ – смешанный эфир на основе метилцеллюлозы, содержащий в элементарном звене макромолекулы целлюлозы наряду с метоксильными гидроксипропильными группами. ГПМЦ используется в качестве функциональной добавки при производстве сухих строительных смесей и поливинилхлорида.

Производство ГПМЦ в РФ отсутствует, потребность удовлетворяется за счет импорта. Основные крупные потребители – производители сухих строительных смесей.

Для оценки технологичности порошкообразных веществ, а также для прогнозирования поведения сыпучих масс в условиях промышленного производства определяют их технологические свойства [1].

Получение ГПМЦ имеет схожий химизм с получением полианионной целлюлозы (ПАЦ), основными стадиями являются мерсеризация и алкилирование. Однако в отличие от монохлоруксусной кислоты ($T_{кип} = 189\text{ }^{\circ}\text{C}$), используемой при производстве ПАЦ, хлористый метил, применяющийся для получения ГПМЦ, имеет температуру кипения минус 24 °С, при аналогичной температуре стадии алкилирования 60-90 °С.



Рис. 1. Стадии предлагаемой технологии

Из-за этого процесс получения ГПМЦ проводят при достаточно высоком избыточном давлении 6-30 атм.

Основные стадии предлагаемой технологии представлены на рисунке 1.

ГПМЦ с содержанием метоксильных групп 19-27 %, пропоксильных групп 4-12 % соответствует степени замещения DS по метильным группам 1,12-1,80 и по пропоксильным (MS) 0,33-1,00. В таблице 1 представлены мольные соотношения реагентов при получении ГПМЦ различными технологиями.

Таблица 1. Мольные соотношения реагентов при получении ГПМЦ различными технологиями

Наименование	Эквимолярное соотношение	Технология Henkel	Технология Bayer	Китайская технология	Предлагаемая технология
Cell	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
MeCl	1,80	21,71	4,6	3,0-10,0	3,0
PO	0,33	0,40	0,8	0,5-1,4	0,5-1,0
NaOH	1,80	3,00	2,9	2,0-5,0	3,0
H ₂ O		10,00	6,5		6,5
DME			2,0-3,5		10,0-25,0

Исторически первым способом получения ГПМЦ являлась технология, использующая хлористый метил не только как алкилирующий агент, но и как растворитель, в котором получаемый продукт не набухает и не растворяется.

Предлагаемая технология близка к технологии компании Bayer. Однако в отличие от немецкой технологии предлагаемый способ характеризуется использованием в качестве растворителя ДМЭ (побочный продукт реакции), полной конверсией хлористого метила, увеличенным значением жидкостного модуля, меньшим объемом отходов и более высокой эффективностью использования алкилирующего агента (хлористый метил).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы является собственная технология производства ГПМЦ, при помощи которой будет достигнута независимость РФ от импортных поставок, а также будет решена стратегическая задача по выводу на российский рынок нового продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халикова М.А., Фадеева Д.А., Жиликова Е.Т., Новиков О.О., Кузьмичева О.А., Ковалева М.Г. Определение технологических показателей гидроксипропилметилцеллюлозы // Научные ведомости. – 2010. – С. 1.

ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ ДЛЯ ДВУХ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС В РАМКАХ ПРОЕКТА АЭС-2006

Е.О. Золотухина¹

¹АО «Атомэнергoproject», г. Санкт-Петербург
e-mail: EOZolotuhina@atomproekt.com

Цель статьи заключается в обосновании размещения ремонтной мастерской и средств дезактивации только на 1-м энергоблоке проектов АЭС-2006, проектируемых для двух энергоблоков.

The purpose of the article is to justify the placement of repair workshop and decontamination facilities only at 1 power unit of the NPP-2006 project designed for two power units.

ВВЕДЕНИЕ

Размещение ремонтной мастерской и средств дезактивации только на 1-м энергоблоке проектов АЭС-2006 принято на основе опыта проектирования и эксплуатации Референтного проекта энергоблоков № 1 и № 2 ЛАЭС-2 и связано с требованием обеспечения повышенного дозиметрического контроля на энергоблоке № 1 и нераспространения радиоактивных ЖРО и ТРО.

В проектах АЭС-2006 предусмотрены системы, которые предназначены для дезактивации оборудования и помещений перед планово-предупредительными осмотрами и ремонтами с целью снижения доз облучения обслуживающего персонала в процессе эксплуатации АЭС.

Также в проектах АЭС-2006 предусмотрены мастерские, в состав которых входят ремонтные участки для выполнения всех видов ремонтных работ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Комплекс технологий и технических средств обеспечивает возможность дезактивации всех загрязненных радиоактивными веществами объектов при нормальном эксплуатационном режиме, при проведении планово-предупредительных ремонтов (ППР), а также после нарушения режимов нормальной эксплуатации.

Для проведения дезактивации оборудования и помещений энергоблоков № 1 и № 2 в проектах АЭС-2006 предусмотрены следующие системы дезактивации:

- стационарное оборудование дезактивации (ФКК): предназначено для дезактивации съемного оборудования;
- передвижные модульные установки дезактивации (FKN): предназначены для дезактивации стационарного оборудования и помещений;
- установки и устройства дезактивации реакторной установки (ФКА): предназначены для проведения дезактивации узлов приводов системы управления и защиты (СУЗ).

Решение о размещении ванн дезактивации выемной части главного циркуляционного насосного агрегата (ГЦНА), мелкого и очень мелкого оборудования на энергоблоке № 1 в проектах АЭС-2006 направлено на реализацию мероприятий в части:

- минимизации дозовых нагрузок на персонал;
- минимизации помещений и оборудования для работ с радиоактивными источниками;

- исключения облучения персонала, занятого в мастерских энергоблока № 2 здания ядерного обслуживания;

- минимизации источников радиоактивного загрязнения воздуха и распространения радиоактивных веществ по АЭС;

- отсутствия воздействия на персонал дозовых нагрузок при транспортировке.

В проектах АЭС-2006 система ФКК предусмотрена на энергоблоке № 1, но обеспечивает дезактивацию оборудования энергоблоков № 1 и № 2.

Графиком проведения ППР исключена возможность одновременного вывода энергоблоков № 1 и № 2 в ремонт, поэтому одновременная работа стационарной системы дезактивации съемного оборудования для двух энергоблоков исключена.

Оборудование, которое можно отдезактивировать по месту, дезактивируется при помощи передвижных модульных установок FKN.

Компоненты системы FKN в межэксплуатационный период хранятся в здании ядерного обслуживания 1-го из энергоблоков.

Перед проведением дезактивации установки перемещаются с помощью электрокар или переносятся мостовым краном непосредственно в помещении или рядом с дезактивируемым объектом.

Организация на 1-м энергоблоке мастерской для проведения технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования с высокой поверхностной активностью обеспечивает выполнение работ в период ППР для энергоблоков № 1 и № 2 в проектах АЭС-2006.

Мастерская для проведения (ТОиР) оборудования работает совместно с хранилищем транспортно-технологического оборудования (ТТО), запроектированного для работы энергоблоков № 1 и № 2.

Упакованное крупногабаритное и сложное в ремонте оборудование завозится отдельно через транспортный въезд здания ядерного обслуживания энергоблока № 1.

Во время проведения ППР на энергоблоке № 1 в здании реактора, при извлечении из реактора ТВС и проведения осмотра оборудования первого контура выполняется ремонт оборудования по месту. При выявленных дефектах, требующих дополнительных работ, ремонтируемое оборудование вывозится в специальные мастерские.

При выводе на ремонт ГЦНА для этих целей выполняется демонтаж его выемной части. С помощью передвижных модульных установок FKN демонтированная выемная часть ГЦНА дезактивируется. При помощи крана кругового действия выемная часть ГЦНА устанавливается в защитный контейнер в здании реактора энергоблока № 1. Защитный контейнер с активной выемной частью ГЦНА транспортируется из здания реактора энергоблока № 1 в мастерскую для обслуживания энергоблоков № 1 и № 2, расположенную в здании ядерного обслуживания энергоблока № 1.

Защитный контейнер с выемной частью ГЦНА заводится через транспортный въезд здания ядерного обслуживания энергоблока № 1 в специальную мастерскую. В мастерской при помощи крана выемная часть ГЦНА извлекается из защитного контейнера и устанавливается в ванну дезактивации выемной части ГЦНА для последующей дезактивации.

С целью снижения количества радиоактивных отходов используется однованный способ дезактивации с промежуточной трансформацией растворов во время процесса.

После дезактивации выемная часть устанавливается на стпель для выполнения последующего ТОиР.

После завершения ТОиР выемная часть ГЦНА устанавливается в защитный контейнер и транспортируется обратно в здание реактора энергоблока № 1.

Аналогичным способом производятся работы при выполнении ППР выемной части ГЦНА на энергоблоке № 2.

Увеличение пути транспортировки не меняет ситуацию с обеспечением радиационной безопасности, так как выемная часть ГЦНА транспортируется в защитном контейнере. Основные дозовые нагрузки персонал получает при выполнении технологических операций непосредственно с выемной частью ГЦНА, а не во время ее транспортировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение о размещении стационарной системы дезактивации выемной части ГЦНА, мелкого и очень мелкого оборудования ремонтной мастерской, а также хранения передвижного модульного оборудования дезактивации в межэксплуатационный период только на энергоблоке № 1 обеспечивает безопасность функционирования энергоблоков № 1 и № 2 в проектах АЭС-2006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампелогова Н.И., Симановский Ю.М., Трапезников А.А. Дезактивация в ядерной энергетике / Под ред. В.М. Седова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 256 с.
2. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) / дата введения 01.09.2009.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДБОРА УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СОРБЦИИ ИОНОВ Sr(II) ЧАСТИЦАМИ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ВЕРМИКУЛИТА

А.В. Ильясова¹, Р.Р. Ильясова¹, И.А. Массалимов¹, А.Г. Мустафин¹

¹ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

e-mail: velikaya.a.05@mail.ru, Ilyasova_R@mail.ru, ismail_mass@mail.ru, phchem@bsu.bashedu.ru

В работе проведен сравнительный анализ степени извлечения ионов Sr(II) от оптимальных условий сорбции частицами тонкодисперсного вермикулита, полученных экспериментально, и приведены прогностические данные, рассчитанные с помощью программной системы для математических вычислений GNU Octave.

The article presents a comparative analysis of the degree of extraction of Sr(II) ions from optimal sorption conditions by fine-dispersed vermiculite particles obtained experimentally and predictive data calculated using the GNU Octave software system for mathematical calculations.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что получение ядерной энергии сопровождается образованием большого количества отходов, которые содержат радионуклиды неорганического происхождения. В связи с этим актуальной задачей является очистка сточных вод предприятий атомной промышленности [1]. Для решения данной проблемы используют различные методы очистки сточных вод: химические, физико-химические, биологические и др. Одним из эффективных методов удаления радионуклидов является сорбция с использованием в качестве сорбентов материалов природного происхождения [2-3].

Цель настоящего исследования заключалась в проведении сравнительного анализа степени из-

влечения Sr(II) от условий сорбции частицами тонкодисперсного вермикулита, полученных экспериментально, и приведении прогностических данных, рассчитанных с помощью свободной программной системы для математических вычислений GNU Octave для разработки эффективного сорбента по отношению к Sr(II).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В последнее время интерес ученых и технологов направлен на разработку высокодисперсных сорбентов на основе природных материалов, обладающих высокой поверхностной активностью, сорбционной эффективностью, относительной дешевизной, отсутствием токсичности.

Вермикулит – минерал из группы гидрослюд, имеющих слоистую структуру. Химический состав отвечает приблизительной формуле $(Mg^{+2}, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3[(Al, Si)_4O_{10}] \cdot (OH)_2 \cdot 4H_2O$.

В работе использован вермикулит, механически диспергированный на ударно-центрибежной мельнице Alpa. Средний размер частиц вермикулита, измеренный с помощью лазерного анализатора размера частиц фирмы Shimadzu (Япония), составил около 1-10 мкм с максимумом в 5 мкм. Размер частиц по сравнению с исходным вермикулитом интервально уменьшился от 500-600 мкм до 1-10 мкм.

Компьютерными методами была исследована зависимость степени извлечения ионов Sr(II) от температуры сорбции, pH, соотношения массы сорбента к объему водного раствора соли, а также времени установления сорбционного равновесия частицами тонкодисперсного вермикулита.

Одним из важнейших критериев, определяющих характер сорбции (физический или химический), является температурный. Физическая сорбция в отличие от химической (хемосорбции) характеризуется отсутствием химического взаимодействия между сорбентом с сорбатом, обратимостью и возможностью десорбции – регенерации отработанного сорбента.

Авторами предварительно проведено прогностическое исследование влияния температурной зависимости на сорбцию ионов стронция частицами вермикулита с помощью программной системы для математических вычислений GNU Octave. Параллельно экспериментально получена степень извлечения ионов стронция частицами сорбента.

Согласно полученным результатам (рис. 1), прогнозируемая математическая зависимость подтверждается экспериментальными химическими данными. Точность математического метода, использованного для прогноза влияния температуры на сорбционный процесс, составляет выше 90% согласно литературным данным (рис. 2).

В соответствии с графиком с увеличением температуры в прогностическом и экспериментальном режиме степень извлечения ионов стронция частицами сорбента уменьшается, значит, протекает физическая сорбция. При этом оптимальной температурой сорбции является 20 °С, что важно для проведения процесса сорбции ионов стронция в экономичном режиме, при невысокой температуре.

Другие параметры сорбции определены аналогично: в экспериментальном режиме, в режиме компьютерной обработки данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенным исследованиям установлены оптимальные условия сорбции ионов Sr(II) части-

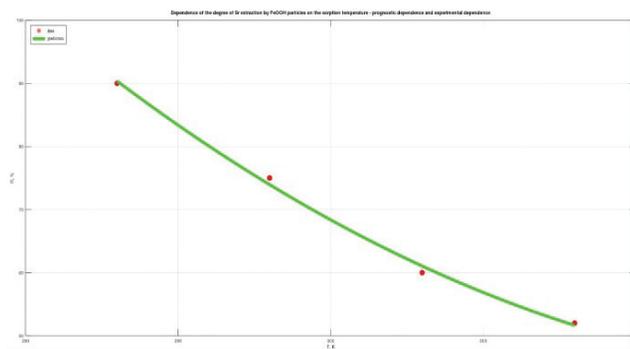


Рис. 1. Зависимость степени извлечения ионов стронция частицами тонкодисперсного вермикулита от температуры сорбции: data – экспериментальная зависимость, prediction – прогностическая зависимость

```
>> prog
ans = 0.9037
>> |
```

Рис. 2. Вывод среднего квадратического отклонения между прогностической кривой и кривой экспериментальной

цами тонкодисперсного вермикулита: температура 20 °С, pH 6,0, время контакта фаз 30 минут, соотношение массы сорбента к объему водного раствора соли 1 г на 25 мл. Также установлено, что методы компьютерного моделирования обладают высокой точностью, следовательно, для установления оптимальных условий сорбции можно применять методы компьютерного моделирования без проведения химических экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенищев В.С., Воронина А.В., Титова С.М., Насонова Ю.И., Черепанова М.А. Сорбционное концентрирование щелочноземельных элементов из природных вод в методике радиохимического анализа // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2022. № 3. – С. 88-100.
2. Кутергин А.С., Недобух Т.А., Никифоров А.Ф., Зенкова К.И., Тарасовских Т.В. Сорбционное извлечение радионуклидов стронция из поверхностных вод природным алюмосиликатом // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. № 4. – С. 118-134.
3. Юрченко В.В., Никифоров А.Ф., Свиридов А.В. Сорбционное извлечение радионуклидов из природных вод тонкодисперсными алюмосиликатами // Экология и промышленность России. – 2010. №4. – С. 28.

ПРОИЗВОДСТВО Li-Na СЛИТКОВ

В.А. Казанцова¹, Л.В. Кустов¹, С.А. Журавлев¹

¹ПАО «Новосибирский завод химических концентратов», г. Новосибирск

e-mail: VAKazantsova@rosatom.ru, LVKustov@rosatom.ru, SAIZhuravlev@rosatom.ru

В данной работе рассматривается способ получения слитков лития металлического с повышенным содержанием натрия для последующего использования в производстве готовой продукции. Определены ключевые задачи, выполнение которых необходимо для проведения испытаний с целью проверки готовности производства к выпуску слитков, достаточности и достоверности методов контроля, а также проверки соответствия технических характеристик изготовленных слитков требованиям спецификации.

In the present paper, we consider a method of making metallic lithium ingots with high sodium content for further usage in manufacturing processes. The crucial tasks, the implementation of which is necessary for testing and control of ingots production, have been identified. The observance of these tasks will verify the readiness of ingots manufacturing, sufficiency and reliability of control methods, as well as compliance of the technical characteristics of manufactured ingots with the requirements of the specification.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ПАО «НЗХК» является обладателем масштабного производственного комплекса литиевой продукции, предоставляющего возможность с высокой эффективностью перерабатывать исходное сырье и на выходе получать литий и его соединения высокой чистоты.

Внедрение нового направления производства лития металлического с повышенным содержанием натрия позволяет обеспечить потребителей новыми продуктами.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Главная задача состояла в разработке и проведении промышленных испытаний технологии получения лития металлического с повышенным содержанием натрия.

В рамках работы необходимо было решить следующие задачи:

- обеспечение подготовки натрия металлического;
- перемешивание расплава лития металлического с навеской натрия металлического;
- литье слитков.

Натрий металлический до начала работ должен находиться в сухом помещении под слоем масла, чтобы весь металл находился под слоем жидкости.

Изготовление слитков лития металлического с повышенным содержанием натрия осуществлялось следующим образом. Для получения заданного химического состава расчетная навеска натрия металлического помещалась в заранее подготовленную изложницу.

Затем расплав лития металлического заливался из кружки в изложницу.

Для проведения работы необходимо было разработать:

- техническую спецификацию, включающую в себя физико-химические требования к слиткам;
- программу проводимых испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований с помощью методик определения состава примесей в веществе, применяемом в ПАО «НЗХК», подтвердили химический состав готовой продукции и соответствие требованиям заказчика по техническим характеристикам.

По результатам проведенных испытаний было установлено, что изготовленные партии соответствуют технической спецификации, согласованной с заказчиком, а также годными для отправки потребителю в качестве товарных партий. Продукция поставлена на производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое сообщение об изготовлении опытной партии секторных слитков с повышенным содержанием натрия № 21/06/26349-ВК от 04.08.2022 г. ПАО «НЗХК». Новосибирск. – 2022. – 7 С.
2. Техническое сообщение по определению оптимального способа отливки цилиндрических слитков из лития металлического с повышенным содержанием натрия № 21/06/37588-ВК от 02.11.2022г. ПАО «НЗХК». Новосибирск. – 2022 – 10 С.
3. ГОСТ 3273-75 «Натрий металлический технический».

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ЭНДОЭДРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНОВЫХ КЛАСТЕРОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

К.Е. Кафидов¹, М.В. Суясова², А.А. Сжогина³

¹Санкт-Петербургский филиал АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург

²Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова, г. Гатчина

³Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), г. Санкт-Петербург

e-mail: KEKafidov@atomproekt.com

В работе предоставлены результаты влияния гамма-излучения на эндоэдральные железо – углеродные фуллереновые кластеры (Fe@C₆₀ – PVP, Fe@C₆₀ – Dextrin, Fe@C₆₀(OH)_{30±2}), а также на образцы фуллеренов C₆₀ (чистотой 99,99%).

Для фуллеренов и комплексов фуллеренов с полимерами определены радиационно-химические выходы.

There are results of the gamma –radiation’s in fluence on endohedral iron-carbon fullerene complexes (Fe@C₆₀ – PVP, Fe@C₆₀ – Dextrin, Fe@C₆₀(OH)_{30±2}) and also on samples of fullerenes C₆₀ (purity 99.99%).

For fullerenols and complexes of fullerenes with polymers, the radiation-chemical yields were determined.

ВВЕДЕНИЕ

Радиационная стойкость эндометаллофуллеренов (ЭМФ) – это один из наиболее значимых параметров, который определяет возможность их использования в качестве радиопротекторов и радиофармапрепаратов. Знание основных закономерностей, в частности влияния поглощенной дозы на изменение концентрации облученных образцов, позволит сделать выводы о пригодности использования такого типа углеродных материалов в ядерной медицине и биологии в качестве препаратов с радиоактивной меткой. Фуллереновый кейдж защищает находящийся внутри него атом металла от химического воздействия. Это позволяет избежать выхода токсичного радионуклида металла из углеродной оболочки фуллерена в ткани и органы живого организма.

Количественной характеристикой радиолиза вещества является радиационно-химический выход, измеряемый количеством возникших или разрушившихся частиц вещества (молекул, атомов, ионов, свободных радикалов и т. д.) при поглощении 100 эВ энергии ионизирующего излучения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования были выбраны водорастворимые эндоэдральные железо-углеродные фуллереновые кластеры, представляющие собой комплексы с поливинилпирролидоном (PVP) и декстрином. Использование биосовместимых полимеров, растворимых или диспергируемых в воде, открыло возможность применять ЭМФ и фуллерены в качестве контрастирующих агентов для магнитно-резонансной томографии (МРТ) и лекарственных препаратов для медицины.

В ходе исследования было проведено гамма-облучение следующих образцов в твердом виде и в виде растворов: Fe@C₆₀ – PVP, Fe@C₆₀ – Dextrin, Fe@C₆₀(OH)_{30±2} и C₆₀. Образцы были облучены в твердом виде гамма-излучением ⁶⁰Со поглощенной до-

зой 0.95 [МГр] в виде растворов в течение 119 часов и мощностью дозы 5 [кГр].

Для определения влияния гамма-облучения на изменение структуры комплекса были зарегистрированы ИК-спектры комплексов ЭМФ с полимерами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы были определены радиационно-химические выходы фуллеренов и комплексов фуллеренов с полимерами (рис. 1 и рис. 2).

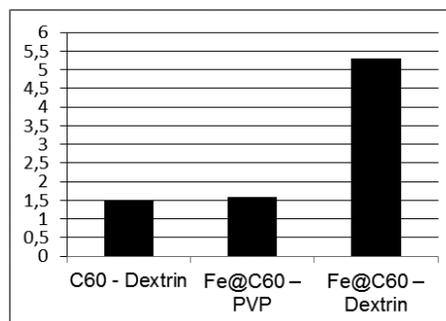


Рис. 1. Радиационно-химические выходы фуллеренов и комплексов ЭМФ в порошкообразном виде D=0,95 [МГр]

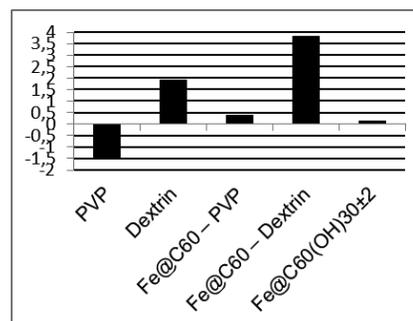


Рис. 2. Радиационно-химические выходы фуллеренов и комплексов ЭМФ в виде растворов D=5 [кГр]

Данные позволяют сделать вывод о том, что под действием гамма-излучения ЭМФ железа в комплексе с декстрином обладают самым высоким радиационно-химическим выходом.

В насыщенных растворах при поглощенной дозе в 5 [кГр] использовать Fe@C₆₀ – Dextrin также нецелесообразно, в то время как комплексы ЭМФ с PVP показывают подходящие для применения в качестве радиопротекторов и радиофармапрепаратов результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров В. Н. Биомедицинское применение магнитных наночастиц / США: Wiley-VCH. – 2009. – С. 394-444.
2. Yin, J. J. The Scavenging of Reactive Oxygen Species and the Potential for Cell Protection by Functionalized Fullerene Materials // Biomaterials. – 2009. – С. 611-621.
3. Пеотровский Л. Медико-химические и фармакологические применения фуллеренов и углеродных нанотрубок // Германия: Springer. – 2008. – С. 139-155.

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ БЕЗВОДНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ СПЕЦОДЕЖДЫ

Е.И. Корочкин¹, А.Ю. Николаев¹, А.А. Мурзин¹

¹АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург

e-mail: e.korochkin@khlopin.ru

В данной работе описывается создание установки безводной дезактивации спецодежды в среде сжиженных газов с осуществлением их последующей рециркуляции. Проведена исследовательская работа, в результате которой были созданы исходные данные на установку, создан экспериментальный образец модульной установки безводной дезактивации спецодежды, который был испытан в условиях действующего радиохимического предприятия.

In this paper were described making of anhydrous overalls decontamination plant which uses pressurized gases as an environment and has recirculation system for this gases. At his stage were completed researching work based on which were made initial data for the plant and experimental sample of an anhydrous overalls decontamination plant, which was tested in the conditions of working radiochemical facility.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день основным и, по сути, единственным методом дезактивации спецодежды на радиохимических предприятиях является водная стирка в специализированных стиральных машинах барабанного типа. К существенным недостаткам этого метода можно отнести большой объем образующихся вторичных жидких радиоактивных отходов (ЖРО) (в среднем 40 м³ с 1 т дезактивируемых средств индивидуальной защиты (СИЗ) [1]), а также сложность состава образующихся отходов (наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ), комплексообразователей, механических, потожировых загрязнений и т.д.), что существенно затрудняет их дальнейшую переработку. Альтернативой может стать применение технологии флюидной дезактивации [2], что оценочно позволит снизить объем вторичных радиоактивных отходов (РАО) до 300 раз.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сущность метода флюидной дезактивации заключается в использовании сжиженного или сверхкритического газа с растворенными в нем добавками в качестве дезактивирующей среды. Особенностью данного метода является возможность относительно легкого выделения растворителя из дезактивирующей среды путем изменения давления в системе.

Целью данной работы являлось создание экспериментального образца модульной установки безвод-

ной дезактивации для дальнейшей отработки технологии.

С целью проведения серии экспериментов на модельных образцах СИЗ для определения оптимальных параметров проведения процесса и изучения влияния различных дезактивирующих добавок на эффективность процесса дезактивации был создан макет установки безводной дезактивации (рис. 1).

В результате проведения исследований были определены [3] рабочие параметры проведения процесса дезактивации (температура 60 °С, давление 15 атм.), подобрана наиболее эффективная дезактивирующая рецептура на основе сжиженного фреона HFC-134a, включающая поверхностно активные вещества, усилители химической чистки и селективные комплексообразователи для ряда радионуклидов, которые наиболее часто встречаются на предприятиях радиохимической промышленности, а также

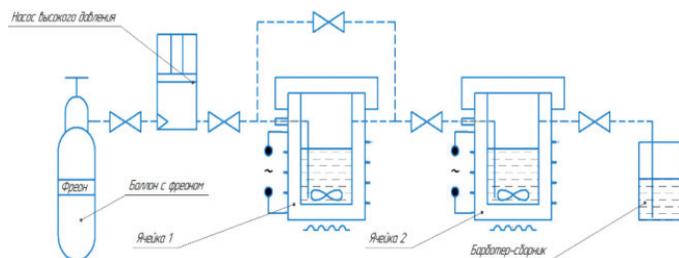


Рис. 1. Лабораторный макет модульной установки безводной дезактивации спецодежды

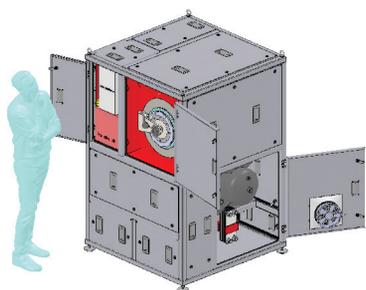


Рис. 2. Общий вид экспериментального образца модульной установки безводной дезактивации

на объектах эксплуатации ядерных энергетических установок.

На основе результатов, полученных в ходе лабораторного этапа, были сформулированы исходные данные для создания экспериментального образца модульной установки безводной дезактивации, по которым был разработан комплект расчетно-конструкторской документации и создан экспериментальный образец установки безводной дезактивации спецодежды.

Созданный экспериментальный образец установки (рис. 2) был оснащен системой регенерации фреона для рецикла растворителя с промежуточным выделением и сбором отработавших дезактивирующих добавок и загрязнений, удаляемых с поверхности спецодежды. Установка рассчитана на загрузку порядка 3 кг СИЗ/час.

Созданная установка была испытана на территории НЭК АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» в г. Гатчина в условиях действующего радиохимического предприятия. После завершения пусконаладочных работ была проведена серия экспериментов на различных образцах: реальных СИЗ с механическими загрязнениями (без РН), модельных СИЗ с заранее нанесенными метками радионуклидов и реальных СИЗ, содержащих механические загрязнения и радионуклиды.

На основе проведенных испытаний был уточнен состав предложенной ранее дезактивирующей рецептуры, с возможным снижением концентрации компонентов смеси.

В ходе испытаний экспериментального образца установки удалось добиться суммарных коэффициентов дезактивации за 2 цикла дезактивации 4-30 по α загрязнениям и 10-48 по β загрязнениям.

Также были изучены возможные деструкционные эффекты материалов СИЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе описанного этапа работ был создан экспериментальный образец модульной установки безводной дезактивации спецодежды в среде сжиженного фреона. Испытания показали перспективность технологии. В процессе отработки предложенной технологии был уточнен состав дезактивирующей смеси и показана целесообразность дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.2.8.46-03 Санитарные правила по дезактивации средств индивидуальной защиты. – М.: МОРКНИГА, 2020. 47 с.
2. Шафигов, Д.Н. Технология дезактивации в среде сжиженного 1,1,1,2-тетрафторэтана: специальность 05.17.02 «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шафигов Денис Насихович. – Санкт-Петербург, 2014. – 102 с. – EDN SVBZCH.
3. Разработка исходных данных для создания модульной установки безводной дезактивации спецодежды / Е.И. Корочкин, А.А. Мурзин, А.Ю. Николаев, А.С. Чиркова // Радиохимия-2022: X российская конференция с международным участием, Санкт-Петербург, 26-30 сентября 2022 года. – Москва: ООО «Медсол», 2022. – С. 283. – EDN CDZROC.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АППАРАТОВ С РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКОЙ И УСТАНОВОК РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННОГО ТИПА

А.С. Круглова¹, П.К. Бобин¹

¹АО «НИИГрафит», г. Москва

e-mail: ASKruglova@rosatom.ru, PKBobin@rosatom.ru

В современной промышленности предъявляются достаточно определенные требования к скорости и качеству рентгеновской дефектоскопии. В данной работе приведен сравнительный анализ рентгеновских установок разного типа и приведено обоснование их применения под конкретные задачи.

In modern industry, quite certain requirements are imposed on the speed and quality of X-ray flaw detection. In this paper, a comparative analysis of X-ray installations of various types is given and the rationale for their use for specific tasks is given.

ВВЕДЕНИЕ

Существует два основных способа рентгеновской дефектоскопии материалов и конструкций: рентгенографический контроль и рентгентелевизионный анализ [1, 2].

Под рентгенографическим контролем понимается совокупность разнообразных методов исследования внутренней структуры объектов, которые проецируются при помощи рентгеновских лучей на специальную пленку или бумагу. В рентгенографическом

анализе рентгеновская трубка является источником рентгеновских лучей, возникающих в ней в результате взаимодействия быстро летящих электронов с атомами анода, установленного на пути электронов. Для возбуждения рентгеновского излучения в рентгеновских трубках должно быть обеспечено:

- получение свободных электронов;
- сообщение свободным электронам большой кинетической энергии (от нескольких тысяч до 1–2 млн электронвольт);
- взаимодействие быстро летящих электронов с атомами анода.

Далее под действием рентгеновских лучей происходит затенение пленки и в зависимости от наличия препятствий на их пути, получается разная плотность почернения [2].

Рентгенотелевизионный метод является усовершенствованным вариантом первого метода. В данном случае вместо пленки, улавливающей рентгеновские лучи, выступает детектор, позволяющий получить изображение структуры детали на дисплей монитора.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рентгенографический метод состоит в том, что при прохождении через материал контролируемой детали рентгеновское излучение претерпевает ослабление в зависимости от толщины детали, плотности и структуры материала. Он основан на сравнении плотности почернения отдельных участков рентгенограммы с ее общим фоном и контрольным образцом.

Основными преимуществами рентгенографического анализа являются сравнительно высокая точность, обусловленная свойствами самой пленки, а также большая универсальность, так как зачастую требуется наличие четкого рентгеновского снимка. Также существенным преимуществом является сама дешевизна такой установки.

К недостаткам данного метода можно отнести время, которое требуется на всю процедуру получения снимка. В зависимости от степени автоматизации проявки полный цикл работы может занимать от 20 минут до 1,5 часов. Также при использовании данного метода необходимо применять расходные материалы, такие как радиографическая пленка, фиксаж, проявитель, дистиллированная вода.

Метод рентгенотелевизионного контроля основан на поглощении рентгеновских лучей, которое зависит от плотности среды и атомного номера элементов, образующих материал среды.

Наличие таких дефектов, как трещины, раковины или включения инородного материала, приводят к тому, что проходящие через материал лучи ослабляются в различной степени. Регистрируя распределение интенсивности проходящих лучей, можно определить наличие и расположение различных неоднородностей материала. Метод основан на сравнении плотности почернения участков на рентгенотелевизионном изображении с общим фоном и контрольными образцами.

Главным положительным качеством данного метода является скорость. Установка позволяет в режиме онлайн просмотреть структуру материала и определить наличие дефектов. Благодаря наличию подвижного стола можно не только перемещать материал или конструкцию вперед-назад, вверх-вниз, но и вращать, что очень полезно в ситуации, когда, например, нужно определить глубину трещины. Вследствие этого возникает «эффект 3D», когда можно очень точно определить место дефекта. Установка снабжена также лазерным прицелом, позволяющим однозначно определять местонахождение дефектов. Также можно проводить сканирование армирующего наполнителя послойно. Толщина слоя определяется шагом укладки материала армирующего наполнителя, а также величиной фокуса рентгеновской трубки. Шаг сканирования должен подбираться опытным путем. Скручивание армирующего наполнителя относительно оси Z определяется по смещению центра четкой видимости торцов материала армирующего наполнителя. В геометрически правильном армирующем наполнителе центр располагается по середине экрана детектора, но из-за скрученности центр при сканировании смещается на угол α .

Угол скрутки (α) армирующего наполнителя определяется простой формулой (1), которая имеет качественный характер и уточняется в процессе исследований.

$$\sin \alpha \approx \frac{A}{2 \times L \times B}, \quad (1)$$

где A – смещение центра стержней на детекторе, мм; L – фокус рентгеновской трубки, мм; B – коэффициент увеличения детектора.

Стоит также отметить, что при работе на рентгенотелевизионной установке сотрудники не контактируют с химией в отличие от первого метода.

Однако существуют и существенные минусы, такие как дороговизна этих установок и меньшая точность получаемого на дисплее изображения по сравнению с пленкой. Данный недостаток обусловлен разрешением детектора, так что в более технологичных моделях точность будет заметно выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При массовом контроле на наличие дефектов гораздо выгоднее и удобнее использовать рентгенотелевизионный метод, он существенно ускоряет производственный процесс. К сожалению, при использовании этого метода невозможно получить распечатки изображения приемлемого качества. Также данные снимки не защищены от редактирования в различных программах, поэтому для контроля качества изделий, к которым предъявляются повышенные требования, необходимо использовать рентгенографический метод. Важен также тот факт, что, несмотря на меньшую начальную стоимость установки для рентгенографического анализа, она будет возрастать из-за необходимости постоянно покупать расходные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Сварные соединения. – М.: Госстандарт СССР, 1981.
2. Пат. РФ 2091775, Способ рентгенотелевизионного контроля изделий / Ревякин М.Ю.; заявитель

и патентообладатель Ревякин М.Ю. Добромислов В.А. – № 94027675/25; заявл. 22.07.1994; опубликовано: 27.09.1997.

ДОЗИРОВАНИЕ ВОДОРОДА В ПЕРВЫЙ КОНТУР АЭС «АККУЮ», ТУРЦИЯ

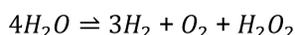
Д.В. Грунин¹, Б. Куртулуш Озтурк¹
¹АО «АЭС Аккую», г. Мерсин (Турция)
 e-mail: b.kurtulus@akkuyu.com

Рассмотрены аспекты поддержания концентрации водорода в первом контуре АЭС «Аккую». Проведен анализ двух способов поддержания концентрации водорода в первом контуре: традиционный – разложение аммиака в реакторе под действием радиационного излучения, и новый, не используемый ранее на АЭС России, – дозирование газообразного водорода. При втором способе производится насыщение подпиточной воды газообразным водородом при повышенном парциальном давлении водорода, после чего вода вводится в реактор. Рассмотрена технологическая схема узла ввода водорода в первый контур АЭС «Аккую», Турция.

Aspects of maintaining the hydrogen concentration in the primary circuit of the Akkuyu NPP are considered. The analysis of two methods of maintaining the hydrogen concentration in the primary loop is carried out: the traditional one is the decomposition of ammonia in the reactor under the action of radiation and the new, not previously used at Russian NPPs, the dosage of gaseous hydrogen. In the second method, the makeup water is saturated with gaseous hydrogen at an increased partial pressure of hydrogen, after which water is introduced into the reactor. The technological scheme of the unit for hydrogen injection into the primary circuit of the Akkuyu NPP, Turkey is considered.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрены аспекты поддержания концентрации водорода в первом контуре АЭС «Аккую». При прохождении воды через активную зону реактора часть ее под действием излучения разлагается на водород, кислород и перекись водорода.



Появление кислорода и водорода приведет к образованию «гремучей смеси». Кроме того, кислород и перекись водорода являются активными деполяризаторами электрохимической коррозии металлов. При наличии в воде кислорода и азота под действием гамма-излучения образуются азотная и азотистая кислоты, что также вызывает увеличение скорости коррозии конструктивных материалов. Для исключения выше указанных негативных процессов необходимо существенно снизить скорость разложения воды. Поэтому единственным способом уменьшения скорости радиолиза воды является увеличение концентрации водорода в воде первого контура.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

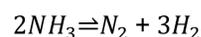
Согласно принципу Ле-Шателье для предотвращения разложения воды необходимо увеличить концентрацию продуктов ее разложения. Увеличение концентрации кислорода и перекиси водорода неприемлемо, так как это приведет к резкой интенсификации процессов коррозии конструктивных материалов. Поэтому единственным спосо-

бом уменьшения скорости радиолиза воды является увеличение концентрации водорода в воде первого контура.

При содержании водорода в теплоносителе в пределах 2,2-4,5 мг/дм³ практически полностью подавляется радиолиз контурной воды (верхний предел содержания водорода ограничен величиной 4,5 мг/дм³ из-за водородного охрупчивания циркониевых сплавов).

Существует два способа введения водорода в воду реактора.

1. Дозирование в первый контур раствора аммиака. Данный способ широко используется на АЭС России, а также применяется на зарубежных АЭС ВВЭР. Под действием радиационных полей реактора происходит разложение аммиака на водород и азот:

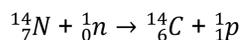


2. Дозирование в первый контур газообразного водорода (дозируется вода, насыщенная водородом). Данный способ используется на зарубежных АЭС ВВЭР и будет применен на АЭС «Аккую» (Турция) и Курской АЭС-2 (Россия).

Существует ряд проблем при дозировании раствора аммиака.

1. Скорость образования водорода из аммиака практически прямо пропорциональна мощности реактора, это затрудняет поддержание концентрации водорода в заданных пределах в период пусков, когда мощность реактора мала в переходных режимах работы энергоблока.

2. При введении аммиака в нейтронном поле реактора из азота по реакции



образуется генетически опасный радиоактивный изотоп ${}^{14}\text{C}$ с очень большим периодом полураспада $5,7 \times 10^3$ лет.

3. В теплоноситель первого контура с вводимым аммиаком поступают вредные примеси, например натрий, хлорид-ионы и другие. Некоторые химические элементы, активируясь в реакторе, повышают активность теплоносителя.

4. При введении аммиака возникает увеличение в воде реактора концентрации щелочных металлов, анионов и активности теплоносителя. Это обусловлено тем, что гидроксид аммония вытесняет с ионообменных фильтров первого контура вышеуказанные компоненты.

5. Введение раствора аммиака приводит к отклонению от оптимального значения pH воды первого контура, что приводит к интенсификации процессов коррозии конструкционных материалов.

6. Появление в теплоносителе азота, образующегося при радиолизе аммиака, приводит к образованию нитрат- и нитрит-ионов, которые снижают коэффициент очистки ионитных фильтров, а также могут негативно влиять на коррозионную стойкость конструкционных материалов.

С целью совершенствования водно-химического режима первого контура и устранения вышеназванных проблем на АЭС «Аккую» и Курской АЭС-2 вместо раствора аммиака будет дозироваться газообразный водород (вода, насыщенная водородом).

Узел дозирования водорода является элементом системы продувки-подпитки КВА и предназначен для дозирования газообразного водорода в подпиточную воду первого контура с целью поддержания в теплоносителе первого контура концентрации растворенного водорода от 2,2 до 4,5 мг/дм³ в соответствии с нормами водно-химического режима первого контура. Водород в подпиточной воде должен находиться в растворенной форме.

Водород вырабатывается в генераторе «PROTON» серии S, где применяется технология безщелочного электролиза воды, в качестве электролита выступает протонопроводящая мембрана (PEM), газонепроницаемая структура которой не позволяет кислороду проникать в водород. Кислород, вырабатывается на аноде, под давлением < 1,5 бар и сбрасывается в атмосферу. Водород вырабатывается на стороне катода с давлением до 13 бар. Поскольку давление водорода выше, чем кислорода и учитывая особые свойства мембраны (не пропускать молекулы газов), исключено проникновение кислорода в водород. В процессе электролиза используется вода системы КВС, прошедшая дополнительную очистку, качество воды КВС представлено в таблице 1, и электрический ток. Для дополнительной очистки воды КВС на входе генератора устанавливается фильтр. Генератор производит водород с чистотой не ниже 99,9995% без дополнительных стадий очистки.

Таблица 1. Качество воды КВС [1]

Характеристика	Значение
pH	5,6-10
Концентрация хлорид-иона, мг/дм ³	не более 0,05
Концентрация кремниевой кислоты, мг/дм ³	не более 0,2
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³	не более 0,1
Концентрация борной кислоты, г/дм ³	не более 0,015
Концентрация общего органического углерода, мг/дм ³	не более 0,5

Водород из генератора поступает в газовую фазу сепаратора. Продувочная вода первого контура с расходом 0,8-1,0 м³/час поступает в эжектор, создающий разрежение, за счет которого и происходит засасывание водорода из газовой фазы сепаратора. На выходе эжектора образуется газожидкостная дисперсная фаза, которая поступает в смеситель. В смесителе происходит смешивание основного потока продувочной воды первого контура (расход 15-60 м³/час) с газожидкостной фазой эжектора и его насыщение водородом. Из смесителя поток поступает в сепаратор с равномерной колонной, где нерастворившийся водород из водной фазы переходит в газовую и снова засасывается эжектором, диспергируется в водной фазе и снова подается в смеситель. Так обеспечиваются оптимальные условия насыщения водородом потока продувочной воды и удаления пузырьков не растворившегося водорода.

Из сепаратора обогащенная водородом подпиточная вода поступает на всасывающую линию подпиточных насосов КВА для подачи в первый контур.

Для производства водорода в генератор водорода подается прошедшая дополнительную очистку вода КВС, качество воды КВС представлено в таблице 1. Отвод образующегося в процессе работы генератора кислорода осуществляется в систему газовых сдувок.

Для выполнения ремонтных работ проводится продувка сепаратора азотом для вытеснения водорода из газовой фазы. Сдувка азота/водорода осуществляется в систему газовых сдувок.

В процессе работы установки осуществляется контроль концентрации водорода и кислорода в воздухе рабочей зоны. При содержании водорода в воздухе помещения 0,4% об. и при содержании кислорода 18% об. осуществляется автоматическое отключение генератора водорода и включение аварийной вентиляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение новой технологии дозирования водорода в первый контур реактора позволит:

- повысить оперативность управления водно-химическим режимом первого контура;
- уменьшить коррозионное воздействие теплоносителя на конструкционные материалы первого контура;

- улучшить радиационную обстановку в первом контуре, снизить индивидуальные и коллективные дозы эксплуатационного и ремонтного персонала;
- повысить безопасность и надежность работы оборудования;
- снизить эксплуатационные затраты на реагенты, дозируемые в первый контур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Установка реакторная В-509 Нормы водно-химического режима первого контура 10JAA-MEC0012 509 Д5 Ревизия В02– 2017.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ЛАНТАНОИДОВ В КАТИОНИТЕ BIO-RAD AG® 50W-X8 200-400 MESH

В.В. Лобаненко¹, Г.В. Гончарова¹, К.В. Ротманов¹

¹АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград

e-mail: kvrotmanov@niiar.ru

Определены коэффициенты диффузии лантаноидов (Lu и Yb) в катионите Bio Rad AG® 50W-X8 200-400 mesh с использованием в качестве элюента растворов аммонийной соли лимонной кислоты.

The diffusion coefficients of lanthanides (Lu and Yb) in Bio Rad AG® 50W-X8 200-400 mesh cationite were determined using solutions of ammonium salt of citric acid as an eluent.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из первых комплексообразующих реагентов, применяемых для разделения редкоземельных элементов, была лимонная кислота. Применение лимонной кислоты оказалось достаточно эффективным для разделения легкой группы редкоземельных элементов (РЗЭ), где различия констант устойчивости цитратных комплексов соседних элементов более значительны, чем в случае тяжелых РЗЭ [1].

В работе по исследованию процесса разделения РЗЭ хроматографическим методом [2] использовали сульфокатионит КУ-2 и лимонную кислоту в качестве комплексообразователя. При изучении кинетики ионообменной сорбции авторами [2] показано, что коэффициенты внутренней диффузии ионов ¹⁴⁰La, ¹⁵⁴Eu и ¹⁷⁵Yb составляют $1,7 \times 10^{-7}$ см²/с, $2,26 \times 10^{-7}$ см²/с и $5,2 \times 10^{-7}$ см²/с соответственно.

Сульфокатиониты марки BioRad широко используются для различных исследований в области радиохимических технологий, в частности применяются в ионообменных процессах межгруппового разделения радионуклидов РЗЭ [3].

Целью эксперимента является изучение кинетических закономерностей ионообменной сорбции ионов ¹⁷⁷Lu и ¹⁶⁹Yb на катионите Bio Rad AG® 50W-X8 200-400 mesh.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Изучение кинетики ионного обмена проводили в статических условиях. В градуированную пробирку помещали 1 мл сорбента, затем вносили 10 мл раствора цитрата аммония, содержащего Lu и Yb. В качестве радиоактивной метки в раствор были добавлены индикаторные количества ¹⁷⁷Lu и ¹⁶⁹Yb. По истечении заданного промежутка времени (3, 5, 10, 15, 30, 60, 90 мин.) из раствора над слоем сорбента отбирали пробу и радиометриче-

ским методом проводили определение содержания ¹⁷⁷Lu и ¹⁶⁹Yb.

Для описания процесса диффузии в зерне сорбента в условиях постоянства концентрации сорбтива на поверхности зерна, имеющего сферическую форму, использовано уравнение, полученное Бойдом и Адамсоном [4].

Результаты расчетов кинетики ионного обмена свидетельствуют о внутридиффузионном лимитировании скорости процесса сорбции. Проведены расчеты кинетических параметров сорбции, определены коэффициенты диффузии Lu и Yb в зерне сорбента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам эксперимента установлено: лимитирующей стадией ионообменной сорбции лантаноидов на катионите Bio Rad AG® 50W-X8 200-400 mesh является транспорт вещества внутри зерен – внутренняя диффузия.

Определены коэффициенты диффузии в зерне сорбента: для Lu – $3,33 \times 10^{-8}$ см²/с; для Yb – $4,79 \times 10^{-8}$ см²/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ягодин Г.А. Технология редких металлов в атомной технике // Атомиздат. – 1974.
2. Некрасов В.В., Чернева Е.П., Брюханов В.А., Туницкий Н.Н. Хроматография, ее теория и применение // Издательство академии наук СССР.– 1960.– С. 49.
3. Пат. 2404988 Российская Федерация, МПКС01F 17/00 В01J 45/00.Способ ионообменного выделения радионуклидов иттрия, редкоземельных и трансплутониевых элементов из растворов альфа-гидроксиизомасляной кислоты и ее солей / О.И. Андреев, Э.А. Зотов, Л.А. Кубасова, Н.Т. Куприянова; заявитель и патентообладатель ОАО «Государственный научный центр Научно-иссле-

довательский институт атомных реакторов». – №2008132625/15; заявл. 07.08.2008 ; опубл. 27.11.2012, Бюл. № 33.

4. Boyd G.E., Adamson A.W., Myers L.S. // Journal of the American Chemical Society. Vol. 69. No 11. – 1947.– С. 2836–2848.

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМИ ПОВЫШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРСИОННОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

С.Ю. Логашов¹, П.А. Козлов¹, В.Н. Скоробогатых¹, А.С. Орлов¹, Т.А. Логашова²

¹АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва

²НИЯУ МИФИ, г. Москва

e-mail: sulogashov@cniitmash.com

В рамках повышения параметров конверсионного получения водорода требуется разработка материалов, позволяющих обеспечить работоспособность оборудования в температурном диапазоне выше 1000 °С. В настоящей работе проведен анализ существующих материалов, показаны основные закономерности системы легирования нового материала, обладающего требуемыми служебными характеристиками, а также определено направление дальнейших исследований для обоснования возможности применения новых материалов при заданных параметрах.

As part of improving the parameters of the conversion production of hydrogen, it is necessary to develop materials that make it possible to ensure the operability of equipment in a temperature range above 1000 °C. In this work, an analysis of existing materials is carried out, the main regularities of the alloying system of a new material with the required service characteristics are shown, and the direction of further research is determined to justify the possibility of using new materials with given parameters.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Госкорпорации «Росатом» реализуется проект создания демонстрационного комплекса с высокотемпературным гелиевым реактором (ВТГР) и химико-технологической частью (ХТЧ) для производства водорода. Гелиевый теплоноситель передает тепло при температуре около 850 °С в химико-технологическую часть комплекса, где путем паровой конверсии метана вырабатывается водород.

Одним из вариантов повышения эффективности получения водорода является повышение параметров конверсии метана до температуры выше 1000 °С, что требует решения материаловедческих вопросов в наиболее нагруженных элементах оборудования ВТГР и ХТЧ.

Возможные варианты решения этого вопроса представлены в настоящей работе.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В ходе проработки возможности повышения рабочей температуры конверсии метана конструкторскими организациями разработан проект исходных технических требований к новым конструкционным материалам. Новые материалы должны обладать необходимой технологичностью для обеспечения изготовления труб диаметром от 16 до 1500 мм, листов толщиной от 3 до 200 мм, крупногабаритных поковок, высокой коррозионной стойкостью в паровой и парометановой средах, стойкостью к радиационному распуханию и обеспечивать свариваемость при изготовлении оборудования.

В мировой практике существует несколько путей решения задачи обеспечения жаропрочности при

столь высоких температурах: упрочнение второй фазой в интерметаллидных материалах, введение тугоплавких элементов (например, Re) для повышения температуры растворения второй фазы, преимущественное упрочнение твердого раствора (γ -фаза), упрочнение дисперсионными оксидами и другие.

С учетом имеющегося на сегодняшний день в РФ уровня развития науки и техники для решения поставленной задачи, как базовая матрица, предлагается деформируемый сплав ЭК82-ИД на никелевой основе с твердорастворным упрочнением типа Ni-20Cr-20W, который был разработан ЦНИИТМАШ для сварных трубных систем теплообменных аппаратов высокотемпературных атомных реакторов с гелиевым теплоносителем с рабочей температурой до 1000 °С.

Сплав прошел опытно-промышленное освоение, но требует оптимизации композиции легирующих элементов для обеспечения работоспособности с учетом требований конструкторских организаций.

Следует отметить, что в области высоких температур, в районе 1000 °С, наиболее рациональным является карбидное упрочнение. Оптимальной концентрацией является среднее содержание углерода 0,07–0,10 %, что также подтверждается рядом разработанных и широко опробованных зарубежных однофазных сплавов на никелевой основе [1–4].

Карбиды выделяются преимущественно по границам зерен, что позволяет контролировать рост аустенитного зерна, что особенно важно при столь высоких температурах [5].

Однако, учитывая вышеизложенное, а также объем исходных технических требований, можно прогнозировать температурный интервал применения таким

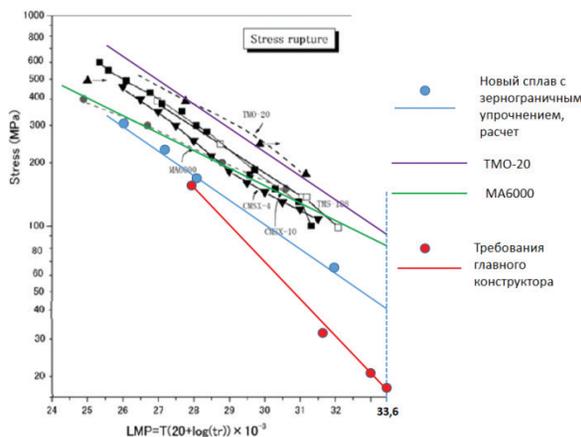


Рис. 1. Характеристики длительной прочности никелевых сплавов с дисперсионно-оксидным упрочнением

образом спроектированного никелевого сплава на уровне 950-1000 °С.

Вариантом материала для обеспечения ресурса эксплуатации оборудования при уровне температур 1000-1050 °С является никелевый сплав с дисперсионно-оксидным упрочнением. С помощью программного комплекса «Расчетная система суперсплавов» [6] спроектирован сплав, работоспособный при требуемом уровне температур. Характеристики нового материала и ряда существующих никелевых сплавов с дисперсионно-оксидным упрочнением в сравнении с конструкторскими требованиями представлены на рисунке 1.

В ходе освоения данного материала необходимо добиться обеспечения требуемых технологических характеристик, особенно при изготовлении крупногабаритных заготовок.

Для подтверждения материаловедческих решений и опытного обоснования уровня служебных характеристик разработана Программа разработки перспективных материалов и оборудования со свойствами

и характеристиками, обеспечивающими повышение эффективности конверсионного производства водорода и параметров ВТГР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Повышение параметров ВТГР позволит выйти на новый уровень эффективности при производстве водорода, снизить себестоимость водорода и металлоемкость оборудования.

2. Исходя из существующего уровня науки и техники, а также с учетом требований главного конструктора к служебным характеристикам элементов оборудования, наиболее целесообразным представляется разработка никелевого сплава, работоспособного в температурном интервале 1000-1050 °С.

3. С учетом имеющегося в АО «НПО «ЦНИИТМАШ» опыта освоения никелевых сплавов одним из наиболее перспективных вариантов базовой матрицы химического состава выступает сплав ЭК82-ИД.

4. В настоящее время разработана и утверждена Госкорпорацией «Росатом» Программа разработки перспективных материалов и оборудования со свойствами и характеристиками, обеспечивающими повышение эффективности конверсионного производства водорода и параметров ВТГР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карбидные фазы в жаропрочных никелевых сплавах с гафнием, С.Т. Кишкин, Г.Б. Строганов, А.В. Логунов, Е.А. Кулешова, И.М. Хацинская, Н.В. Петрушин, ВИАМ, 1982.
2. HASTELLOY® X alloy (UNS N06002 (W86002).
3. INCONEL® alloy 617 (UNS N06617/W.Nr. 2.4663a)
4. INCONEL® nickel-chromium alloy 625 (UNS N06625/W.Nr. 2.4856).
5. Ni-based superalloy and its use as gas turbine disks, shafts, and impellers Patent EP 1 195 446 A1.
6. Расчетная система суперсплавов, Свидетельство ФИПС №20076122023– 2007.

ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КОМПЛЕКСОВ БОРНОЙ КИСЛОТЫ С ПОЛИОЛАМИ

Т.В. Мальцева^{1,2}, И.В. Смирнов^{1,2}

¹Радиевый институт им. В.Г. Хлопина, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург
e-mail: taisia.maltseva@gmail.com, igor_smirnov@khlopin.ru

В данной работе изучены свойства комплексов борной кислоты с полиолами, которые могут быть применены в жидкостной экстракции. Изучена кислотность растворов с разными соотношениями борной кислоты и полиолов. Определены коэффициенты распределения бора при экстракции комплексов борной кислоты с полиолами раствором триамилфосфинооксида (ТАФО) в додекане. Также были изучены спектры ИК НПВО сухих комплексов борной кислоты с полиолами.

This research investigates systems containing boric acid complexes with polyols in terms of liquid liquid extraction. The acidities of the solutions containing different boric acid polyol ratios were investigated. The distribution coefficients of boron in the extraction of the complexes with triamyl phosphine oxide (TAPO) solution in dodecane were obtained. The IR-ATR spectra of solid boric acid-polyols complexes were discussed.

ВВЕДЕНИЕ

Борная кислота и другие соединения бора обладают высокой токсичностью и часто являются опасными компонентами водных производственных отходов [1]. Важной задачей в настоящее время является разработка методов удаления бора из водных сред.

Перспективным методом извлечения бора из воды является жидкостная экстракция борной кислоты. Для него важен подбор компонентов экстракционной системы таким образом, чтобы обеспечить максимальное извлечение бора из водной в органическую фазу.

Более того, важной задачей для атомной энергетики является разделение изотопов бора. Материалы на основе ¹⁰B нужны в системах управления и защиты в реакторах, в изготовлении стали для транспортировочных стеллажей и контейнеров для отработанного ядерного топлива [2, 3]. Другой изотоп, ¹¹B, применяется в реакторостроении и в электронике.

Жидкостная экстракция соединений бора может быть использована и для разделения изотопов бора. Здесь важную роль также играет подбор компонентов экстракционной системы: важно достижение наибольшего коэффициента изотопного разделения.

Ранее нами были изучены экстракционные системы с тетрафторборной кислотой, однако такая химическая форма бора неудобна из-за токсичности и неустойчивости HBF₄ [4]. В данной работе исследуется один из вариантов экстракционных систем, которые могут быть применены для обозначенных задач: борная кислота экстрагируется в виде комплексов с полиолами.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Известно, что борная кислота способна образовывать комплексы различного состава с одноатомными и многоатомными спиртами [5]. В результате такого взаимодействия образуются кислоты, значительно более сильные, чем исходная борная кислота. Соотношения борной кислоты и полиола в комплексе могут быть как 1:1, так и 1:2, отчего зависит кислотность раствора комплекса. Нами было изучено семь полиолов – от трехатомного (глицерин) до шестиатомных (дульцит, сорбит, маннит, инозит) (рис. 1).

Были получены зависимости pH водных растворов борной кислоты с полиолами от мольного соотношения компонентов: 1:5, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 5:1. При ис-

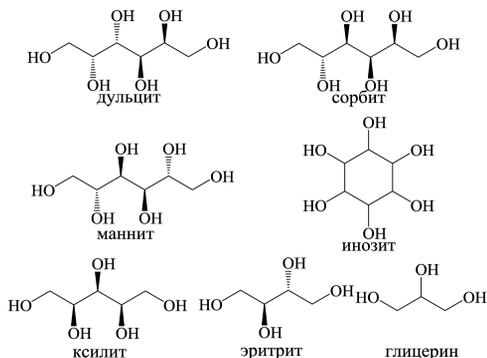


Рис. 1. Структурные формулы полиолов, используемых в работе

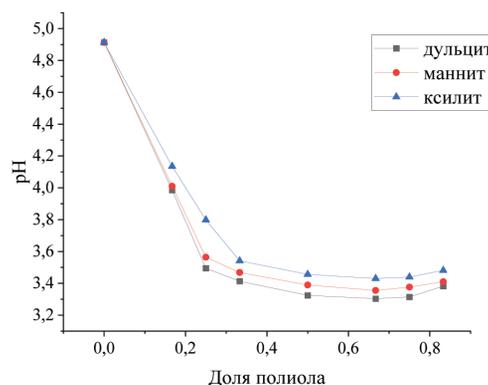


Рис. 2. Зависимость pH от доли полиола в смеси с борной кислотой, общая концентрация БК + полиол 0,125 М.

следования кислотности растворов было определено, что наиболее кислая среда наблюдается в комплексах с дульцитом, маннитом и ксилитом (pH ≈ 3,5 при соотношении 1:1 и C_{общ} = 0,125 М) (рис. 2).

Были проведены эксперименты по экстракции комплексов борной кислоты с полиолами (1:1) в органическую фазу, представляющую собой 30%V триамилфосфиноксида (ТАФО) в додекане. Для получения коэффициентов распределения (D) бора между фазами были определены концентрации бора в исходной и равновесной водных фазах с использованием флуориметрической методики с хромотроповой кислотой (табл. 1).

Некоторые комплексы были получены в сухом виде и использованы для снятия спектров ИК-НПВО (рис. 3).

Таблица 1. Коэффициенты распределения бора в системах с борной кислотой и различными полиолами, экстрагируемыми в ТАФО в додекане

Водная фаза	Коэффициент распределения D
БК + Маннит	0,5
БК + Ксилит	0,25
БК + Глицерин	0,65
БК + Дульцит	0,8
БК + Винная кислота [4]	0,05
HBF ₄ [4]	1,5

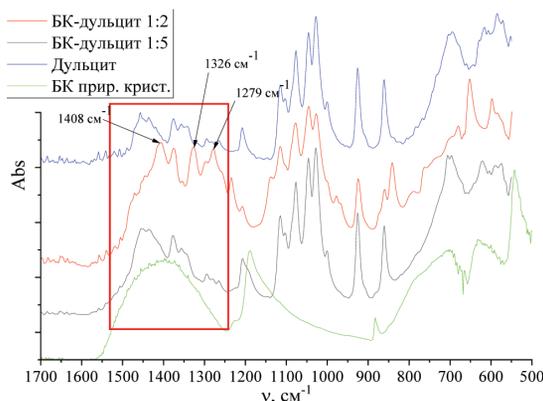


Рис. 3. Спектр ИК НПВО комплексов борной кислоты с дульцитом

В ИК-спектрах были обнаружены полосы, предположительно относящиеся к $\nu(\text{B-O})$ с разными изотопами бора. В случае комплексов дульцита с борной кислотой хорошо видно появление новых пиков на 1327 см^{-1} и 1284 см^{-1} (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было проведено исследование водных растворов комплексов борной кислоты с полиолами, и установлено, что наиболее низкий pH дают комплексы с дульцитом, маннитом и ксилитом. При экстракции комплексов состава 1:1 в 30% V раствор ТАФО в додекане были получены коэффициенты распределения, наибольший из них составляет 0,8 (с дульцитом). На ИК-спектрах комплексов наблюдаются полосы, относящиеся к связям B-O разных изотопов бора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачев К.В., Плышевский Ю.С. Технология неорганических соединений бора // Л.: Химия – 1983. – 208 с.
2. Кошелев Ф.П., Силаев М.Е., Селиваникова О.В. Технологии ЯТЦ и экология // Учебное пособие. – Томск, ТПУ– 2008.
3. Андрушин И.А., Юдин Ю.А. Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом // Саров – 2010.
4. Мальцева Т.В., Бабитова Е.С., Смирнов И.В. Разделение изотопов бора в экстракционных системах тетрафторборная кислота – фосфорорганические соединения // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина, том XIX – 2022. – С. 39-43.
5. Chun Bai et al. Influence of the pH in Reactions of Boric Acid/Borax with Simple Hydroxyl Compounds: Investigation by Raman Spectroscopy and DFT Calculations // Chemistry Select, 4(48) – 2019. – p. 14132–14139. doi:10.1002/slct.201903740.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ИОНООБМЕННЫХ ВОЛОКОН В ПЕРЕРАБОТКЕ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ СРЕД

Е.С. Нагорнова¹, В.А. Винницкий¹, Р.Е. Зайкин¹, А.С. Чугунов¹

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург
e-mail: nagornovabeth@gmail.com

Показаны преимущества ионообменных нитей перед сферогранулированными ионитами. Исследованы физико-химические и сорбционные характеристики изделий из ионообменных волокон. Установлена возможность применения коммерчески доступных ионообменных нитей для широкого спектра задач водоподготовки.

The advantages of ion-exchange fibers over spherical granulated ion exchangers are shown. The physical-chemical and sorption properties of products made of ion-exchange fibers were studied. The possibility of using commercially available ion-exchange threads for a wide range of water treatment tasks were established.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для обеспечения химико-технологических режимов АЭС применяются ионообменные смолы со сферогранулированной структурой, обеспечивающей оптимальный гидродинамический режим работы слоя. Вне зависимости от принятого режима их работы – однократное применение или многократное с периодической регенерацией фильтрующей загрузки – по исчерпанию ресурса или гарантийного срока использования они подлежат замене с последующей изоляцией от объектов биосферы.

На сегодняшний день приемлемого решения данной проблемы не найдено [1-3]. Решение проблемы обеспечения надежной изоляции отработанных ионообменных смол усложняется высокой подвижностью материалов, которая при возникновении аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией упаковки, может привести к трудно ликвидируемому радиоактивному загрязнению территории. Поэтому сокращение потребления в технологическом цикле сферогранулированных материалов представляется

достаточно разумным методом сокращения количества трудно перерабатываемых сред.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во вспомогательных системах, таких как некоторые технологические узлы ХВО и систем СВО, ионообменные смолы могут быть заменены ионообменными волокнами, имеющими ряд преимуществ, например, высокоразвитой поверхностью и лучшими кинетическими характеристиками [4], обеспечивающими большую доступность ионогенных групп. В свете вышесказанного важным фактором обеспечения безопасности при хранении и возможных перемещениях загрязненных радиоактивными материалами отработанных ионообменных волокон является тот факт, что они принципиально не способны к образованию просыпей.

Однако собственно ионообменные волокна имеют и ряд существенных технологических ограничений, связанных с проблемами загрузки/выгрузки материалов из корпусного оборудования и обеспечения оп-

тимального гидродинамического режима потока обрабатываемых растворов.

По нашему мнению, эти технологические ограничения могут быть преодолены за счет использования изделий, изготавливаемых из ионообменных волокон – нитей.

Анализ рынка показал, что, как в Российской Федерации, так и в Республике Беларусь, в настоящий момент существует промышленная база, способная обеспечить потребности в нитях ионообменных волокон, восполняя таким образом дефицит ионообменных смол.

Ионообменные свойства, в первую очередь эксплуатационные, определяемые проницаемостью изделий, должны быть отличны от свойств как собственно ионообменных волокон, так и традиционно используемых и перспективных для применения в технологическом цикле АЭС ионообменных смол.

К сожалению, в современной научно-технической литературе отсутствуют результаты исследований по практически значимым аспектам применения ионообменных волокон, определяющим возможность их использования в технологическом цикле АЭС.

Поэтому на данном этапе работ были одновременно рассмотрены вопросы, связанные с определением основных физико-химических характеристик коммерчески доступных на территории РФ ионообменных волокон, и вопросы практического применения конструкций, в основе которых используются ионообменные нити. Полученные результаты будут представлены в докладе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено следующее.

1. Изделия из ионообменных волокон, работающие в режиме радиальной фильтрации, являются эффек-

тивным средством снижения общей щелочности раствора за счет удаления соединений аммиака и других компонентов, включая гидрокарбонаты щелочных металлов.

2. Присутствующие в коммерческом доступе изделия из ионообменных волокон способны обеспечить выделение продуктов коррозии конструкционных материалов АЭС и активированных продуктов коррозии (марганца и кобальта) из сред с достаточно высокой концентрацией солей щелочных металлов (аммония, натрия, калия).

Ионообменные материалы могут быть легко регенерированы растворами разбавленных кислот, что существенно облегчает переработку этих стоков с целью выделения малорастворимых соединений продуктов коррозии в форме, удобной для кондиционирования.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание FSEN-2023-0002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савкин А.Е., Осташкина Е.Е., Павлова Ю.Г., Карлина О.К. Опытная переработка отработавших ионообменных смол // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. – 2016. – № 3(86). – С. 40-49.

2. Андреева Е.В., Костов М.А., Наземцева Г.И., Чурьнин С.А. Анализ и обобщение опыта методов переработки отработавших ионообменных смол // Энергетические установки и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 71-77.

3. Сорокин, В.Т., Прохоров Н.А., Павлов Д.И. Технология кондиционирования отработавших ионообменных смол методом термовакуумной сушки // Радиоактивные отходы. – 2021. – № 2(15). – С. 39-48.

4. Вольф Л.А., Меос А.И. Волокна специального назначения. – Москва: Химия, 1971. – С. 223.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Находнова¹, В.М. Самойлов¹

¹АО «НИИГрафит», г. Москва

e-mail: AVNakhodnova@rosatom.ru

В работе дано обоснование и приведены примеры использования рамановской спектроскопии для оценки эффективной температуры термической обработки и температурных полей в высокотемпературных (1000-3000 °С) печах применительно к технологии получения углеродных материалов.

The paper provides justification and examples of the use of Raman spectroscopy to estimate the effective heat treatment temperature and temperature fields in high-temperature (1000-3000 °C) furnaces, as applied to the technology of producing carbon materials.

ВВЕДЕНИЕ

Углеродные материалы (УМ) чрезвычайно востребованы в космической технике, современном авиа- и ракетостроении, ветроэнергетике, а также в автомобилестроении и производстве спортивного инвентаря

премиум-класса. При производстве углеродных наполнителей для УМ и самих УМ используется высокотемпературная обработка (ВТО) в интервале температур от 1000 до 3000 °С, в неокислительной атмосфере, в вакууме или инертной среде.

При контроле температуры в процессе ВТОУМ в диапазоне 1000–3000 °С, возникает ряд дополнительных трудностей.

В результате в настоящий момент надежных и доступных методов контроля температуры обработки (ТО) непосредственно на заготовке углеродного материала или температурных полей в рабочих объемах высокотемпературных печей, используемых в производстве УМ, не существует.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью данной работы была оценка возможности определения эффективной температуры термообработки (ЭТТО) УМ в высокотемпературных печах по параметрам рамановской спектроскопии образцов-свидетелей.

Для решения поставленной задачи были изготовлены калибровочные образцы, представляющие собой нити углеродного волокна (УВ) на основе полиакрилонитрила (ПАН) марки UMT 45-12K-EP длиной 2 см, прошедшие ТО в диапазоне температур 1050–2900 °С в модернизированной печи Таммана, в атмосфере аргона, выдержка при заданной температуре составляла 1 час.

Перечень калибровочных образцов с указанием температуры обработки представлен в таблице 1.

Спектры комбинационного рассеяния регистрировали в широком спектральном диапазоне 700–3000 см⁻¹ с помощью конфокального рамановского микроспектрометра RenishawinViaReflex. Мощность лазерного излучения 5 мВт. Возбуждающей служила линия 532 нм твердотельного Nd:YAG-лазера с диодной накачкой. Обработка полученных данных проводилась с помощью программ WiREinVia и MSeXcel. Измерения проводили на поверхности отдельных фрагментов калибровочных образцов.

Рассчитанные показатели I_D/I_G , полученные после обработки зарегистрированных спектров, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Температура обработки и параметр I_D/I_G калибровочных образцов

№ п/п	$T_{\text{обработ.}}$ °С	I_D/I_G , отн. ед.
1	1110	2,162
2	1300	1,966
3	1470	1,547
4	1660	1,096
5	1750	0,979
6	1850	0,829
7	2000	0,763
8	2230	0,550
9	2590	0,306
10	2670	0,280
11	2730	0,251
12	2900	0,199

На основании полученных данных была построена зависимость параметра I_D/I_G от температуры обработки (рис. 1).

Очевидно, что с ростом ТТО УВ уменьшается соотношение интегральных интенсивностей пика G по отношению к пику D – параметр I_D/I_G (рис. 1). Согласно результатам работ [1], уменьшение параметра I_D/I_G обусловлено ростом размеров кристаллитов L_a , происходящих при ВТО УВ.

Полученная калибровочная зависимость была применена для решения ряда практически важных прикладных задач, связанных с ВТО различных УМ.

Первая задача заключалась в контроле равномерности прогрева заготовок из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) при полной загрузке вакуумной печи сопротивления (размеры рабочего пространства 900×900×1200 мм). Для этого 10 графитовых тиглей с образцами-свидетелями помещали в печь совместно с обрабатываемыми заготовками УУКМ, согласно схеме загрузки. После прохождения контролируемого процесса термообработки тигли с образцами-свидетелями выгружали из печи и передавали на исследование методом рамановской спектроскопии. Расчет ЭТТО заготовок УУКМ, загруженных в печь совместно с образцами-свидетелями, проводили с использованием калибровочной зависимости, приведенной на рисунке 1. Полученные данные показали, что экранирование заготовок не вносит значимых изменений в температурное поле печи и соответственно не влияет на ЭТТО заготовок, расположенных в различных местах.

Вторая задача заключалась в контроле температурного поля ядра печи Ачесона при графитации заготовок электродеточных блоков. Процесс проводили в порошковой пересыпке (саже), путем прямого пропускания переменного тока.

Образцы-свидетели в тиглях размещали в центре ядра и по периферии загрузки в количестве 15 штук. ТО составляла 2800–3000 °С. После прохождения контролируемого процесса графитации тигли с образцами-свидетелями выгружали из печи и передавали на исследование. Эксперимент показал, что максимальные температуры обработки достигаются в нижней части ядра. Это связано с более низким электрическим сопротивлением в нижней части ядра из-за

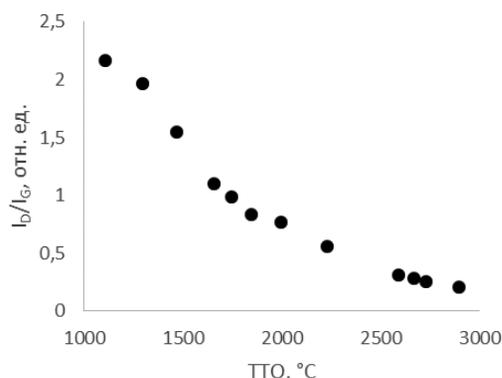


Рис. 1. Зависимость параметра I_D/I_G от температуры обработки калибровочных образцов

давления массы зерна на пересыпку и, как следствие, более низким контактным сопротивлением.

Полученные результаты позволили уточнить градиент температур по объему зерна, что является ценной информацией для корректировки технологического процесса с целью получения качественных электрощеточных блоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования был сделан вывод, что метод рамановской спектроскопии позволяет контролировать технологические параме-

тры получения УМ. На основании полученных данных была разработана методика определения температуры обработки углеродных материалов в интервале температур 1100–2800 °С методом рамановской спектроскопии образцов-свидетелей и получен патент РФ на изобретение № 2724302 «Способ определения эффективной температуры высокотемпературной обработки углеродных материалов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reich S., Thomsen C. Raman spectroscopy of graphite. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 2004, v. 362, p. 2271 – 2288.

ИСПЫТАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ ТОКЕМ-281 ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ОТ КАЛЬЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА ЛИТИЯ

Д.М. Нелюбова¹

¹ПАО «Новосибирский завод химконцентратов», г. Новосибирск
e-mail: darianeliubova@yandex.ru

Проведенные испытания направлены на решение одной из актуальных стратегических задач топливной компании, а именно – оценке возможности импортозамещения зарубежных материалов, в частности ионообменной смолы, используемой в процессе очистки от кальция технологических растворов хлорида лития. Для проведения испытаний была собрана лабораторная установка, на которой с двумя образцами смол проведены три полных цикла сорбция/регенерация, в ходе которых определены объемы очищенных от Са растворов до требуемого уровня ($\leq 0,01$ % по отношению к содержанию Li) в расчете на объемы образцов двух испытанных смол. Проведено сравнение полученных результатов и показано, что в установившемся режиме (к концу 3-го цикла) ионообменная смола Токем-281 по объему очищенного раствора до требуемого уровня на 29,3 % уступает смоле Lewatit MonoPlus TP-208.

The study is aimed at solving one of the urgent strategic tasks of the fuel company, namely, assessing the possibility of import substitution of foreign materials (ion-exchange resins used in the process of decalcification of technological solutions of lithium chloride). For the research, a laboratory setup was assembled, on which 3 complete sorption / regeneration cycles were carried out with two resin samples, during which the volumes of solutions purified from Ca were determined to the required level (≤ 0.01 % towards the Li content) per volume samples of the two tested resins. The obtained results are compared and it is shown that in the steady state (by the end of the 3rd cycle) the Tokem-281 ion-exchange resin is 29.3 % inferior to the Lewatit MonoPlus TP-208 resin in terms of the volume of the purified solution to the required level.

ВВЕДЕНИЕ

При получении лития металлического, соответствующего современным требованиям, существует необходимость очистки используемых для этого технологических литийсодержащих растворов от ряда примесей, в том числе от кальция, к содержанию которого в литиевой продукции с течением времени предъявляются все более жесткие требования. Для обеспечения требуемой степени очистки от кальция широко применяются ионообменные смолы – высокомолекулярные материалы, выпускаемые в виде сферических гранул, имеющие множество пор и специфических функциональных групп, связанных с полимерным каркасом, способных взаимодействовать с определенным типом ионов, в данном случае обмениваться ионами Ca^{2+} [1].

В настоящее время в ПАО «НЗХК» для глубокой очистки от кальция (Са) технологических литийсо-

держащих растворов используется зарубежная ионообменная смола Lewatit TP-208 MonoPlus (Bayer, Германия), а также проходит промышленные испытания ионообменная смола Purolite S-930 (Великобритания). Обе эти смолы относятся к слабокислотным макропористым катионитам хелатного типа [2,3]. Однако в силу складывающихся политико-экономических обстоятельств существуют риски, связанные с их закупкой из-за ограничения поставок и высокой стоимости, поэтому поиск альтернативных вариантов их замещения является на сегодня актуальной задачей.

Целью проводимых испытаний являлось определение эффективности отечественной ионообменной смолы Токем-281 при очистке от кальция технологических литийсодержащих растворов и оценка возможности ее применения в технологическом процессе производства лития металлического в рамках стратегии импортозамещения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Особенностью подвергаемых очистке от кальция технологических литийсодержащих растворов является содержание в них оксихлоридов (ClO^- и ClO_3^-), наличие которых приводит к разрушению функциональных групп ионообменной смолы, в результате чего существенно сокращается срок ее использования до замены. В связи с этим в испытаниях использовали модельный раствор, приготовленный на основе технологического раствора хлорида лития, содержащий $\text{Li} \sim 30 \text{ г/дм}^3$, а также оксихлориды $\text{LiClO} \sim 0,08 \text{ г/дм}^3$ и $\text{LiClO}_3 \sim 3,7 \text{ г/дм}^3$, в который вводили определенное количество хлорида кальция. Для сокращения длительности испытаний исходное содержание кальция поддерживали на уровне $40\text{--}70 \text{ мг/дм}^3$.

Для сравнения эффективности очистки растворов от примеси кальция с использованием отечественной смолы Токем-281 параллельно вели очистку от кальция модельного раствора с использованием образца смолы Lewatit MonoPlus TP 208. Для получения более адекватных и надежных результатов было проведено три цикла сорбция/регенерация, обеспечивающих приработку смолы и выход ее в квазистабильное состояние. Отбор проб раствора на выходе из колонок для определения содержания Ca проводили через каждые 8 часов. При этом через каждые 4 часа отбирали дополнительные (резервные) пробы на случай перепроверки полученных результатов. Цикл сорбции завершали при превышении на выходе из колонки заданного уровня «проскока» по Ca ($\leq 0,01\%$ относительно содержания Li).

Испытания проводили на лабораторной установке с двумя стеклянными колонками высотой 250 мм и внутренним диаметром 24 мм. Перед каждым очередным циклом сорбции образцы смол регенерировали, для чего пропускали через колонки 1N раствор HCl, промывали дистиллированной водой, затем переводили в Li^+ -форму, пропуская 1N раствор LiOH, после чего отмывали от щелочи дистиллированной водой. Для очистки от кальция приготовленный модельный раствор пропускали через две колонки (одна со смолой Токем, другая со смолой Lewatit) с одинаковой скоростью $200 \text{ см}^3/\text{ч}$ (2 колоночных объема в час), используя для этого перистальтические насосы.

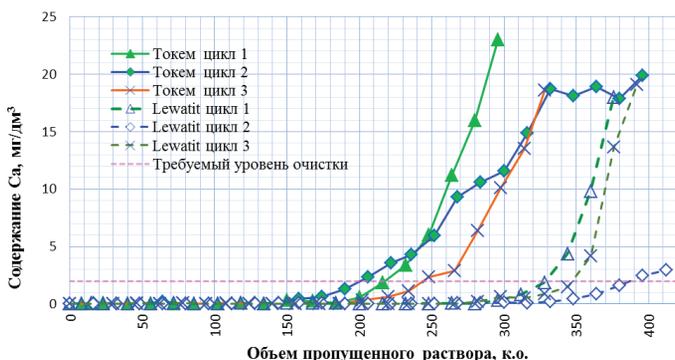


Рис. 1. Зависимости концентрации кальция на выходе сорбционных колонок со смолами Токем и Lewatit от объема пропущенного раствора

Изменение содержания кальция на выходе из колонок в ходе трех циклов очистки раствора хлорида лития с использованием образцов смол Токем и Lewatit приведены на рисунке 1.

Из приведенных на рисунке 1 графиков можно видеть, что образец смолы Токем-281 обеспечивает очистку от кальция до требуемого уровня ($\text{Ca} \leq 0,01\%$ к содержанию Li) не менее 200 к. о. растворов, но при этом имеет более низкие показатели по объему очищенного раствора, чем образец смолы Lewatit MonoPlus TP-208 (более 300 к. о.), которая по результатам ее практического использования является на сегодня наиболее эффективной при очистке от кальция технологических литийсодержащих растворов, содержащих оксихлориды.

Из приведенных на рисунке 1 результатов следует, что после трех циклов очистки смола Токем-281 обеспечила очистку до принятого уровня проскока по кальцию 248 к. о. технологических растворов хлорида лития, содержащих оксихлориды, в то время как Lewatit обеспечила очистку 344 к. о.

Для сравнения эффективности образцов смол при очистке от Ca технологических растворов хлорида лития были рассчитаны величины динамической обменной емкости (ДОЕ) по формуле 1:

$$\text{ДОЕ} = \frac{\sum((C_{\text{исх}} - C_{\text{оч}}) \cdot V_{\text{проскок}})}{V_{\text{ионита}} \cdot M_{\text{экв Ca}}}$$

где $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{оч}}$ – концентрации ионов Ca в исходном и очищенном растворе соответственно, г/дм^3 ; $V_{\text{проскок}}$ – количество раствора, пропущенного через колонку с иононитом до «проскока» по Ca, дм^3 ; $V_{\text{ионита}}$ – объем ионита в колонке, дм^3 ; $M_{\text{экв Ca}}$ – эквивалент Ca ($20,04 \text{ г/г-экв}$).

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения ДОЕ образцов смол

Цикл	ДОЕ, г-экв/дм³		Токем по отношению к Lewatit, %
	Lewatit	Токем	
1	0,77	0,49	-36,9
2	1,07	0,73	-31,6
3	0,80	0,57	-29,3

Из приведенных в таблице 1 результатов следует, что в установившемся режиме (после трех циклов очистки) величина ДОЕ образца смолы Токем-281, при которой обеспечивается очистка технологических растворов хлорида лития, содержащих оксихлориды, до принятого уровня проскока по Ca составляет $0,57 \text{ г-экв/дм}^3$, что на 29,3 % меньше смолы Lewatit, ДОЕ которой равна $0,80 \text{ г-экв/дм}^3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов испытания смолы Токем-281 (г. Кемерово) установлено, что показатели ее эффективности после третьего цикла очистки технологических растворов хлорида лития, содержащих оксихлориды, ниже примерно на 30 %, чем у смолы Lewatit MonoPlus TP-208 (Германия). Од-

нако за счет более низкой стоимости смола Токем-281 является выигрышным вариантом с экономической точки зрения. Отечественную ионообменную смолу Токем-281 можно рекомендовать к использованию для очистки технологических литийсодержащих растворов, используемых при получении лития металлического в случае прекращения поставок ионообменной смолы Lewatit MonoPlus TP-208.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 20255.2-89 Иониты. Методы определения динамической обменной емкости.
2. Сертификат качества. Смола ионообменная. Катионит Токем-281.
3. Сертификат качества. Смола ионообменная Lewatit MonoPlus TP-208.

РАСЧЕТ pH В ВОДНОЙ СРЕДЕ КОНТЕЙНМЕНТА ПРИ АВАРИИ LOCA НА АЭС С ВВЭР

Д.Р. Нигматуллин¹, Н.С. Никифоров¹, А.В. Гаврилов¹, Н.А. Прохоров¹, В.Г. Крицкий¹

¹АО «Атомэнергoproект», г. Санкт-Петербург

e-mail: DRNigmatullin@atomproekt.com

Разработана модель для расчета изменения pH водной среды внутри защитной оболочки АЭС с ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006). Результаты расчета pH подтверждают правильность принятых в проекте технических решений, которые позволяют выполнить требование EUR по подавлению летучих форм йода.

A model for calculating the pH variation of the aqueous medium inside the containment of NPP with VVER-1200 (NPP project 2006) has been developed. The results of the pH calculation confirm the correctness of the technical solutions adopted in the project, which make it possible to fulfill the EUR requirement for the suppression of volatile iodine forms.

ВВЕДЕНИЕ

При авариях на блоках АЭС с реакторами типа ВВЭР среди радиоактивных продуктов деления, которые могут выйти из топлива в ходе аварии, радиоактивный йод является наиболее значимым для обеспечения радиационной безопасности АЭС.

В требованиях EUR (ревизия E, Том 2, Глава 9, Раздел 2.9.2.2.1.1, буллит E) сказано, что для подавления летучих форм йода после тяжелой аварии рНТ водной среды внутри ЗО должен быть выше 7,0.

При проектной аварии (ПА) поддержание значения pH_T выше 7,0 осуществляется за счет работы спринклерной системы, при запроектной аварии (ЗПА), связанной с расплавом активной зоны, предусмотрен дополнительный бак для подачи щелочи в защитную оболочку (ЗО).

Целью данной работы является создание модели, учитывающей вклад всех кислотных и щелочных веществ, для расчета pH водной среды бака-приямка ЗО при аварии с течью теплоносителя первого контура (LOCA) на АЭС с ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Состав водной среды контейнмента и химический состав примесей при аварийных режимах обусловлен поступлением в контейнмент следующих водных сред (контролируемые примеси):

- компоненты водного теплоносителя реактора;
- компоненты охлаждающих, орошающих и корректирующих растворов, поступающих в водный объем в ходе аварии.

Наряду с примесями, указанными выше, в водную фазу контейнмента могут поступать продукты деления ядерного топлива из негерметичных или разру-

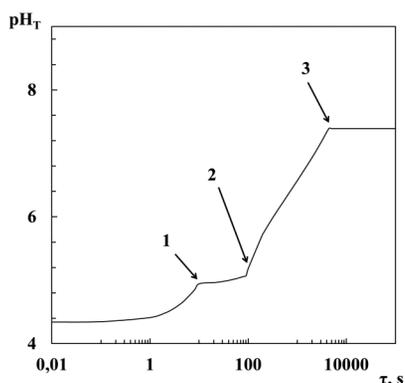
шенных ТВЭЛов (в основном нуклиды йода и цезия), так называемые неконтролируемые примеси. Кроме того, при высоких дозах гамма-облучения и контакте водного раствора с воздухом в водной фазе накапливается азотная кислота, образующаяся путем радиолитического окисления азота воздуха. Наконец, в результате радиационно-термического разложения хлорсодержащей полимерной кабельной изоляции в водную фазу поступает соляная кислота.

Таким образом, водная среда бака-приямка ЗО представляет собой смесь слабой кислоты (борной – H_3BO_3), сильных кислот (азотной – HNO_3 , соляной – HCl , йодоводородной – HI), сильных оснований (KOH , $NaOH$, $CsOH$, $RbOH$ и т. п.), слабого основания (NH_4OH). Равновесия в этой смеси являются кислотно-основными. Система, содержащая слабые кислоты и сильные основания, обладает буферным эффектом, т. е. нивелирует добавки сильных кислот (или оснований), поддерживая pH в определенных границах.

Математическая модель процессов кислотно-основного равновесия включает уравнения электрической нейтральности раствора и баланса масс, выражения для термодинамических констант диссоциации слабых электролитов, а также ионное произведение воды. Дополнительно к ранее выполненным работам [1] в модели были учтены скорости образования и разложения полного перечня неконтролируемых примесей, а также заложены сценарии протекания ЗПА.

Расчет pH_T выполнен от момента начала аварии до момента стабилизации значений рНТ в соответствии со сценарием аварии.

Результаты расчета изменения pH_T для ПА и ЗПА представлены на рисунках 1 и 2.



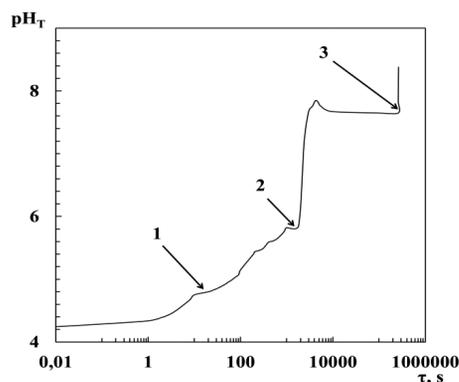
- 1 – начало подачи раствора от системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ);
- 2 – запуск спринклерной системы;
- 3 – полное опорожнение баков запаса химических реагентов спринклерной системы

Рис. 1. Изменение значения pH_T в баках-приямках при ПА без учета влияния отказов оборудования

Расчеты показывают, что в режимах ПА и ЗПА удастся добиться необходимого значения pH водной среды, что с свою очередь обеспечивает подавление летучих форм йода в соответствии с требованием EUR.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный модельный подход показывает, что принятые в проекте АЭС с ВВЭР-1200 (проект АЭС-2006) технические решения позволяют обеспечить выполнение требований EUR по связыванию йода при ПА и ЗПА.



- 1 – начало подачи раствора от САОЗ;
- 2 – начало подачи щелочи из бака запаса щелочного раствора;
- 3 – запуск спринклерной системы через 72 часа

Рис. 2. Изменение значения pH_T в баках-приямках при протекании ЗПА с расплавом активной зоны

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов А.В., Прохоров Н.А., Крицкий В.Г., Стяжкин П.С. и др. Расчет pH в приямке защитной оболочки при протекании аварии с потерей теплоносителя. ISBN978-5-94883-156-5. Сборник трудов 11-й международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» (21-24 мая 2019 г., Подольск, АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»). Научно-техническое электронное издание.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В.О. Николаев¹, А.А. Акатов¹, Е.И. Ильина¹

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург
e-mail: nicolaevvasya@yandex.ru

Представлены результаты лабораторных исследований по интенсификации процесса двухванной окислительно-восстановительной дезактивации нержавеющей стали одновременной ультразвуковой и электрохимической обработкой в анодном режиме.

The results of laboratory studies on the enhancement of two-bath redox decontamination of stainless steel by simultaneous ultrasonic and electrochemical (anodic) treatment are presented.

ВВЕДЕНИЕ

В 2014 году на базе ПИЯФ (г. Гатчина) сотрудниками кафедры инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии (ИРРТ) Санкт-Петербургского государственного технологического института были выполнены пробные эксперименты по интенсификации двухванной дезактивации совмещенным электрохимическим и ультразвуковым воздействием (далее – совмещенное воздействие, подробнее см. [1]). В результате было отмечено, что подобная интенсификация приводит к более быстрому и более полному удалению радиоактивного загрязнения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью настоящей работы являлось подтверждение обнаруженного эффекта и уточнение некоторых параметров дезактивации (длительности обработки, концентрации щавелевой кислоты в восстановительном растворе).

Для проведения опытов были подготовлены модельные образцы из нержавеющей стали 08X18H10T размером 30×30×1 мм с термически закрепленным (в течение 24 ч при 450 °С) поверхностным загрязнением ⁶⁰Со. В каждом отдельном опыте участвовало по три параллельных образца.

Раствор окислительной (Ох) ванны имел состав 0,5 % (масс.) $KMnO_4$ в 5 % (масс.) $NaOH$, а восстановительной (Red) ванны – 3 % (масс.) $H_2C_2O_4$ с добавлением 0,1 % (масс.) HNO_3 . Температура обоих водных растворов была 70 ± 3 °С.

Для проведения экспериментов была использована установка, включающая: ультразвуковую ванну MO-283.1 (частота ультразвука 22 кГц, 2 излучателя по 100 Вт каждый, объем ванны 4 дм³), источник питания постоянного тока Element DC PowerSupply PS-3010D, вольтметр M2018 и стеклянный стакан (ячейка, в которую помещали раствор, образец (анод) и катод из нержавеющей стали такого же размера). Плотность тока при электрохимической обработке составляла 5 А/дм².

Сначала была подтверждена целесообразность совмещенной интенсификации процесса дезактивации в восстановительной ванне. опыты проводились следующим образом: сначала образцы 1 час выдерживали в Ох-растворе при механическом перемешивании, а затем в Red-растворе – 3 минуты. Для оценки эффективности интенсификации в восстановительной ванне использовалось как механическое перемешивание, так и совмещенное воздействие. Результаты опытов приведены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что использование совмещенного воздействия на восстановительной стадии приводит к значительному росту эффективности дезактивации.

Была также оценена необходимость совмещенной интенсификации процесса на окислительной стадии. Выполненные опыты показали, что она не приводила к значительному росту эффективности дезактивации образцов. Более того, был отмечен рост слоя отложений продуктов восстановления MnO_4^- (возможно, MnO_2 с примесью гидроксидов железа) на катоде. Поэтому на Ох-стадии можно рекомендовать использовать только механическое перемешивание раствора или, при необходимости, ультразвуковое интенсифицирующее воздействие.

На следующем этапе оценивалась зависимость эффективности дезактивации от длительности обработки образцов в окислительной ванне. опыты проводились следующим образом: сначала образцы выдерживались в Ох-растворе при механическом перемешивании в течение 60, 10 или 3 минуты, а затем

3 минуты в Red-растворе при совмещенном воздействии. Полученные коэффициенты дезактивации (Кд) приведены в таблице 1. (Коэффициент дезактивации рассчитывается как кратность снижения уровня радиоактивного загрязнения, достигнутого в результате очистки).

Таблица 1. Зависимость эффективности двухванной дезактивации образцов от времени выдержки в окислительной ванне

Время обработки, мин.	Кд
60	865
10	790
3	28

Как видно из таблицы 1, даже при трехминутной выдержке в окислительной ванне удалось достичь приемлемой эффективности дезактивации образцов. Это означает, что применение совмещенной электрохимической и ультразвуковой интенсификации процесса в восстановительной ванне дает возможность резко сократить время обработки в окислительном растворе.

Для выявленных условий (длительность обработки в обеих ваннах – по 3 минуты, совмещенная интенсификация только в Red-ванне) была получена зависимость степени дезактивации β от концентрации щавелевой кислоты в восстановительном растворе. Зависимость представлена на рисунке 2. (Степень дезактивации рассчитывается как доля удаленного загрязнения).

Как видно из рисунка 2, эффективность дезактивации не изменялась при снижении концентрации щавелевой кислоты вплоть до 1% (масс.). Это дает возможность снизить расход реагента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные эксперименты показали, что интенсификация двухванной дезактивации совмещенным электрохимическим и ультразвуковым воздействием приводит к значительному росту эффективности удаления радиоактивных загрязнений и сокращению общей длительности процесса, что, безусловно, положительно сказывается на технико-экономических показателях процесса.

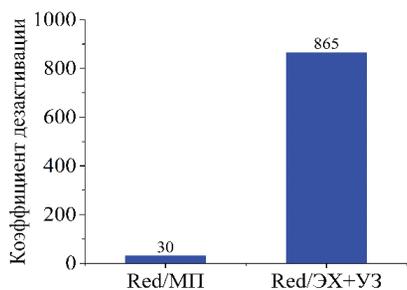


Рис. 1. Подтверждение целесообразности совмещенной интенсификации на восстановительной (Red) стадии (МП – механическое перемешивание, ЭХ+УЗ – совмещенное воздействие)

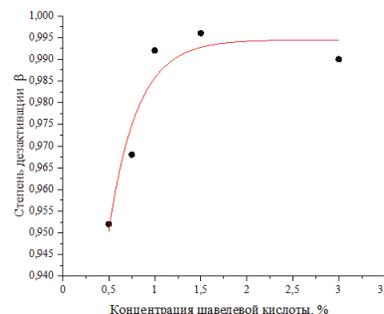


Рис. 2. Зависимость степени дезактивации от концентрации щавелевой кислоты в восстановительной рецептуре

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2635202 РФ, МПК G21F 9/28, C22B 3/06. Способ переработки металлов, содержащих прочно-фиксированные поверхностные радиоактивные за-

грязнения: № 2015146215: заявл. 28.10.2015: опубл. 09.11.2017 / Н. М. Лебедев, В. Н. Коваленко, А. Н. Арефьева [и др.]. – 12 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ВО ВТОРОМ КОНТУРЕ АЭС С ВВЭР

И.В. Омельчук¹, Д.Р. Нигматуллин¹, А.В. Гаврилов¹, В.Г. Крицкий¹

¹АО «Атомэнергопроект» СПБАЭП, г. Санкт-Петербург

e-mail: IVOmelchuk@atomproekt.com

Разработана и валидирована модель, описывающая распределение концентраций корректирующих реагентов и значений pH во втором контуре АЭС с ВВЭР. Расчеты выполнены для применяемых (и перспективных) в настоящее время водно-химических режимов (ВХР) в РФ. Результаты показывают, что теоретическое условие минимизации общей коррозии и эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ) не выполняется на ряде участков второго контура. Сделан вывод, что снижение ЭКИ возможно путем изменения вида и концентрации ингибиторов или использования легированных сталей.

A model describing the distribution of concentrations of corrective reagents and pH values in the secondary circuit of NPP with VVER has been developed and validated. Calculations are performed for the currently applied (and promising) water chemistry in the Russian Federation. The results show that the theoretical condition for minimizing general corrosion and flow-accelerated corrosion (FAC) is not fulfilled in a number of sections of the secondary circuit. It is concluded that FAC can be reduced by changing the type and concentration of inhibitors or by using alloyed steels.

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей ВХР рабочей среды второго контура АЭС с ВВЭР является минимизация скорости коррозии конструкционных материалов и, соответственно, скорости роста отложений на теплообменных трубках парогенераторов. Из всех факторов, влияющих на общую коррозию и ЭКИ оборудования, pH является самым эффективным регулируемым параметром для ВХР рабочей среды второго контура.

Согласно данным компании AREVA [1], оптимальным критерием минимизации общей коррозии и ЭКИ является следующее теоретическое условие:

$$\Delta pH_T = pH_{T, \text{раб.среды}} - pH_{T, \text{лейтп}} \geq 1$$

С другой стороны, согласно многолетним экспериментальным и эксплуатационным данным института EPRI [2], для достижения концентрации продуктов коррозии железа в питательной воде менее 1мкг/кг достаточно поддерживать значение pH₂₅ в питательной воде более 9,7.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью данной работы является оценка выполнения теоретического условия минимизации общей коррозии и ЭКИ и обоснование проектных решений по ведению ВХР второго контура АЭС с ВВЭР. Для анализа были выбраны 4 сценария, соответствующие следующим ВХР второго контура.

1. Аммиачно-морфолиновый ВХР для АЭС с ВВЭР-1000 (Ростовская АЭС).

2. Аммиачно-этаноламиновый водно-химический режим с дозированием гидразина для АЭС с ВВЭР-1200 (ЛАЭС-2).

3. Аммиачно-этаноламиновый водно-химический режим с дозированием гидразина для АЭС с ВВЭР-1200 (АЭС «Пакш-2» с турбиной Alstom).

4. Обсуждаемый в работе [3] ВХР с диметиламином и этаноламином для АЭС с ВВЭР-1200 (на примере АЭС «Пакш-2» с турбиной Alstom).

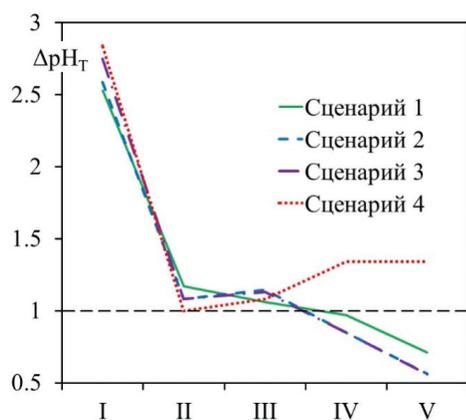
Расчет значений pH проводился в соответствии с методикой, описанной в работе [4]. Разработанная математическая модель процессов кислотно-основного равновесия включает уравнения электронейтральности раствора и баланса масс, выражения для термодинамических констант диссоциации слабых электролитов, а также ионное произведение воды:

$$[H^+] + \frac{[H^+] \cdot C_{NH_3}}{[H^+] + \frac{K_w}{K_{NH_3}}} + \frac{[H^+] \cdot C_{Amine}}{[H^+] + \frac{K_w}{K_{Amine}}} = \frac{K_w}{[H^+]}$$

Где: [H⁺] – концентрация ионов водорода, моль/кг; C_{Amine} – исходная концентрация амина (этаноламин, диметиламин, морфолин), моль/кг; C_{NH₃} – исходная концентрация аммиака, моль/кг; K_w – ионное произведение воды, K_{Amine} – константа диссоциации амина (этаноламин, диметиламин, морфолин); K_{NH₃} – константа диссоциации аммиака.

Обобщенные результаты расчетов для каждого сценария представлены на рисунке 1.

Расчет показывает, что для всех рассмотренных сценариев теоретическое условие минимизации общей коррозии и ЭКИ не выполняется в основном на линиях отбора пара как из парогенератора, так и из ЦВД и/или ЦВСД турбины. Также для сценариев 1-3 данное условие не выполняется для участка с пита-



По горизонтали: I – конденсат;
II – продувка парогенератора; III – сепарат из СПП;
IV – питательная вода; V – пар.

Рис. 1. Изменение ΔpH_T по второму контуру АЭС ВВЭР

тельной водой, следовательно, можно ожидать повышенного, против возможно низкого, коррозионного износа на этих участках и повышения концентраций продуктов коррозии железа в теплоносителе.

Выполнение условия минимизации коррозии путем корректировки ВХР возможно при:

- значительном увеличении концентраций корректирующих реагентов, т.е. для повышения значения pH_{25} до 9,9, например, при концентрации этаноламина 0,8 мг/кг концентрация аммиака должна быть не менее 6 мг/кг, однако это в свою очередь приведет к негативному влиянию на окружающую среду, связанному со сбросом сточных вод от установок очистки рабочей среды второго контура [3];

- применении другой смеси аминов, например, диметиламина и этаноламина (сценарий 4). Однако применение новых реагентов требует отдельного технико-экономического обоснования.

Альтернативным вариантом снижения коррозии является использование стали с повышенным содержанием хрома (от 1,5 до 2,5 % Cr) [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сделаны рекомендации по усовершенствованию ВХР на основе выполнения условия минимизации общей коррозии и эрозионно-коррозионного износа. Негативное влияние на окружающую среду сточных вод от установок очистки рабочей среды второго контура стимулирует решения по оптимизации сочетания в контурах АЭС набора ингибиторов и объема использования легированных сталей с повышенным содержанием хрома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fruzzetti K., Garcia S., Lynch N., Reid R. BWR and PWR chemistry experience and perspectives. NPC Nuclear and Chemistry Conference, Sapporo, 2014, Paper reference № 10095.
2. Roumiguere F.-M., Fandrich J., Dr. Ramminger U., Dr. Hoffmann-Wankerl S., Dr. Andreas. The control improvement of water chemistry pH of secondary circuit. NPC Nuclear and Chemistry Conference, Paris, 2012, Paper reference № 11-166.
3. Гаврилов А.В., Прохоров Н.А., Крицкий В.Г. Учет экологических аспектов при оптимизации водно-химического режима 2-го контура АЭС с ВВЭР. // Атомная энергия. Т.124, вып.4, 2018. С. 214 – 218.
4. Крицкий В.Г., Березина И.Г., Гаврилов А.В. и др. Моделирование миграции продуктов коррозии во 2-м контуре АЭС с реактором ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика. – 2016. – № 4. С. 72-80.
5. Крицкий В.Г., Гаврилов А.В. Прохоров Н.А., и др. Влияние легированных сталей на их эрозионно-коррозионный износ в контурах АЭС с ВВЭР // Теплоэнергетика. – 2022. – № 8. С. 82-90.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА И КОНТРОЛЯ СПОСОБА ДЕЗАКТИВАЦИИ АСММ

С.Н. Орлов¹

¹ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор

e-mail: Orlov.S.N.1989@yandex.ru

В работе рассмотрен подход к выбору и обоснованию способа дезактивации первого контура атомных станций малой мощности (АСММ). Для определения целесообразности проведения дезактивации рекомендовано использовать дозовый критерий. При выборе способа дезактивации следует использовать такие признаки, как отработанность технологии, ее безопасность, простота и количество образующихся РАО. В качестве критериев завершения отдельных этапов дезактивации целесообразно использовать концентрационный (активностный) критерий.

The paper considers a criteria-based approach to the selection and justification of the method for decontamination of the primary circuit of low-power nuclear power plants. To determine the feasibility of decontamination, it is recommended to use the dose criterion. When choosing a decontamination method, one should use such features as: the maturity of the technology, its safety, simplicity and the amount of RW generated. It is expedient to use the concentration criterion as the criteria for completing individual stages of decontamination.

ВВЕДЕНИЕ

Дезактивация – удаление радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или из какой-либо среды или его снижение [1]. При всей внешней простоте данного определения даже для одного объекта – первого контура водо-водяных ядерных энергетических установок (ЯЭУ) – данная технологическая операция требует длительной подготовки и предварительного ответа на целый комплекс вопросов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

По мнению специалистов Международного агентства по ядерной энергетике (МАГАТЭ) [2], первым вопросом, на который необходимо иметь четкий ответ, приступая к процессу дезактивации, является «зачем?». С одной стороны, ответ на этот вопрос проистекает из определения термина «дезактивация» – процесс осуществляется для удаления радиоактивного загрязнения. С другой стороны, подобный ответ влечет еще большее количество вопросов: при каком количестве радиоактивных отложений необходимо проводить дезактивацию, влияет ли место локализации отложений на целесообразность проведения дезактивации, соответствует ли подобный подход принципу ALARA? Для разработки критериального подхода к процессу дезактивации необходимо составить список ситуаций, при которых проведение дезактивации однозначно целесообразно, и ввести для них количественные критерии. Фактически речь идет о списке задач дезактивации и количественных признаках их возникновения.

Другой вопрос, следующий за первым, это критерии выбора способа дезактивации. Способ дезактивации – совокупность операций с использованием средств дезактивации для удаления радиоактивных загрязнений с поверхности [3]. Выбор конкретного способа в первую очередь определяется задачей дезактивации. В то же время данный выбор зависит от состава радиоактивных отложений, их количества, предыстории работы установки. Таким образом, критерии выбора способа дезактивации должны быть, с одной стороны, универсальны, с другой – учитывать особенности конкретного дезактивируемого объекта.

Третий вопрос – критерии эффективности и завершения процесса дезактивации. В предельном случае при идеальной дезактивации данные понятия должны совпадать – полное удаление радиоактивных загрязнений и есть лучший критерий завершения процесса очистки. Однако в реальности дезактивация завершается на каком-то промежуточном, стационарном уровне загрязнения, дальнейшее снижение которого нецелесообразно с технической и/или экономической точки зрения. В связи с этим возникает необходимость введения количественного критерия выхода на стационарный уровень загрязнения и критерия для оценки эффективности дезактивации при его достижении. Если процесс дезактивации фрагментирован на отдельные технологические операции – циклы дезактивации, ванны, промывки, – для них так-

же должны быть определены критерии завершения и связанные с ними критерии эффективности.

Целью данной статьи являлась разработка критериального подхода к дезактивации первого контура атомных станций малой мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа в качестве основного критерия целесообразности проведения дезактивации рекомендован дозовый критерий [4]. Дезактивация целесообразна, если дозовые затраты на проведение ремонтных работ выше произведения дозового резерва на плановый коэффициент, установленный на АСММ. Данное решение продиктовано низкой численностью обслуживающего персонала АСММ и ограниченными возможностями привлечения дополнительных трудовых резервов.

Анализ подходов к выбору способов дезактивации, применяемых МАГАТЭ [2] и ОАО «Концерн Росэнергоатом» [5], показал, что основными критериями выбора являются зрелость технологии, ее безопасность, простота и количество образующихся радиоактивных отходов (РАО). Релятивным опытом применения способов дезактивации для АСММ является опыт транспортных ЯЭУ. Использование опыта применения способов дезактивации атомных электростанций (АЭС) применительно к АСММ затруднено из-за различий в конструкции, применяемом водно-химическом режиме (ВХР) и конструкционных материалах первого контура.

В качестве критерия завершения отдельных этапов дезактивации на АСММ можно рекомендовать концентрированный (активный) [6]. В случае применения способа дезактивации с параллельной очисткой раствора на ионообменных фильтрах дополнительно может применяться дозовый критерий [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные правила и нормы. СП. 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). // М.: Минздрав России. – 1999. – 100 с.
2. Decontamination Approaches during Outages in Nuclear Power Plants – Experiences and Lessons Learned. // Vienna: IAEA. – 2021. – 85 p.
3. ГОСТ 20286-90. Загрязнение радиоактивное и дезактивация. Термины и определения. // М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. – 1990. – 10 с.
4. Крицкий В.Г., Родионов Ю.А., Стяжкин П.С., Матвеев С.А. Дезактивация объектов ядерного топливного цикла. Выпуск 2. Дезактивация АЭС и ЯЭУ с водным теплоносителем. // М.: Буки Веди. – 2016. – 475 с.
5. Руководство «Критерии выбора технологий дезактивации, применяемых при выводе энергоблока атомной электростанции из действия» // М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом». – 2010. – 40 с.
6. Алешин А.М., Гусев Б.А., Орленков И.С. Оптимизация процесса дезактивации первых контуров ядерных энергетических установок // Радиохимия. Т. 52. – 2010 – С. 497-499.

7. Черников О.Г., Ковалев С.М., Епихин А.И., Козлов Е.П., Шмаков Л.В., Тишков В.М., Крицкий В.Г., Родионов

Ю.А., Березина И.Г. Способ управления дезактивацией.// Патент, опуб. 10.08.2007. Бюл. №22. – 2007 – 28 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ, КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОПЫТНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ УГЛЕКИСЛОТНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

К.Е. Осипова¹, С.Ю. Логашов¹, П.А. Козлов¹, В.Н. Скоробогатых¹

¹АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва

e-mail: KEOsipova@cniitmash.com, SULogashov@cniitmash.com, c-PAKozlov@cniitmash.com,

VNSkorobogatykh@cniitmash.com

В работе приведен анализ материаловедческих и технологических вопросов наиболее нагруженных элементов оборудования углекислотной энергоустановки (ОД СО₂-ЭУ).

The paper presents an analysis of material and technological issues of the most loaded elements of the carbon dioxide power plant equipment.

ВВЕДЕНИЕ

Углекислотные энергоустановки (СО₂-ЭУ) – тепловые энергоустановки, использующие в качестве рабочего тела углекислый газ (СО₂), имеют значительно более компактное турбинное оборудование, чем паротурбинные установки, отсутствует риск замерзания рабочего тела при остановках в условиях сурового климата, нет эксплуатационных затрат на водоподготовку и очистку котла от накипи и т.п. [1] Главное достоинство СО₂-ЭУ состоит в том, что благодаря свойствам СО₂ в сверхкритической области (при давлении выше 7,384 МПа) коэффициент полезного действия (КПД) углекислотного регенеративного цикла Брайтона в этой области оказывается выше КПД обычного (пароводяного) регенеративного цикла Ренкина при достаточно высокой начальной температуре перед турбиной, причем разница в КПД цикла с повышением начальной температуры и снижением единичной мощности возрастает. Сравнение цикла Ренкина и цикла Брайтона показано на рисунке 1. Во всех развитых странах данное направление развивается при активном участии государственного сектора, включая адресное бюджетное финансирование, разработку государственных программ, участие национальных лабораторий, планирование и контроль за ходом выполнения работ.

Настоящая работа нацелена на материаловедческое обеспечение наиболее нагруженных элементов

опытно-демонстрационной углекислотной энергоустановки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Перспективные проекты создания блоков с циклом СО₂, реализуемых в настоящее время за рубежом, в части вопросов выбора материалов имеют много общего с аналогичными проблемами, решаемыми в рамках программ по разработке угольных энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара, в т. ч. в части достижения рабочих температур более 700 °С.

В рамках предпроектных исследований были предложены, в зависимости от проектной температуры эксплуатации, следующие кандидатные материалы для оборудования углекислотной энергоустановки:

– традиционно применяемые в энергетике низколегированные перлитные стали до температур 500 °С (поверхности нагрева и элементы трубопроводов – стали 15ХМ, 15Х1МФ, 12ХМ [2]);

– современные стали мартенситного класса, разработанные для блоков ССКП/УСКП до температур 630-640 °С (поверхности нагрева и элементы трубопроводов – стали 10Х9МФБ, 10Х9В2МФБР, 10Х9К3В2МФБР, Р91, Т92 [2]);

– стали аустенитного класса до температур 650-670 °С, (08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, Super 304/ТР304Н, ТР 347НFG, ЭП17, ЭП184[2]);

– коррозионностойкие жаропрочные сплавы на никелевой основе для работы в интервале температур от 650-800 °С, (поверхности нагрева и элементы трубопроводов – ДЖС-3, Waspaloy, H282, IN740Н).

Особое внимание при выборе высокотемпературных материалов уделяется обеспечению заданного уровня жаропрочных характеристик и коррозионной стойкости в среде теплоносителя, пластичности, вязкости, свариваемости.

Для однозначного выбора материалов необходимо определение влияния коррозии на состояние конструкционных материалов и проведение исследований в контуре с углекислотным теплоносителем, в том числе в потоке sCO₂.

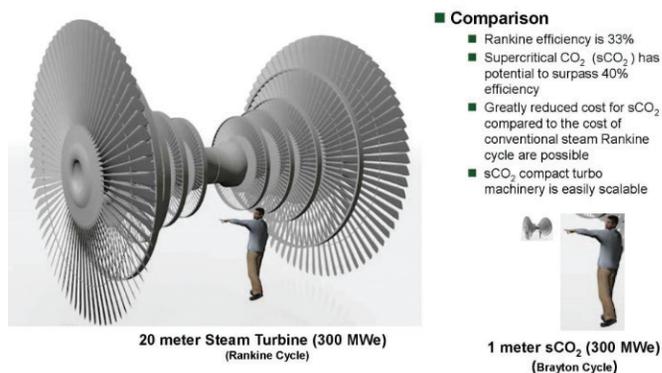


Рис. 1. Сравнение цикла Ренкина и цикла Брайтона

В зависимости от температуры использования, для элементов оборудования ТЭС применяют материалы различных классов (углеродистые, легированные, высокохромистые, аустенитные и никелевые сплавы).

В процессе исследования материалов для работы в $s\text{CO}_2$ наблюдаются следующие закономерности [3]:

- деградация свойств материалов (вследствие коррозии, окисления и науглероживания) незначительна при температуре ниже 500 °С;
- увеличение температуры в большей степени влияет на скорость коррозии/окисления материалов, чем увеличение давления;
- увеличение содержания хрома и никеля значительно повышает коррозионную стойкость сплавов, поэтому аустенитные стали более устойчивы к коррозии, вызванной $s\text{CO}_2$, чем ферритно-мартенситные стали в диапазоне температур испытания.

Исходя из вышеизложенного и с учетом существующих отечественных материалов, наиболее сложным и критически важным является вопрос материала для поверхностей нагрева и элементов трубопроводов, работающих при температуре выше 650 °С. Разработанный в рамках работы коррозионно-стойкий жаропрочный сплав на никелевой основе ДЖС-3 требует опытно-промышленного освоения, а также подтверждения расчетных характеристик путем проведения на опытных образцах испытаний и исследований. Расчетные характеристики длительной прочности в сравнении с существующими никелевыми сплавами представлены на рисунке 2 [4-10].

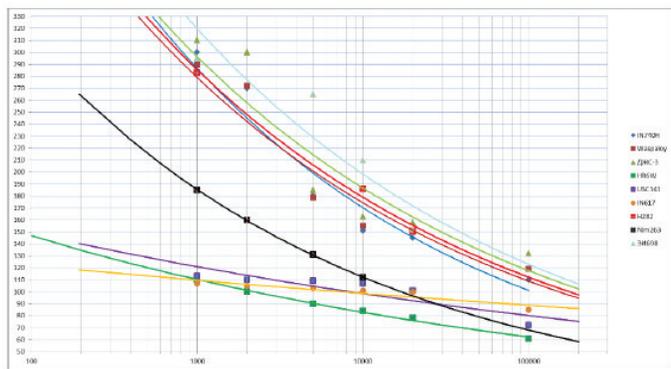


Рис. 2. Зависимость напряжения до разрушения от времени выдержки ряда жаропрочных сплавов на никелевой основе при температуре 760 °С

Для дальнейшей подготовки и проведения экспериментальных исследований в объеме, необходимом для решения первоочередных проблемных задач, возникающих на начальных этапах проектирования, необходимо создание стендов для испытания материалов.

Стендовые установки для испытания материалов позволят обосновать применение конструкционных материалов, предназначенных для элементов оборудования работающего в среде критического CO_2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выбраны и обоснованы материалы элементов испытательных стендов.
2. Спроектирован сплав с работоспособностью до максимальной температуры 800 °С и давления 25 МПа в среде сверхкритического диоксида углерода.
3. Для решения дальнейших вопросов необходимо:
 - разработать принципиальную схему стендов для испытаний материалов;
 - экспериментально подтвердить характеристики коррозионно-стойкого жаропрочного сплава на никелевой основе для наиболее нагруженных элементов углекислотной энергоустановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Review of supercritical CO_2 technologies and systems for power generation Martin T. White, Giuseppe Bianchi, Lei Chai, Savvas A. Tassou, Abdalnaser I. Sayma
2. Ю. Драгунова и А. Зубченко, Марочник сталей и сплавов, Москва: Машиностроение, 2015.
3. Zhu Q. Innovative power generation systems using supercritical CO_2 cycles //Clean Energy. – 2017. – Т. 1. – №. 1. – С. 68-79.
4. T. Tokairin, M. Shimizu, T. Sato, A. Shimada, R. Nakagawa and M. Kitamura, «Verification Of Practical Applicability Of 45Ni-23Cr-7W Alloy To Thick-Walled Component For A-USC Boilers,» in ECCO-2014, Rome, 2014.
5. T. Uehara, C. Aoki, T. Ohno, P. Schraven, H. Kamoshida and S. Imano, «Creep Rupture Properties Of Ni-Base Superalloy USC141 as Solution Treated For 700 deg. C Class A-USC Boiler» in ECCO-2014, Rome, 2014.
6. Special Metals Corp., «Inconel Alloy 740H».
7. Special Metals Corp., «Waspaloy».
8. Special Metals Corp., «Inconel Alloy 617».
9. Special Metals Corp., «Nimonic Alloy 263».
10. Драгунова Ю., Зубченко А. Марочник сталей и сплавов, Москва: Машиностроение, 2015.

ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

С.В. Пазюк¹, И.О. Вторушин¹, А.А. Басиев¹, А.А. Якушкин¹

¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», г. Москва, г. Троицк

e-mail: pazyuksv@triniti.ru, iovtorushin@triniti.ru, aabasiev@triniti.ru, yakushkin@triniti.ru

В данной работе описывается метод дезактивации поверхности труб из коррозионностойкой стали типа AISI 304 с применением концентрированного озона, а также анализируются результаты проведенных экспериментов. Путем повышения температуры обработки достигнуто повышение скорости травления оксидного слоя, формирующегося в процессе эксплуатации труб, в четыре раза. Показано, что при оптимальных условиях обработки 95 % оксидного слоя толщиной 2 мкм удаляется в течение 20 мин.

This paper describes a method of decontamination the surface of pipes made of corrosion-resistant steel of the AISI 304 type using concentrated ozone, and also analyzes the results of the experiments. By increasing the treatment temperature, the etching rate of the oxide layer formed during the operation of the pipes was increased by 4 times. It is shown, that under optimal processing conditions, 95 % of the 2 μm thick oxide layer is removed within 20 min.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование объектов использования атомной энергии, эксплуатирующихся в научно-технических, исследовательских, медицинских и иных целях, неотъемлемо приводит к накоплению на поверхности и в приповерхностных слоях различного оборудования радиоактивных изотопов. При длительной эксплуатации это приводит к невозможности дальнейшего использования такого оборудования, и, как правило, к переводу значительного количества конструкционных материалов в класс радиоактивных отходов. К такому оборудованию относится, в частности, оборудование первого контура энергоблоков ядерных реакторов, выполненное из коррозионностойких сталей. Дезактивация поверхностей такого оборудования является достаточно сложной задачей и сводится к разрыхлению устойчивого слоя оксидов, содержащего сорбированные радиоактивные изотопы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одним из современных методов удаления с поверхности стальных изделий оксида является использование многостадийной обработки, включающей использование растворенного в воде озона, способного окислять устойчивые соединения железа и хрома, переводя их в водорастворимую форму. Известно, что повышение концентрации озона вместе с повышением температуры позволяет увеличить скорость разрыхления оксидного слоя [1]. Вместе с тем ограниченная растворимость озона в воде, снижающаяся по принципу Ле Шателье – Брауна, с ростом температуры, невысокая температура процесса и диффузионные затруднения не позволяют добиться высокой скорости растворения коррозионного слоя.

Работа посвящена исследованию нового подхода к обработке поверхности гетерофазной смесью воздуха и воды с высоким, до 200 мг/л, содержанием озона. В работе изложены результаты исследования влияния температуры, концентрации озона и продолжительности обработки поверхности коррозионностойкой стали на изменение состава и массы образцов. Эксперименты были проведены на специ-

ально разработанной установке для моделирования процесса дезактивации на трубках из нержавеющей стали марки 12X18H10T с плотным оксидным слоем толщиной 2мкм. В экспериментах был смоделирован трехстадийный процесс дезактивации образцов с последовательной обработкой раствором щавелевой кислоты, гетерофазной водовоздушной смесью, содержащей озон и, повторно, раствором щавелевой кислоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментов установлено, что развитая межфазная поверхность в гетерофазной водовоздушной смеси, содержащей озон, позволяет в течение длительного времени поддерживать концентрацию растворенного озона на существенно более высоком уровне в сравнении с однофазным раствором озона в воде. Вместе с тем использование гетерофазной водовоздушной смеси позволяет сформировать на обрабатываемой поверхности тонкий слой раствора озона в воде, что существенно снижает требования к времени существования озона в воде – диффузия озона через тонкий слой горячей воды к поверхности изделия происходит настолько быстро, что температура воды перестает влиять на эффективность разрыхления оксидного слоя. Анализ зависимости изменения состава поверхности и массы труб от времени обработки, от температуры и от концентрации озона показал, что при увеличении температуры обработки с 800С до 950С скорость травления увеличивается вчетыре раза. По данным элементного анализа и гравиметрии, установлено, что в таких условиях обработки 95% массы оксидного слоя удалялось в течении 20 мин., а через 60 мин. обработки состав поверхности соответствовал составу исходной стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов Б.Г., Селиверстов А.Ф., Басиев А.Г., Басиев А.А., Корчагин Ю.П. Применение концентрированного озона для дезактивации оборудования АЭС // Атомная энергия. Т. 107. Вып. 2.– 2009. – С. 73-75.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ, СОЗДАВАЕМОЙ МОЩНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Е.А. Пеганов¹, И.С. Макогон¹, В.А. Островский¹, А.К. Кутуков¹, Р.В. Смирнов¹

¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», г. Москва, г. Троицк

e-mail: eapeganov@triniti.ru, ismakogon@triniti.ru, ostrovskiy@triniti.ru, kutukov@triniti.ru, rvs@triniti.ru

В данной работе описывается метод лазерной ударной обработки (ЛУО) поверхности материалов, использующий мощную лазерную установку с широким диапазоном управления энергией импульса. Показаны принцип действия метода, ключевые компоненты метода обработки и возможности экспериментальной установки, которая применяется для обработки образцов.

This paper describes the method of laser shock processing (LSP) of material surfaces, using a powerful laser setup with a wide range of pulse energy control. The operating principle of the method, key components of the processing method, and capabilities of the experimental setup applied for processing samples are presented.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ведется работа по поиску новых и улучшению существующих методов повышения эксплуатационных характеристик металлов. Однако одной из главных проблем, которые возникают при обработке поверхностей различных образцов, это создание технологии, которая будет обеспечивать нужные свойства материала, при этом не ухудшая другие. Традиционные методы модификации поверхности не всегда являются эффективными, так как требуют дополнительных этапов обработки.

В связи с этим метод обработки металлических поверхностей ударной волной, создаваемой высокоэнергетическим лазерным излучением, заслуживает особого внимания. Лазерная ударная обработка позволяет изменить эксплуатационные свойства металлических изделий, улучшив их износостойкость, микротвердость и другие физические свойства [1].

У технологии лазерной обработки ударной волной есть значительные преимущества:

- высокая точность;
- низкие тепловые воздействия;
- разнообразие материалов, пригодных для обработки;
- экологическая безопасность;
- высокая эффективность.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для того чтобы процесс лазерной ударной обработки был эффективным, необходимы три важных компонента: лазерный луч, обрабатываемый объект с покрытием, способным поглощать лазерное излучение, и демпфирующий слой, который помогает сосредоточить ударные волны в обрабатываемой области (рис. 1).

Точность и эффективность процесса ЛУО зависят от многих факторов, включая параметры лазерного излучения, тип и толщину поглощающего покрытия, а также свойства материала, который обрабатывается. Необходимое количество энергии, требуемое для генерации достаточно мощной ударной волны, способной повысить порог усталостной прочности материала, может значительно варьироваться в зависимости от типа стали или сплава, используемого в процессе [2].



Рис. 1. Процесс формирования ударной волны

Поэтому к лазерным установкам предъявляются особые требования, заключающиеся в возможности изменять параметры лазерного излучения для достижения необходимых плотностей энергии в зоне обработки.

В проводимой работе предлагаемая схема обработки образцов представляет собой кювету, в которой находится система циркуляции воды и приспособление для крепления образца. Образец фиксируется на держателе таким образом, чтобы его поверхность была перпендикулярна направлению распространения лазерного импульса.

Лазерная установка, используемая для метода ЛУО, обладает широким диапазоном управления энергией импульса, который изменяется в пределах 10–50 Дж. Диаметр пятна лазерного луча на поверхности образца регулируется в пределах 6–12 мм, что обеспечивает необходимую плотность мощности для обработки поверхности в диапазоне 0,5–10 ГВт/см².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из преимуществ метода ударного лазерного упрочнения является создание на поверхности металла устойчивого модифицированного слоя с высоким наведенным сжимающим напряжением. Этот слой увеличивает износостойкость и микротвердость материала, а также способствует улучшению других свойств, таких как устойчивость к коррозии, и повы-

шает порог усталостной прочности материала. Метод ударного лазерного упрочнения может применяться для обработки различных материалов, включая стали, алюминий, титан и многие другие. Кроме того, его можно применять для металлов различных форм и геометрических размеров, что делает его универсальным и гибким инструментом для обработки поверхностей металлических изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guo Y. et al. The effect of laser shock peening on the corrosion behavior of biocompatible magnesium alloy ZK60 //Metals. – 2019. – Т. 9. – №. 11. – С. 1237.
2. Montross C. S. et al. Laser shock processing and its effects on microstructure and properties of metal alloys: a review //International journal of fatigue. – 2002. – Т. 24. – №. 10. – С. 1021-1036.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРКИ ДУПЛЕКСНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АЭУ

Е.А. Писарев¹

¹АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва

e-mail: EAPisarev@cniitmash.com

«Дуплексы» представляют собой стали аустенитно-ферритного класса, обладающие уникальным набором свойств.

Идея создания такого типа стали зародилась в 20-х годах прошлого века зарубежом. В условиях современных вызовов, политики импортозамещения освоение технологий сварки дуплексных сталей является актуальной задачей для российской металлургии и сварочного сообщества.

В статье рассматривается перспектива разработки специализированных сварочных материалов (электродов, проволоки и флюсов) для сварки дуплексных сталей, которые бы позволили обеспечить высокое качество сварных соединений и безопасность изделий из этого материала.

«Duplexes» are austenitic-ferritic steels with a unique set of properties.

The idea of creating this type of steel originated in the 20s of the last century abroad. In the conditions of modern challenges and import substitution policy mastering of welding technologies for duplex steels is an urgent task for Russian metallurgy and welding community.

The article considers the prospect of developing specialized welding materials (electrodes, wires and fluxes) for welding duplex steels, which would ensure the high quality of welded joints and safety of products made of this material.

ВВЕДЕНИЕ

«Дуплексы» представляют собой стали аустенитно-ферритного класса, соотношение основных структурных компонент которых составляет от 40 % до 60 %. Благодаря статистически одинаковому соотношению обозначенных структур достигается высокая прочность, качественная свариваемость при больших толщинах элементов, хорошая ударная вязкость и сопротивление растрескиванию, спровоцированному коррозионным воздействием.

Идея создания такого типа стали зародилась в 20-х годах прошлого века во Франции и Швеции. Так, первая плавка дуплексной стали была осуществлена в швейцарском городе Авеста в 1930 году и запатентована в 1936 году. Однако интенсивное производство и применение сталей класса «Дуплекс» приходится только на последние 30-40 лет.

Актуальность их применения обусловлена усовершенствованием технологии регулирования содержания азота в сталях, а также мировым дефицитом никеля, который спровоцировал рост стоимости аустенитных сталей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современная аустенитно-ферритная сталь делится на два класса – класс «Duplex» и «SuperDuplex».

Сталь класса «Duplex» – сталь, полученная в результате дуплекс-процесса (технологический процесс, при котором приготовление жидкого металла осуществляется последовательно в двух плавильных агрегатах). При добавлении никеля в ферритную хромовую сталь формируется мелкозернистая микроструктура с основой, которая содержит феррит и аустенит практически в равных долях. В состав дуплексной стали стандартно входит хром – 18-20 %, никель – 4-7 %. Дуплексная структура стали обеспечивает высокую механическую прочность, предел текучести при растяжении, более лучшее противостояние образованию трещин от коррозии под напряжением.

Сталь класса «SuperDuplex» – коррозионноустойчивая сталь, которая характеризуется более высоким процентом хрома и молибдена в химическом составе в сравнении с обычным дуплексом. Из-за этого на нее практически не оказывают воздействие кислоты и щелочи. Повышенное содержание легирующих элементов наделяет ее рядом характеристик: еще более высокой устойчивостью к коррозии, механической прочностью, превосходящей прочность дуплексных сталей.

Как альтернатива более дорогостоящим аустенитным сталям, дуплекс нашел широкое применение в нефтегазовой и химической промышленности, судостроении.

При этом технология изготовления дуплексных сталей в России мало изучена, и, как правило, основные и сварочные материалы из дуплекса закупаются зарубежом. В условиях современных вызовов, политики импортозамещения освоение технологий сварки дуплексных сталей является актуальной задачей для российской металлургии и сварочного сообщества.

Разработка специализированных электродов, проволоки и флюсов для сварки дуплексных сталей позволяет обеспечить высокое качество сварных соединений и безопасность изделий из этого материала. Это особенно важно для критических применений в объектах АЭУ, где требуются высокая прочность, коррозионная стойкость и долговечность.

С появлением эффективных сварочных материалов для дуплексных сталей возможности использования этого нестандартного для отечественной промышленности материала значительно расширяются. Это позволяет заменять более дорогие и менее устойчивые материалы, такие как нержавеющие стали и никелевые сплавы, на дуплексные стали, что приводит к снижению затрат и улучшению экологичности производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ потенциальных областей применения дуплексных сталей показывает перспективы их использования для оборудования и трубопроводов АЭУ. В рамках такой работы будет необходимо разработать отечественные сварочные материалы и технологические процессы для сварки трубопроводов из дуплексных сталей.

Для развития этой тематики были выделены следующие перспективные направления.

1. Углубление понимания физических и химических процессов, происходящих при сварке дуплексных сталей: исследования в этой области могут привести к улучшению качества сварных соединений и расширению областей применения дуплексных сталей.

2. Разработка новых материалов и компонентов для электродов, которые обеспечат более высокую эффективность сварки, прочность сварных соединений и коррозионную стойкость.

3. Интеграция автоматизации и роботизации в процесс сварки дуплексных сталей, технологий искусственного интеллекта. Это позволит создать точные и эффективные системы управления и контроля сварочных процессов, что улучшит качество сварных соединений и снизит производственные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, В.С. Формирование структуры и свойств сварных соединений тонкостенных труб из ферритно-аустенитной стали 02X22H5AM3: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01, 05.03.06/ В.С. Попова. М., 2005. – 20 с.

2. Сварка дуплексных нержавеющих сталей [Журнал «Автоматическая сварка», №4]: Интернет-журнал. М., 2019. – Режим доступа: www.patonpublishinghouse.com (дата обращения 01.05.2023)

3. Зубченко А.С., Федоров А.В. Комплексные исследования свариваемости и коррозионной стойкости аустенитно-ферритной (дуплексной) стали SAF 2507. // Сварка и диагностика, 2, 2010. – 20 с.

4. Технический справочник ESAB. Сварка изделий из нержавеющей стали. 2017 год. – 94 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРИДА ГАФНИЯ

К.К. Полунин¹, Б.Н. Беспечалов¹, С.В. Гусейнов¹, Д.А. Зайцев¹, Д.С. Киселев¹, Г.Н. Мельников¹, К.В. Стойков¹

¹АО «НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск

e-mail: poluninkk@sialuch.ru, bespechalovbn@sialuch.ru, guseynovsv@sialuch.ru, kiselevds@sialuch.ru, stoykovkv@sialuch.ru

Представлены результаты высокотемпературных испытаний образцов гидрида гафния различной стехиометрии. Разработаны методики испытаний и создана установка для проведения ампульных испытаний. Получены экспериментальные данные по поведению гидрида гафния в воздушной и инертной (Ar, He) средах при воздействии температур от 530 до 920 °С длительностью до 6 часов. Проведено сравнение стабильности гидрида гафния, полученного прямым (сквозным) насыщением (δ -HfH_{1,6}), и спеканием порошка (ϵ -HfH_{1,9}) в условиях ампульного циклического термонагружения. На основании полученных данных по высокотемпературной стабильности гидрида гафния наиболее предпочтительным способом его получения является прямое насыщение металлических заготовок.

The results of high-temperature testing of samples of hafnium hydride with different stoichiometry are presented. Test methods have been developed and a facility for carrying out ampoule tests has been created. Experimental data on the behavior of hafnium hydride in air and inert (Ar, He) media under the influence of temperatures from 530 to 920 °C for up to 6 hours have been obtained. The resistance of hafnium hydride obtained by direct (through) saturation (δ -HfH_{1,6}) and powder sintering (ϵ -HfH_{1,9}) under ampoule cyclic thermal loading has been compared. Based on the data obtained on the high-temperature stability of hafnium hydride, the most preferred method for its preparation is direct saturation of metal blanks.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве основного поглощающего материала для ядерных реакторов на быстрых нейтронах используется карбид бора различного обогащения по изотопу ^{10}B [1], максимальный ресурс которого ввиду его низкой радиационной стойкости не превышает 1000 эфф. сут.

Для реакторов нового поколения требуются более радиационностойкие поглощающие материалы с высокой физической эффективностью. Таким материалом считается гидрид гафния (HfH_x), обладающий высокой коррозионной и радиационной стойкостью. Гафний практически не выгорает, так как при поглощении нейтронов его изотопы переходят в другие изотопы гафния, которые также обладают высоким сечением поглощения нейтронов. Ожидается, что срок службы стержней системы управления и защиты (СУЗ) с HfH_x будет составлять более 10 лет [2].

Недостатком использования гидридных материалов является диссоциация водорода в результате воздействия высоких температур. При температурах выше 450 °C возможен эффект частичной потери водорода и начало распада гидрида [3], что приведет к ухудшению его поглощающей способности.

Целью настоящей работы является анализ изменения структурных характеристик гидрида гафния в результате изотермической выдержки в диапазоне температур от 530 до 920 °C в различных средах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения испытаний изготовлены образцы гидрида гафния δ -фазы ($\text{C(H)} = 0,85 \pm 0,02\%$ масс.) и ε -фазы ($\text{C(H)} = 1,09 \pm 0,01\%$ масс.). На часть образцов $\delta\text{-HfH}_{1,6}$ методом оксидного анодирования нанесено керамическое покрытие (HfO_2) толщиной до 5 мкм. Выбор оксидного покрытия обусловлен проведенными ранее испытаниями гидрида циркония [4], при которых данный тип покрытий сохранил стабильность в условиях повышенных температур.

Испытания в воздушной среде проводили с использованием лабораторной трубчатой электропечи СУОЛ 0,4.4/12 путем размещения в изотермической зоне керамической лодочки с образцами HfH_x . По окончании испытаний лодочка с образцами перемещалась в холодную зону печи с последующим извлечением.

Установка для проведения ампульных испытаний представляет собой две коаксиально соединенные между собой вертикальные печи. Низкотемпературная печь используется для предварительного нагрева ампулы и выдержки между циклами, высокотемпературная печь – для изотермической выдержки при заданной программой температуре испытаний. Контроль температур печей и ампулы производился при помощи термоэлектрических преобразователей типа ТХА. Для определения скорости нагрева гидрида гафния проведено моделирование эксперимента при помощи программного пакета ANSYS Mechanical 16.0.

Посттестовые испытания образцов HfH_x включали в себя анализ внешнего вида и микроструктуры об-

разцов, определение фазового состава, а также изменение плотности и микротвердости.

Результаты испытаний гидрида гафния в воздушной среде при температурах от 560 до 920 °C в течение 2 часов показали следующее:

- во всем исследованном температурном диапазоне не происходит разрушения образцов $\delta\text{-HfH}_{1,6}$ и выхода водорода из них;
- таблетки $\varepsilon\text{-HfH}_{1,9}$, испытанные при 680 °C, характеризуются наличием сетки трещин, при этом содержание водорода в них сохраняется на исходном уровне;
- изотермическая выдержка образцов $\varepsilon\text{-HfH}_{1,9}$ при 920 °C приводит к образованию порошка диоксида гафния HfO_2 (рис. 1).

По результатам испытаний HfH_x в замкнутой инертной среде отмечено:

- высокотемпературная выдержка (при температурах до 900 °C) таблеток $\delta\text{-HfH}_{1,6}$, несмотря на разрушение некоторых образцов, не приводит к диссоциации гидрида;
- $\varepsilon\text{-HfH}_{1,9}$ в инертной среде сохраняет стабильность до 650 °C. При достижении 800 °C происходит выход водорода, что приводит к увеличению давления в ампуле и ее разгерметизации (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Двумя методами (прямым насыщением и спеканием порошка) изготовлены образцы гидрида гафния различной стехиометрии (δ - и ε -фазы).

2. Разработаны методики и проведены высокотемпературные испытания образцов HfH_x в воздушной и инертной средах.

3. На основании полученных данных по высокотемпературной стабильности гидрида гафния показано, что наиболее предпочтительным способом его получения является прямое насыщение металлических заготовок.



Рис. 1. Порошок HfO_2 , образованный при испытаниях $\varepsilon\text{-HfH}_x$ (920 °C, 4 часа)



Рис. 2. Ампула с $\varepsilon\text{-HfH}_x$ после испытаний при 900 °C

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рисованый В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П. Поглощающие материалы и стержни СУЗ инновационных ядерных реакторов // Материалы и ядерная энергетика. Известия вузов: ядерная энергетика. – 2011. – С. 240-248.
2. Iwasaki T., Konashi K. Development of Hydride Absorber for Fast Reactor – Application of Hafnium Hydride to Control Rod of Large Fast Reactor // Journal of Nuclear science and technology. – 2009. – P. 874-882.
3. Dolukhanyan S.K., Aleksanian A.G., Hakobian A.G. Interaction of hafnium with hydrogen and nitrogen in the combustion regime // Int. J. Hydrogen Energy. – 1995. – P. 391-395.
4. Polunin K.K. Mokrushin A.A., Bragin S.Yu., D.S. Kiselev, Kuzma-Kichta Yu.A. Protective Coating of Irradiation Device for Fast-Neutron Reactor // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – 7 p.

ВХР ПЕРВОГО КОНТУРА НА АЭС, ПРОЕКТИРУЕМЫХ МОСКОВСКИМ ПРОЕКТНЫМ ИНСТИТУТОМ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»

А.В. Юрманова¹, А.В. Прокофьев¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Москва

e-mail: Prokofev_AV@aep.ru, Yurmanova_AV@aep.ru

В настоящем докладе рассматриваются водно-химические режимы первого контура, применяемые в проектах МПИ АО «Атомэнергопроект». Представлено обоснование пределов показателей качества, также проведено сравнение двух типов водно-химических режимов, в том числе с точки зрения образования жидких радиоактивных отходов и маневренных режимов работы энергоблока. Показаны схемные решения, применяемые для каждого типа с обоснованием состава оборудования.

This report discusses water-chemistry conditions of the primary circuit used in MPI Atomenergoproekt JSC projects. The justification of quality indicators limits is presented, as well as a comparison of two types of water-chemistry conditions in the primary circuit of water-cooled nuclear reactors including in terms of liquid radioactive waste generation and maneuvering modes of the power unit operation. Schematic solutions are shown for each type with justification of the equipment composition.

ВВЕДЕНИЕ

Водно-химический режим (ВХР) первого контура водо-водяных энергетических реакторов является одним из ключевых факторов, обеспечивающих безопасность и надежность работы АЭС. Его задача – сохранять целостность защитных барьеров, таких как оболочки теплоделяющих элементов (ТВЭЛ) и границы контура теплоносителя, чтобы предотвратить распространение радиоактивных веществ в окружающую среду. Коррозионное и коррозионно-эрозионное воздействие теплоносителя контура не должно приводить к нарушению пределов и условий безопасной эксплуатации. Дополнительно, водно-химический режим должен минимизировать образование отложений на теплопередающих поверхностях трубопроводов парогенератора и топлива активной зоны, что позволяет улучшить радиационную обстановку. Также он влияет на объем жидких радиоактивных отходов, образующихся за цикл работы на мощности. Поэтому выбор оптимального водно-химического режима первого контура является крайне важным для безопасной эксплуатации АЭС.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В докладе рассмотрено обеспечение основных функциональных требований ВХР первого контура.

Качество ведения ВХР обеспечивается согласно нормам ВХР, разработчик – АО ОКБ «Гидропресс».

Далее представлены показатели качества теплоносителя с указанием обоснования пределов

как по нормируемым, так и по диагностическим показателям.

В качестве примера в таблице 1 приведены показатели качества ВХР первого контура при работе на мощности ВВЭР-ТОИ.

Обеспечение требований норм ВХР выполняется системами нормальной эксплуатации за счет систем спецводоочистки (КВЕ50, КВН, КВФ), системы подачи реагентов в первый контур (КВД, узла дозирования водорода системы КВА в проекте ВВЭР-ТОИ), а также контроля качества теплоносителя первого контура и сред, подаваемых в первый контур, за счет лабораторного (КУА10, КУЕ) и автоматического (КУА60) химического контроля.

В проектах МПИ АЭП применяются два типа ВХР: аммиачно-калиевый и водородно-калиевый. Принципиальное отличие – в способе обеспечения водородного показателя качества теплоносителя.

Далее представлено более подробное описание отличий в схемных решениях, а также особенности ведения каждого типа ВХР с учетом маневренных режимов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлена информация о том, для чего необходимо поддерживать ВХР первого контура, обоснованы предельные показатели норм ВХР, перечислены системы его поддержания. Также представлены системы, спроектированные исходя из

Таблица 1. Показатели качества теплоносителя при работе энергоблока на мощности > 20 %

Нормируемые показатели				
Наименование показателей	Допустимые значения	Уровни отклонения от допустимых значений		
		1 уровень ¹⁾	2 уровень ²⁾ (ограничение работы не более 24 ч → перевод РУ на МКУ мощности)	3 уровень ³⁾ (перевод РУ в «холодное» состояние)
Концентрация хлорид-иона, мг/дм ³	не более 0,1	–	свыше 0,1 до 0,2	свыше 0,2
Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³	не более 0,005	свыше 0,005 до 0,02	свыше 0,02 до 0,10	свыше 0,10
Концентрация растворенного водорода, мг/дм ³	2,2 – 4,5	свыше 4,5 до 7,2 или менее 2,2 до 1,3	свыше 7,2 до 9,0 или менее 1,3 до 0,5	свыше 9,0 или менее 0,5
Суммарная молярная концентрация ионов щелочных металлов (калия, лития, натрия) в зависимости от текущей концентрации борной кислоты согласно рисунку 3.1	Зона А	Зоны Б и В	Зоны Г и Д	Зона Е
Диагностические показатели				
Наименование показателей	Контрольные уровни			
Удельная электропроводимость, мкСм/см	5–80			
Концентрация железа, мг/дм ³ , не более	0,05			
Концентрация аммиака, мг/дм ³ , не более	1,5			
Концентрация цинка, мг/дм ³ , не более	0,005 – 0,007 ⁴⁾			
Концентрация сульфат-иона, мг/дм ³ , не более	0,1			
Концентрация фторид-иона, мг/дм ³ , не более	0,1			
Концентрация кальция, мг/дм ³ , не более	0,1			
Концентрация кремниевой кислоты, мг/дм ³ , не более	1,0			
Концентрация общего органического углерода, мг/дм ³ , не более	0,5			

требований по его обеспечению, указаны различия в вышеуказанных технологических системах при применении аммиачно-калиевого и водородно-калиевого режимов. Представлены особенности ведения ВХР, в том числе и в маневренных режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Задонский Н.В, Быстрова Л.С. Отчет «Формирование отходов в условиях калиевого ВХР первого контура с дозированием водорода за цикл работы АЭС с ВВЭР-ТОИ». ТОИ-МР0402-BDD0028 НИЦ «Курчатовский институт» – 2012 г.

2. СТО 1.1.1.03.004.0980-2014 Водно-химический режим первого контура при вводе энергоблока атомной электростанции проекта АЭС-2006 в эксплуатацию. Нормы качества теплоносителя и средства их обеспечения. – 2014 г.

3. Задонский Н.В, Быстрова Л.С. Отчет «Расчетное обоснование оптимизации схемных решений и характеристик оборудования систем поддержания ВХР первого контура и вспомогательных систем с учетом маневренности». 2006. С.131.&.0UJA&&.KB&&.054. НК.0001 НИЦ «Курчатовский институт» – 2008 г.

ОСВОЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ МАРКИ ЭП302-Ш

А.Р. Салахудинова¹, А.А. Чернова¹, Н.С. Ершов²

¹АО «НИКИЭТ», г. Москва

²АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва,

e-mail: salakhudinova@nikiet.ru, tchernova@nikiet.ru, NSErshov@cniitmash.com

Для реализации инновационных проектов необходимо широкое промышленное освоение материалов, сохраняющих удовлетворительную работоспособность в жестких рабочих условиях, обладающих расчетными и качественными характеристиками, обеспечивающими выполнение требований промышленной, ядерной и радиационной безопасности. Такими материалами, в том числе, являются и полуфабрикаты из коррозионностойкой жаропрочной стали марки 10X15H9C3B1-Ш. В докладе рассматриваются рекомендации к технологии производства и качеству готового листового проката.

For the implementation of innovative projects, it is necessary to commercial implementation of materials that satisfactory fault-tolerance under serve working conditions, having design and quality characteristics, having design rating and quality specifications that ensure compliance with the requirements of industrial, nuclear and radiation safety. Such materials include semi-fabricated products made of corrosion and heat-resistant steel of the 10Cr15Ni9S-i3Nb1-Sh. The report comprises recommendations for the production technology and quality of profile rolled steel.

ВВЕДЕНИЕ

Производство отливок электрошлаковым переплавом позволяет достигнуть повышенной химической и структурной однородности, отсутствия ликваций, уменьшения количества примесей и металлических включений, что обеспечивает отливкам высокие механические свойства [1]. Однако в процессе изготовления из слитков электрошлакового переплава листового проката возникают технологические особенности, не позволяющие сохранить высокое качество механических характеристик. Объектом исследования являются технические, технологические и методические рекомендации, обеспечивающие производство листового проката из стали марки 10X15H9C3B1-Ш (ЭП302-Ш) с заданными характеристиками.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Выполнены работы по материаловедческому сопровождению промышленного изготовления горячекатаных листов из стали марки ЭП302-Ш по требованиям технических условий.

Целью работы было получение горячекатаного листового проката толщиной от 32 мм до 70 мм из стали

марки ЭП302-Ш стабильного качества и снижение ресурсоемкости изготовления. Разработаны и согласованы технологические документы, скорректированы режимы отдельных процессов изготовления.

В процессе массового промышленного изготовления горячекатаных листов стали марки ЭП302-Ш проведена оценка значений кратковременных механических характеристик, структурных параметров и стойкости против межкристаллитной коррозии. С учетом полученных результатов разработано и утверждено изменение к техническим условиям, которые, в том числе, должны соответствовать требованиям по количественным оценкам качества металла.

Проведен анализ изменений значений кратковременных механических характеристик листов толщиной 32 мм, 50 мм, 60 мм и 70 мм (временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения и относительного сужения) в зависимости от толщины и направления проката листа (рис. 1, 2), по результатам которого установлено:

- прочностные и пластические свойства при нормальной и повышенной температурах испытаний соответствуют требованиям технических условий;

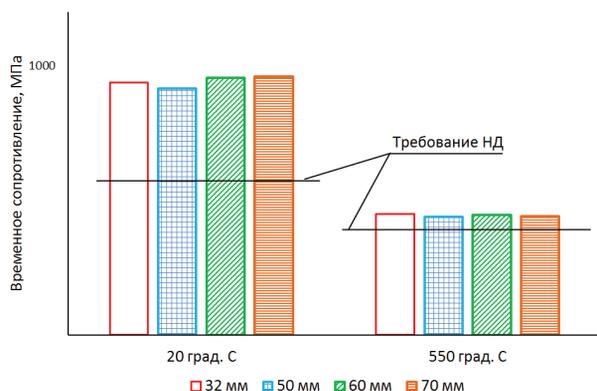


Рис. 1. Средние значения временного сопротивления листового проката из стали марки ЭП302-Ш

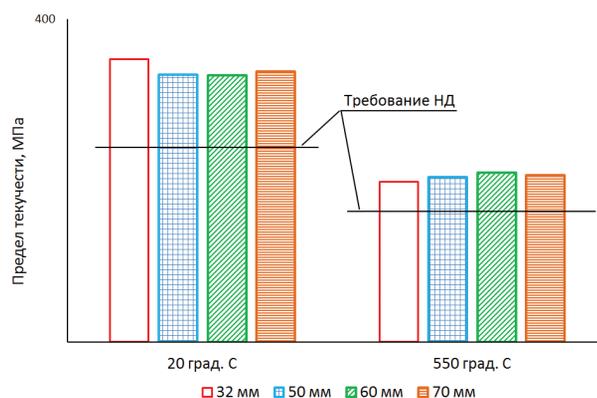


Рис. 2. Средние значения относительного удлинения листового проката из стали марки ЭП302-Ш

- механические характеристики практически не зависят от толщины листа. Разница между полученными средними значениями свойств листов разной толщины составляет не более 5,5%;
- анизотропность кратковременных механических характеристик листового проката стали марки ЭП302-Ш отсутствует.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной работы можно сделать вывод о реализации промышленного освоения

листового проката из стали марки ЭП302-Ш и рекомендовать этот материал для изготовления конструктивных элементов инновационных реакторных установок. По итогам выполнения работы разработана и опробована технология промышленного производства горячекатаного листа из стали марки ЭП302-Ш.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фетисов Г.П. и др. Материаловедение и технология металлов. – Москва – 2001. – 640 с.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ГИДРИДА ПЕНТАКАРБОНИЛА ТЕХНЕЦИЯ-99

А.П. Сахоненкова^{1,2,3}, А.Е. Мирославов^{1,2,3}, М.Ю. Тюпина^{1,2,3}, А.Р. Хохлова^{1,2,3}, И.В. Баланцев¹

¹Радиевский институт им. В.Г. Хлопина, г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

³Озерский технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ, г. Озерск

e-mail: annash000@gmail.com

Разработан новый метод синтеза $TcH(CO)_5$, заключающийся в восстановлении $TcBr(CO)_5$ боргидридом натрия. Было показано, что гидридный лиганд может быть легко замещен даже слабо координирующимися анионами при реакции с сильными кислотами, но со слабыми кислотами $TcH(CO)_5$ не реагирует. $TcH(CO)_5$ легко окисляется даже слабыми окислителями, например I_2 , кроме того, $TcH(CO)_5$ тримеризуется даже при отрицательных температурах в присутствии влаги воздуха с образованием $Tc_3H(CO)_{14}$. Однако $TcH(CO)_5$ весьма устойчив к замещению CO-групп и реагирует с гетероциклическими аминами только при нагревании.

A new method of the $TcH(CO)_5$ synthesis has been developed. $TcH(CO)_5$ was prepared by the reduction of $TcBr(CO)_5$ with sodium borohydride. It has been shown that the hydride ligand can be easily replaced even by weak coordinating anions during the reaction with strong acids, but not weak acids. $TcH(CO)_5$ is easily oxidized even by weak oxidation agents, for example, I_2 , in addition, $TcH(CO)_5$ decomposes even at subzero temperatures in the presence of air moisture to form $Tc_3H(CO)_{14}$. However, $TcH(CO)_5$ is very resistant to the substitution of CO groups and reacts with heterocyclic amines only by heating.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с открытия нестабильного $H_2Fe(CO)_4$ группой Хиберы в 1930-х годах, гидриды карбонилы переходных металлов находятся в фокусе внимания ученых [1], поскольку они могут выступать в качестве интермедиатов или катализаторов в различных реакциях, например гидроформилирования и восстановления CO_2 [2, 3].

Среди карборилгидридов переходных металлов карбонилгидриды технеция наименее изучены, вероятно, из-за радиоактивности и труднодоступности данного элемента. К настоящему моменту описаны немногие представители этого класса неорганических соединений: $TcH(CO)_5$ [4], $TcH(CO)_2(PPh_3)_2$ [5, 6], $[HTc(CO)(CNp-F-ArDArF_2)_4]$ [7], $Tc_3H_3(CO)_{12}$ [8], $Tc_3H(CO)_{14}$ [9], $[Tc_2(\mu-H)(\mu-NC_5H_4)(NC_5H_5)_2(CO)_6]$ [10].

Пентакарбонил гидрид технеция, $TcH(CO)_5$, является родоначальником этой группы. Впервые $TcH(CO)_5$ был получен в 1962 году при восстановлении амальгамой натрия и последующем протонировании фосфорной кислотой [4]. К настоящему моменту химическое поведение $TcH(CO)_5$ не изучено. Таким образом, разработка методов синтеза и изучение химических свойств $TcH(CO)_5$ является важной научной задачей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

$TcH(CO)_5$ был обнаружен нашей научной группой недавно при исследовании реакции гидролиза $[Tc(CO)_6]^+$ [9] как побочный продукт. Позже нами был разработан метод синтеза $[TcH(CO)_5]$, обеспечивающий выход продукта 82%, заключающийся в восстановлении $TcBr(CO)_5$ боргидридом натрия в протонном растворителе. ИК-спектр $[TcH(CO)_5]$ (ν , cm^{-1} , гексан): 2021.3 (с., $\nu(CO)$), 2016.4 (ср. $\nu(CO)$); EI масс-спектр продукта расч. для $[M^+]$: m/z 240.1 а.е.м., найден: 239.9 а.е.м.

Мы установили, что $TcH(CO)_5$ легко окисляется даже слабыми окислителями, например I_2 , с образованием $[TcI(CO)_5]$.

Гидрид пентакарбонил технеция вступает во взаимодействие с сильными кислотами, например F_3CCOOH и $HClO_4$. Эти реакции протекают с замещением гидридного лиганда на соответствующий анион сильной кислоты. Однако со слабыми кислотами, такими как $HCOOH$, $TcH(CO)_5$, не реагирует.

Карбонильные группы в $TcH(CO)_5$, в отличие от пентакарбонилгалогенидов технеция, с трудом замещаются другими лигандами. При взаимодействии $TcH(CO)_5$ с избытком имидазола при нагревании образуется трикарбонильный комплекс $[Tc(CO)_3(imid)_3]^+$, который идентифицирован при сравнении с ИК-спектром

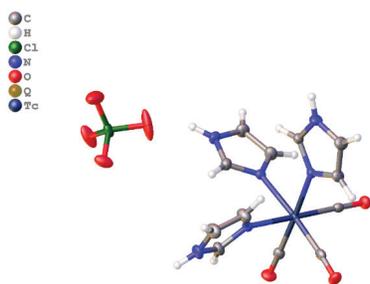


Рис. 1. Рентгено-структурный анализ $[Tc(CO)_3(Im)_3]ClO_4$

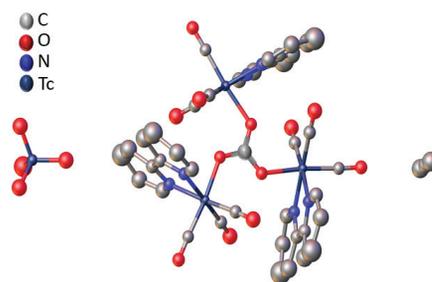


Рис. 2. Рентгено-структурный анализ $[CO_3(Tc(bipy)(CO)_3)_3]TcO_4$

продукта взаимодействия $[Tc(CO)_6]ClO_4$ с имидазолом. ИК-спектр $[Tc(CO)_3(Im)_3]ClO_4$ (рис. 1) (ν , cm^{-1} , этанол): 2036.7 (ср, $\nu(CO)$), 1924.8 (с, $\nu(CO)$).

$TcH(CO)_5$ взаимодействует с бидентатными азотсодержащими лигандами, 2,2-бипиридином и 1,10-фенантролином, только при нагревании до 70 °C и в присутствии воздуха, при этом образуются трикарбонильные комплексы с пертехнетатным противоионом $[CO_3(Tc(CO)_3(N^{\wedge}N))_3]TcO_4$ ($N^{\wedge}N = bipy, phen$) (рис. 2). ИК-спектр $[CO_3(Tc(bipy)(CO)_3)_3]TcO_4$ (ν , cm^{-1} , KBr): 2032.8 (ср, $\nu(CO)$), 1932.5 (с, $\nu(CO)$), 1909.4 (с, $\nu(CO)$), 894.8 (сл, $\delta(TcO)$), 771.5 (сл, $\delta(TcO)$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

$TcH(CO)_5$ вступает в широкий спектр реакций с реагентами различной природы. Эти реакции протекают через отщепление гидридного лиганда. Полученные данные указывают на то, что H-лиганд в $TcH(CO)_5$ является гидридным, а не кислотным.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект No22-13-00057).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hieber W., Leutert F. // *Naturwissenschaften*. – 1931. – С. 360
2. Wender I., Sternberg H.W., Orchin M. // *J. Am. Chem. Soc.* – 1953. – С. 3041
3. Sullivan B.P., Meyer T.J. // *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* – 1984 – С. 1244

4. Hileman J.C., Huggind D.K., Kaesz H.D. // *Inorg. Chem.* – 1962. – С. 933

5. Jungfer M.R., Elsholz L., Abram U. // *Organometallics*. – 2021. – С. 3095

6. Cook J., Davison A., Davis W.M., Jones A.G. // *Organometallics*. – 1995. – С. 650

7. Salsi F., Hagenbach A., Figueroa J.S., Abram U. // *Chem. Commun.* – 2023. – С. 4028

8. Alberto R., Schibli R., Schubiger P.A., Abram U., Hibener R., Berkec H., Kaden T.A. // *Chem. Commun.* – 1996. – С. 1291

9. Miroslavov A.M., Shishkina A.P., Sidorenko G.V., Gurzhiy V.V., Maltsev D.A., Kurysheva E.V. // *Inorg. Chem.* – 2020. – С. 9239

10. Zuhayra M., Lutzen U., Lutzen A., Papp L., Henze E., Friedrichs G., Oberdorfer F. // *Inorg. Chem.* – 2008. – С. 10177

11. Blomberg M.R.A., Karlsson C.A.M., Siegbahn P.E.M. // *J. Phys. Chem.* – 1993. – С. 9341

12. Miroslavov A.E., Sidorenko G.V., Lumpov A.A., Mikhalev V.A., Suglobov D.N. // *Radiochemistry*. – 2009. – С. 124

13. Miroslavov A.E., Gurziy V.V., Tyupina M.Yu., Lumpov A.A., Sidorenko G.V., Polotskii Yu.S., Suglobov D.N. // *J. Organometallic Chem.* – 2013. – С. 219

14. Miroslavov A.E., Sidorenko G.V., Lumpov A.A., Mikhalev V.A., Suglobov D.N. // *Radiochemistry*. – 2009. – С. 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ХЛОРА В ХЛОРИДЕ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗОВ НА ОСНОВЕ РТУТИ

З.С. Сидорова¹, М.И. Смоленская¹, А.И. Камелин¹

¹ПАО «Новосибирский завод химических концентратов», г. Новосибирск

e-mail: ZSSidorova@rosatom.ru

В данной статье рассматриваются два метода определения массовой доли хлора в хлориде алюминия – меркурометрический и меркуриметрический. Меркурометрический метод основан на применении ртути, которая имеет высокую плотность и низкое парциальное давление при комнатной температуре. В меркуриметрии в качестве титрантов выступают различные соединения ртути – хлорид ртути (II), нитрат ртути (II) и т.д. Оба метода были опробованы на образцах хлорида калия и натрия с известной массовой долей хлора, и полученные результаты сравнивались с теоретическими значениями. Было выявлено, что меркуриметрический метод является более точным и безопасным методом анализа. Однако меркурометрический метод требует определенных навыков и необходимости обращаться с ртутью, что может представ-

лять опасность. Таким образом, оба метода являются точными и применимыми, но выбор метода зависит от конкретных требований и условий эксперимента.

This article discusses two methods for determining the mass fraction of chlorine in aluminum chloride – mercurimetric and mercurimetric methods. The mercurimetric method is based on the use of mercury, which has a high density and low partial pressure at room temperature. In mercurimetry, various mercury compounds act as titrants – mercury (II) chloride, mercury (II) nitrate, etc. Both methods were tested on samples of potassium and sodium chloride with a known mass fraction of chlorine, and the results were compared to theoretical values. It was found that the mercurimetric method is a more accurate and safer method of analysis. However, the mercurimetric method requires certain skills and the need to handle mercury, which can pose a danger. Thus, both methods are accurate and applicable, but the choice of method depends on specific experimental requirements and conditions.

ВВЕДЕНИЕ

В ПАО «НЗХК» поступил запрос на анализ нового продукта – хлорида алюминия (рис. 1), где требовалось определить массовую долю основного вещества – хлора, а также обеспечить правильное хранение полученного порошка и оптимизировать условия взятия навесок с целью контроля качества и обеспечения соответствия стандартам.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для производства хлорида алюминия используют различные сырьевые материалы, и их состав может значительно варьироваться, что способно привести к изменению химических свойств и качеству конечного продукта, поэтому точное определение массовой доли хлора в хлориде алюминия является важным этапом контроля качества и обеспечения надежной работы производственных процессов. Важно отметить, что в существующих методиках часто применяются реагенты, которые стоят дорого и являются высокотоксичными.

Для решения данной задачи были проведены исследования, направленные на разработку методики определения массовой доли хлора в хлориде алюминия с помощью титриметрических методов анализа на основе ртути, в связи с тем, что ртуть образует с хлоридами белый осадок, который имеет характерную кристаллическую решетку и цвет. Кроме того, соли ртути являются стабильными и хорошо растворимыми соединениями в воде, что упрощает ее использование в лабораторных условиях.

Сущность первого метода – меркуриметрического – заключалась в действии раствором азотнокислой ртути (II) в присутствии смешанного индикатора на аликвотную часть раствора, содержащую хлорид-ионы. Избыток ионов ртути (II) образуют со смешанным индикатором в кислой среде ($\text{pH} = 2,5$) окрашенное в фиолетовый цвет комплексное соединение [2].

Меркурометрический метод был основан на взаимодействии малорастворимого соединения азотнокислой ртути (I) с хлорид-ионом в присутствии адсорбционного индикатора – дифенилкарбазона, который в точке эквивалентности окрашивал суспензию в сине-фиолетовый цвет [1].

Для подтверждения избирательности и чувствительности разработанной методики использовались образцы хлоридов натрия и калия с известной массовой долей хлора. Полученные результаты были сопоставлены с теоретическими значениями.

В качестве конечного метода был выбран меркуриметрический, т.к. он имеет ряд преимуществ над меркурометрическим. Во-первых, в качестве приготовления вторичного раствора азотнокислой ртути (II) используется кристаллогидрат $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, а не пары металлической ртути. Во-вторых, в ходе осадительного титрования при использовании в качестве титранта $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ четко виден переход из желтого в сине-фиолетовое окрашивание, а содержание Hg^+ -ионов делает раствор мутным, и, как следствие, происходит перетитрование. И в-третьих, оттитрованный раствор азотнокислой ртути (I) имеет более длительный срок хранения за счет иона Hg^{2+} , который не подвержен окислению.

Вскрытие порошка проводилось в герметичном боксе из нержавеющей стали с поддувкой инертного газа аргона (рис. 2). В этом же боксе осуществлялись процессы взятия навесок и растворение проб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика может быть востребована для многих областей промышленности, таких как производство, фармацевтические продукты, алюминиевые сплавы, красители и т. д. На данный момент методика определения массовой доли хлора в хлориде алюминия меркуриметрическим методом проходит подготовку к внедрению на предприятии.



Рис. 1. Кристаллы хлорида алюминия



Рис. 2. Перчаточный бокс VilitekVBOX CHEM

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.П. Аналитическая химия // Титриметрические и гравиметрические методы анализа – Ч. 1. – С. 370.

2. Глуховская Р.Д., Угольников Н.А., Муравьева З.М. / Меркуриметрический метод определения галогенов в органических соединениях // Известия Томского политехнического института – 1962. – С. 169-172.

ВЛИЯНИЕ КАТИОННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ПОЛНОТУ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ ГАДОЛИНИЯ ИЗ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

М.Н. Смирнов^{1,2}, В.Е. Шаландин¹, Д.А. Перепелкин^{1,2}, К.В. Ротманов^{1,2}, Р.Г. Абдуллоев^{1,2}

¹АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград

²ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград

e-mail: mnsmirnov@niiar.ru

Рассмотрено влияние катионных примесей Ca²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Ni²⁺ и Cr³⁺ в концентрациях от 0,8 мг/л и выше на полноту электрохимического осаждения гадолиния из водно-органического электролита. Показано, что Ca²⁺, Al³⁺, Ni²⁺ и Cr³⁺ в концентрации от 0,8 мг/л и выше и Fe³⁺ в концентрации от 1,6 мг/л и выше снижают выход гадолиния.

The work considers the influence of cationic impurities Ca²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Ni²⁺ and Cr³⁺ in concentrations from 0.8 mg/l and above on yield of electrochemical deposition of gadolinium from a water-organic electrolyte. It has been shown that Ca²⁺, Al³⁺, Ni²⁺ and Cr³⁺ at a concentration of 0.8 mg/l and above and Fe³⁺ at a concentration of 1.6 mg/l and above reduce the yield of gadolinium.

ВВЕДЕНИЕ

В АО «ГНЦ НИИАР» выпускают калифорниевые источники нейтронов для лучевой терапии. Медицинский источник представляет собой стержневой активный сердечник, помещенный в цилиндрическую капсулу из нержавеющей стали. Активный сердечник изготавливают способом электрохимического осаждения калифорния из смеси разбавленной азотной кислоты и изобутилового спирта на платиновую проволоку [1, 2].

Несмотря на то что производство источников данного типа ведется с 1980 года, влияние катионных примесей на процесс электроосаждения калифорния, является малоизученным.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Выбор исследуемых катионных примесей обуславливался особенностями технологического процесса производства калифорния: материалом сердечника мишени служил алюминий, основными компонентами материала оболочки мишени (нержавеющей стали) были железо, никель и хром, а компонентом, определяющим жесткость воды и способным к десорбции из стекла, – кальций. В качестве имитатора калифорния в данной работе использовали гадолиний. Изучено влияние катионов Ca²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, Ni²⁺ и Cr³⁺ на процесс электрохимического осаждения гадолиния из водноорганического электролита. Использовали электрохимическую ячейку, аналогичную применяемой при производстве источников калифорния-252 медицинского назначения. В качестве анода выступал платиновый стакан, охлаждаемый водой, а в качестве катода – платиновая проволока. Время осаждения составляло 80 минут, начальная плотность тока – 200 мА/см², объемное отношение

изобутилового спирта к азотной кислоте концентрацией 0,33 моль/л – 30:1 [3]. Электролиз проводили без перемешивания электролита. После осаждения катод погружали в азотную кислоту концентрацией 4 моль/л. Полноту осаждения гадолиния определяли радиоиндикаторным методом с применением гадолиния-153.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при проведении электроосаждения гадолиния из водноорганического электролита практически все рассмотренные примесные катионы в концентрации 0,8 мг/л и более снизили полноту осаждения целевого продукта: Ca²⁺ – более чем на 35%, Al³⁺ – более чем на 13%, Cr³⁺ – более чем на 26%, Ni²⁺ – более чем на 68%. Катионы Fe³⁺ в концентрации 0,8 мг/л не оказали влияния на полноту осаждения гадолиния, однако при концентрации выше 1,6 мг/л полнота осаждения снизилась более чем на 5%. Предполагается, что аналогичное влияние рассмотренные катионные примеси окажут и на процесс электроосаждения калифорния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evans J.E. et al. The use of electrodeposition methods to prepare actinide targets for cross-section measurements and accelerator bombardments // Nuclear Instruments and Methods. 1972. Vol. 102. Is. 3. P. 389-401.

2. Короткин Ю.С. Получение циклотронных мишеней из трансплутониевых и редкоземельных элементов осаждением из изобутанола / Радиохимия. Т. 16. №3. 1974.

3. Николаев В.М. и др. Технология трансплутониевых элементов / Димитровград: ГНЦ РФ НИИАР. 2000.

ВНЕДРЕНИЕ ВОДОРОДНО-КАЛИЕВОГО ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В РАМКАХ ПРОЕКТА АЭС-2006

А.С. Соколова¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург
e-mail: ASSokolova@atomproekt.com

Цель статьи заключается в анализе возможности внедрения водородно-калиевого водно-химического режима (ВК ВХР) первого контура в проект АЭС-2006 взамен используемого аммиачно-калиевого водно-химического режима (АК ВХР) первого контура. В статье приводятся преимущества и недостатки сравниваемых ВХР первого контура. В результате определено, что внедрение ВК ВХР первого контура возможно и имеет ряд преимуществ, но при этом имеются некоторые отягощения, которые необходимо учитывать на стадии проектирования.

The purpose of the article is to analyze the possibility of introducing a hydrogen-potassium primary circuit water chemistry into the NPP-2006 project instead of the ammonia-potassium primary circuit water chemistry used. The article presents the advantages and disadvantages of the compared primary circuit water chemistry. As a result, it was determined that the introduction of hydrogen-potassium primary circuit water chemistry is possible and has a number of advantages, but at the same time there are some burdens that need to be taken into account at the design stage.

ВВЕДЕНИЕ

Водно-химический режим (ВХР) первого контура является одним из основных факторов, влияющих на надежную и безопасную эксплуатацию АЭС.

В проектах АЭС-2006, а также на всех действующих российских АЭС с реакторами ВВЭР используется аммиачно-калиевый ВХР (АК ВХР) первого контура, отработанный в многолетней практике эксплуатации АЭС с ВВЭР.

Все зарубежные АЭС с реакторами PWR для подавления радиолиза используют технологию прямого дозирования газообразного водорода в теплоноситель первого контура.

В настоящее время применение водородно-калиевого ВХР (ВК ВХР) первого контура заложено в российском проекте ВВЭР-ТОИ, который реализуется на площадке Курской АЭС-2.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Опыт работы АЭС с ВВЭР показывает, что поддержание концентрации водорода в заданных нормах пределах за счет дозирования аммиака имеет определенные технологические сложности, связанные, прежде всего с существованием зависимости между уровнем мощности реактора, текущей концентрацией аммиака в теплоносителе и установившимся ионообменным равновесием на рабочих фильтрах очистки.

Опыт эксплуатации АК ВХР показывает, что наибольшее количество нарушений ВХР приходится на отклонения по сумме щелочных металлов и водороду.

В период пуска реактора катионитная загрузка ионообменных фильтров переводится в смешанную калий-аммиачную форму и между катионами в теплоносителе и на ионите фильтра устанавливается ионообменное равновесие.

Это приводит к тому, что изменение концентрации аммиака оказывает влияние не только на содержание водорода, но и на содержание катионов щелочных металлов (K, Na, Li), находящихся на ионитной загрузке фильтра.

Отклонения по водороду происходят в основном при изменениях мощности энергоблока за счет работы деаэратора, организованных и неорганизованных протечек, сдувок и водообменов, а также в периоды подключения катионитного фильтра в Н-форме с целью корректировки координирующей зависимости по сумме щелочных металлов.

Соответственно, стабильное поддержание ВХР в диапазоне оптимальных параметров при работе энергоблока в маневренных режимах будет являться сложной задачей.

Переход на прямое дозирование газообразного водорода в подпиточную воду обеспечивает следующие преимущества:

- упрощение технологии поддержания и контроля ВХР в периоды пуска и расхолаживания реактора, а также при работе энергоблока в маневренных режимах, что обеспечивает минимизацию коррозионных процессов и снижает уровень загрязненности контура активированными продуктами коррозии;
- отсутствие аммиака позволяет минимизировать состав и габариты оборудования систем поддержания ВХР первого контура;
- снижение объема лабораторного контроля и упрощение работы системы автоматизированного химического контроля параметров ВХР первого контура;
- снижение количества радиоактивных отходов за счет исключения использования аммиака, сокращения потребления гидразин-гидрата и сокращения количества используемых смол в системах очистки теплоносителя первого контура.

Внедрение ВК ВХР в проект АЭС-2006 потребует определенных изменений в части технологических систем поддержания ВХР первого контура, в частности добавление новой системы дозирования газообразного водорода.

Однако переход на ВК ВХР на проектах АЭС-2006 имеет свои риски. В первую очередь это отсутствие опыта эксплуатации данной системы в РФ и, соответ-

ственно, отсутствие референтности, что является немаловажным фактором для зарубежных заказчиков.

Также из-за отсутствия опыта эксплуатации потребуется больше времени на наладку схемы с оборудованием для обеспечения ВК ВХР уже после ввода блока в промышленную эксплуатацию по сравнению с уже отработанной схемой АК ВХР.

Кроме того, дозирование газообразного водорода создает повышенную взрыво- и пожароопасность, что повлечет за собой необходимость обоснования безопасности применения данной технологии при получении лицензии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение ВК ВХР первого контура в проектах АЭС с ВВЭР является актуальной задачей.

Реализация проекта позволит соответствовать требованиям иностранных (европейских) заказчиков в части ВХР, что увеличит конкурентоспособность проектов с реакторами типа ВВЭР на мировом рынке.

За счет снижения дозовых затрат персонала, а также стоимости реагентов и оборудования по сравнению с применением АК ВХР первого контура ВК ВХР может стать более выгодным вариантом ВХР первого контура.

Одним из важнейших преимуществ ВК ВХР перед АК ВХР является упрощение технологии поддержания ВХР первого контура не только в периоды пуска и расхолаживания, но и при маневренных режимах, которые являются одним из основных режимов работы для зарубежных (европейских) проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седов В.М., Нечаев А.Ф., Доильницын В.А. Химическая технология теплоносителей ядерных энергетических установок: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.М. Седова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.
2. Герасимов В.В., Касперович А.И., Мартынова О.И. Водный режим атомных электростанций. М.: Атомиздат, 1976. 400 с.

ОБРАЩЕНИЕ С ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ЖИДКИМИ СРЕДАМИ АЭС «ЭЛЬ-ДАБАА»

К.В. Степанюк¹, Я.В. Решетникова¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург

e-mail: KVStepanyuk@atomproekt.com

Предложен ряд технических решений по обращению с растворами промывки парогенератора. Установлено, что способ нейтрализации сред после смешения со сточными водами других систем и последующим сбросом в акваторию Средиземного моря не является целесообразным в рамках проекта АЭС «Эль-Дабаа».

A number of technical solutions for handling steam generator flushing solutions have been proposed. It has been established that the method of media neutralization after mixing with wastewater from other systems and subsequent discharge into the Mediterranean Sea is not expedient in the framework of the El-Dabaa NPP project.

ВВЕДЕНИЕ

Сооружаемая в Арабской Республике Египет АЭС «Эль-Дабаа» является первой атомной электростанцией на территории страны и включает 4 энергоблока с реакторами ВВЭР-1200.

В соответствии с проектом на площадке станции предусмотрено отведение очищенных сточных хозяйственно-бытовых и производственно-ливневых вод после их смешения с концентратами обратноосмотических установок в акваторию Средиземного моря. В проекте заявлено, что расчетные концентрации в сбросных водах по основным показателям не превышают установленных природоохранным законодательством Арабской Республики Египет нормативов для сточных вод, отводимых в окружающую среду.

Однако такой подход к обращению с промышленными стоками, содержащими химические реагенты, не является универсальным. Для рабочей среды системы промывки парогенератора и для раствора бака запаса химических реагентов спринклерной системы защитной оболочки необходимо предусмотреть иной метод обращения. Отметим, что на референтных для АЭС «Эль-Дабаа» проектах производится сбор упомя-

нутых выше сред в автоцистерны с дальнейшим вывозом за пределы площадки станции на специализированные предприятия по обращению с химическими отходами. В настоящее время вблизи производственной площадки АЭС «Эль-Дабаа» подобных предприятий не существует.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Возможное разбавление отводимых сред с хозяйственно-бытовыми и производственно-ливневыми стоками не обеспечит значений, позволяющих направлять объединенные стоки напрямую в гидросферу.

Промывка парогенераторов, согласно требованиям Главного конструктора АО ОКБ «Гидропресс», должна проводиться при достижении удельной загрязненности теплообменных труб парогенератора 100 г/м². С учетом опыта эксплуатации энергоблоков с реакторами ВВЭР, включая референтный блок ЛАЭС-2, при принятом во втором контуре аммиачно-этаноламиновом водно-химическом режиме первая промывка может понадобиться не ранее чем через четыре года после ввода энергоблока в эксплуатацию. В соответствии с проектом системы промывки парогенератора

нератора объем промывочного раствора для каждого парогенератора на одну промывку составляет 120 м³. С учетом существования двух возможных сценариев дальнейшего обращения с отработанным раствором промывки парогенератора – отведением в систему переработки трапных вод станции в качестве радиоактивной среды или ее вывода из-под радиационного контроля – представляется необходимым и целесообразным предусмотреть методы обращения с отработанным нерадиоактивным раствором промывки парогенератора ввиду необходимости соблюдения природоохранного законодательства, большого объема среды, подлежащей обработке, и с целью возврата ценных компонентов в технологический цикл процесса промывки парогенератора.

Авторами [1] был разработан и предложен способ регенерации этилендиаминтетрауксусной (ЭДТК) кислоты из отработанного промывочного раствора парогенераторов, основанный на одноступенчатом осаждении ЭДТК в чистом виде без примесей из подкисленного промывочного раствора в присутствии гидразина в инертной атмосфере азота. Было установлено, что данный метод регенерации позволяет получить в виде товарного продукта 83% ЭДТК от исходного количества ее в растворе.

Удаление раствора объемом 1,8 м³ из бака запаса химических реагентов спринклерной системы защитной оболочки необходимо для полного опорожнения бака в периоды осмотра и ремонта. Разумно, по нашему мнению, при обращении с концентрированными средами придерживаться подхода разделения стоков по группам компонентов, входящих в их состав, объединенных по близким физико-химическим свойствам, по степени экологической опасности и с учетом методов, пригодных для их извлечения или долговременной изоляции тех или иных компонентов. Необходимо отметить, что для сред АЭС с высоким содержанием борной кислоты неоднократно были предложены высокоэффективные методы обращения [2,3], позволяющие извлекать и возвращать борную кислоту в производственный цикл станции.

В качестве альтернативного варианта промежуточного обращения для растворов промывки парогенератора можно рассмотреть перекачивание и размещение

концентрированных сред в прудах-испарителях при условии, что отводимые среды выведены из-под радиационного контроля. Очевидно, данный способ не является конечным решением и требует дальнейшего поиска более адаптированных к природоохранному законодательству вариантов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксплуатации АЭС кроме сточных вод образуются высококонцентрированные растворы от химической промывки парогенераторов и из баков запаса химических реагентов для спринклерной системы. Сброс этих растворов в окружающую среду приведет к значительным экологическим последствиям ввиду высоких концентраций содержащихся в них реагентов.

Учитывая принятые для референтной станции ЛАЭС-2 технические решения по сбору и вывозу упомянутых выше сред за пределы площадки станции на специализированные предприятия, для АЭС «Эль-Дабба» вблизи площадки станции могут быть предусмотрены комплексы с использованием предложенных подходов по обращению с высококонцентрированными стоками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. RU 2213064 С1 Российская Федерация, МПК C02F1/58. Способ регенерации этилендиаминтетрауксусной кислоты из отработанного промывочного раствора парогенераторов электростанций / Иванов В.Н., Ермолаев Н.П., Смыков В.Б.; патентообладатели: Иванов В.Н., Ермолаев Н.П., Смыков В.Б.; заявл. 26.02.2002; опубл. 27.09.2003 // URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 08.05.2023).
2. Чугунов А.С., Нечаев А.Ф. Особенности проблемы «обезвреживания» радиоактивных концентратов атомных электростанций и пути ее решения // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2010. – С. 32-38.
3. Чугунов А.С., Винницкий В.А. Локальные системы для реализации концепции организации отдельного сбора и переработки жидких радиоактивных сред АЭС с ВВЭР // Радиоактивные отходы №4 (17). – 2021. – С.44-56.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ НАРАБОТКИ РАДИОНУКЛИДОВ

М.В. Стешина¹, Н.В. Сотник¹, М.А. Бирюкова¹, С.В. Леденева¹, Е.А. Демченко¹

¹ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск
e-mail: nvsotnik@po-mayak.ru

В соответствии с проводимыми ранее технологическими процессами оборудование и коммуникации, используемые для получения цезия, могут быть загрязнены органическими веществами. Контроль отмывки оборудования включает качественное и количественное определение органических примесей в технологических растворах, что позволит подобрать оптимальный способ их деструкции и, следовательно, повысить качество конечного продукта.

According to previous technological processes, equipment and communications used for cesium production may be contaminated with organic substances. Equipment cleaning control includes qualitative and quantitative determination of organic impurities in technological solutions, which will allow to choose the optimal method for their destruction and, consequently, to improve the quality of the final product.

ВВЕДЕНИЕ

При получении препарата цезия с низкой удельной активностью было установлено наличие в технологическом оборудовании органических веществ: трибутилфосфата (ТБФ), парафинов, преимущественно фракции С13, неионогенных поверхностно-активных веществ ОП-10 (НПАВ), нитробензотрифторида Ф-3, продуктов деструкции анионита.

В настоящее время для контроля содержания органических примесей в технологических растворах после отмывки оборудования применяется метод перманганатного титрования. Однако полученные с его помощью результаты не могут достоверно свидетельствовать о наличии или отсутствии органических веществ в контролируемых растворах, так как в реакции окисления могут участвовать не только органические примеси, но и ионы металлов. Кроме того, продукты разложения органических соединений, особенно длинноцепочечных, могут сорбироваться на стенках и в застойных зонах установки, что может препятствовать их смыванию и дальнейшему определению.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для контроля общего содержания органических соединений в технологических растворах рекомендован ИК-спектрометрический метод, основанный на экстракции углеводов в четыреххлористый углерод и последующем измерении оптической плотности экстракта [1]. Данный метод позволяет более надежно, чем химический анализ, определять функциональные группы, особенно когда требуется провести качественный и количественный анализ. В связи с тем, что каждый углеводород имеет определенные полосы поглощения в ИК-спектре, метод удобен при исследовании индивидуальных соединений.

Для количественного определения ТБФ разработана методика измерений массовой концентрации трибутилового эфира фосфорной кислоты фотометрическим методом [2]. Метод основан на экстракции ТБФ из анализируемого раствора в бензол или четыреххлористый углерод, последующим насыщением органической фазы уранил-ионами и реэкстракции урана в буферный раствор. Массу урана определяют по градуировочной характеристике по окрашенному внутрикомплексному соединению шестивалентного урана с арсеназо III в присутствии трилона Б. По массе урана в реэкстракте определяют массовую концентрацию ТБФ в анализируемом растворе.

Методика измерений массовой концентрации парафина в технологических растворах после отмывки оборудования заключается в экстракции парафина из раствора в четыреххлористый углерод. Измерение выполняют методом газожидкостной хроматографии,

основанным на разделении компонентов экстракта в хроматографической колонке, их детектировании на выходе из колонки с использованием пламенно-ионизационного детектора и регистрации аналитических сигналов (площадей хроматографических пиков). Массовую концентрацию парафина в экстракте определяют по предварительно установленной градуировочной характеристике. Диапазон измеряемых массовых концентраций парафина в растворах составляет от 0,05 до 0,2 г/дм³; при превышении верхней границы диапазона измерений допускается десятикратное разбавление исследуемого раствора.

Измерение массовой концентрации НПАВ, в соответствии с разработанной инструкцией, осуществляется в диапазоне $(0,5-6) \times 10^2$ мг/дм³. Высокая чувствительность количественного анализа содержания НПАВ достигается использованием фотометрического метода анализа. Измерение массовой концентрации НПАВ основано на образовании окрашенного комплекса при последовательном добавлении к ацетатно-аммиачному буферному раствору водноацетонного раствора хромазуrola S, раствора соли железа (III) и анализируемой пробы, содержащей НПАВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, определив состав органических примесей с использованием указанных методик, подбирают оптимальный способ их разложения, что позволит обеспечить высокое качество отмывки технологического оборудования, снизить необходимость очистки целевого компонента, и, следовательно, повысить удельную активность конечного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефтепродукты. Методика измерений массовой концентрации в водных средах инфракрасно-спектрометрическим методом [текст]: И.ЦЗЛ.МИ.066-2016; исполн.: Бирюкова М.А. – Озерск 2016. – С. 17.
2. Технологические растворы. Методика измерений массовой концентрации трибутилового эфира фосфорной кислоты с арсеназо-фотометрическим методом [Текст]: И.ЦЗЛ.МИ.465-2022; исполн.: Бирюкова М.А. – Озерск 2022. – С. 17.
3. Парафин нефтяной жидкий, фракция С13. Методика измерений массовой концентрации в водных растворах газохроматографическим методом [Текст]: И.ЦЗЛ.МИ.441-2023; исполн.: Сотник Н.В. – Озерск 2023. – С. 20.
4. Неионогенные поверхностно-активные вещества. Методика измерений массовой концентрации с хромазуrolом S фотометрическим методом [текст]: И.ЦЗЛ.МИ.279-2020; исполн.: Леденева С.В. – Озерск, 2020. – С. 16.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЖИДКОСЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПА ПЛУТОНИЯ-241 В МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ

А.А. Сычева¹

¹АО «СХК», г. Северск

e-mail: anasycheva@rosatom.ru

Необходимость оптимизации процесса оперативного контроля содержания плутония-241 в пробах производственных продуктов является важной задачей радиохимической промышленности.

Need of optimization of process of operating control of content of plutonium – 241 in tests of production products is an important task of the radiochemical industry.

ВВЕДЕНИЕ

В работе проводилось исследование возможности применения жидкосцинтилляционного спектрометрического (ЖСС) комплекса для измерения активности радионуклида плутония на модельных растворах.

Актуальность работы обусловлена необходимостью оптимизации процесса оперативного контроля содержания плутония-241 в пробах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Возможностью фиксации бета-излучения с высокой эффективностью регистрации, способностью раздельной регистрации δ - и α -излучения, а также определением изотопного состава бета-излучателей обладает метод жидкосцинтилляционной спектрометрии.

Наличие значительного количества плутония-241 (β -излучатель, $T_{1/2} = 14,35$ лет) приводит к повышению содержания америция-241 ($T_{1/2} = 432$ года). Чем дольше отработавшее ядерное топливо ожидает переработки, тем больше изотопа распадается на америций-241, который не делится (кроме реактора на быстрых нейтронах) и представляет опасность как ядерные отходы и вследствие своей более значительной геохимической подвижности предполагает еще большую радиологическую опасность.

Бета-спектрометрия упрощает радиохимические исследования. Наиболее распространенные методы расшифровки бета-спектров основаны на использовании метода наименьших квадратов (МНК). Для реализации данного метода необходимо располагать библиотекой эталонных радионуклидов, которые предположительно находятся в счетном образце. Суть метода состоит в построении из эталонных спектров суммарного модельного спектра, максимально близкого по форме к измеренному спектру.

В качестве объекта исследования использовалась модельная смесь плутония-241 и радиоактивный рабочий раствор плутония-239, который используется в качестве «метки», приготовленной по методике, регламентирующей процедуру приготовления модельной смеси плутония-241 и рабочего раствора плутония-239 (РР), который используется для контроля полноты выделения бета-активного радионуклида плутония. Выход плутония-241 определяют с учетом выхода плутония-239, добав-

ляемого к анализируемому раствору на стадии подготовки пробы.

Модельная смесь – раствор радионуклида плутония-241 в растворе азотной кислоты с молярной концентрацией 2 моль/дм³.

Измерения проводились для смесей с разной активностью вносимого плутония-241: 1 Бк; 3 Бк; 4,5 Бк.

С точки зрения подготовки пробы метод ЖСС не требует больших временных затрат и большого количества операций. Основным требованием любой методики подготовки пробы для ЖСС является гомогенность (растворимость) образца и возможность смешивания его со сцинтилляционным коктейлем. Жидкие образцы можно добавлять непосредственно в коктейль. В некоторые пробы был добавлен радиоактивный раствор плутония-239 в качестве реперного нуклида. Перед измерением на ЖС-спектрометре модельная смесь в каждой пробе предварительно взвешивалась для уточнения внесенной активности.

Активности проб рассчитывались методом ЖСС с учетом фона и без его учета, с внесением в библиотеку Pu-239 и его отсутствием, с интервалом измерения от 30 до 60 минут.

Погрешность измеренной активности от реально внесенной получилась менее 5% для всех проб. Наиболее точные измерения получились для проб с добавлением реперного нуклида и измерения без фона.

Важный фактор, который может влиять на результат, это затенение пробы. Так, при затенении пробы в течение 5-10 минут скорость измерения составила 1,43 имп/с, 1 часа – 0,52 имп/с, 3 часов – 0,5 имп/с. Это значит, что если затенение было недостаточным, то ультрафиолетовое излучение может влиять на увеличение числа импульсов в единицу времени. Завышенные значения ²³⁹Pu может получиться из-за наличия альфа-излучения ²⁴¹Pu. В низкоактивных пробах затенение играет важную роль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение бета-активности радионуклида плутония-241 возможно на модельных смесях, при условии, что будут исключены дополнительные источники погрешности. Для этого необходимо увеличить время затенения и измерения пробы, а также принять меры по минимизации загрязнений другими излучателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков А.И., Каширин И.А., Малиновский С.В., Соболев А.И., Тихомиров В.А. Жидкосцинтилляционная β-α-спектрометрия // Атомная энергия. – 2002. – Том 92, вып. 1. С. 68 - 75.

2. Belanov S.V., Kashirin I.A., Malinovsky S.V., et al. Method for identifying radionuclide's in probes using aliquidscintillation sensor. PCT № 94/30185.

ВЛИЯНИЕ ХЛОРИД-ИОНА НА ОБРАЗОВАНИЕ «2+1» ТРИКАРБОНИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНЕЦИЯ-99,99m

М.Ю. Тюпина^{1,2}, А.Е. Мирославов^{1,2,3}, Г.В. Сидоренко¹, А.П. Сахоненкова^{1,2,3}

¹АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург

²Озерский технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ, г. Озерск

³Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург

e-mail: mtupina@mail.ru

Синтезированы «2+1» трикарбонильные комплексы технеция с дииминовыми бидентатными лигандами и 2-этилизоцианоацетатом. Комплексы выделены в индивидуальном виде и охарактеризованы методами люминесценции, ИК, УФ-видимой, ¹H ЯМР спектроскопии и элементного анализа. Методом рентгеноструктурного анализа определены составы и структуры полученных комплексов. Для оценки влияния хлорид-ионов на образование «2+1» комплексов изучена кинетика замещения лабильного монодентатного лиганда X в комплексе [Tc(CO)₃(N[^]N)X]ⁿ⁺ (N[^]N = bipy, phen; X = H₂O/EtOH, n = 1; X = Cl⁻, n = 0) на CNCH₂COOEt.

In this paper, we consider «2+1» technetium tricarbonyl complexes with a combination of diiminebidentate ligands and 2-ethylisocyano acetate. The complexes were isolated and characterized by PL, IR, UV-Vis and ¹H NMR spectroscopy and elemental analysis. The composition and molecular structure of these complexes were determined by SCXRD. To evaluate the interfering effect of chloride ions on the formation of the «2+1» complexes, the kinetics of the replacement of labile monodentate ligand X in the complexes [Tc(CO)₃(N[^]N)X]ⁿ⁺ (N[^]N = bipy, phen; X = H₂O/EtOH, n = 1; X = Cl⁻, n = 0) by CNCH₂COOEt were compared.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных изотопов, используемых в ядерной медицине, является технеций-99m. Наиболее активные научные исследования при разработке новых радиофармпрепаратов (РФП) с технецием и его аналогом рением ведутся в области трикарбонильных комплексов [1]. Возможность широкого применения в [Tc(CO)₃]⁺ ядра стало доступным в 1998 году благодаря разработке эффективной процедуры синтеза [^{99m}Tc(CO)₃(H₂O)₃] [2,3]. Традиционно для введения технециевой метки в биомолекулу используются тридентатные координационные узлы, замещающие три лабильных аквалиганда в [^{99m}Tc(CO)₃(H₂O)₃]⁺.

Более гибким является подход «2+1», в рамках которого используется комбинация би- и монодентатного лигандов. Для реализации этого подхода в нашей работе использовали этилизоцианацетат в качестве монодентатного лиганда, который имеет благоприятное сочетание σ-донорных и π-акцепторных свойств, хорошую кинетику комплексообразования и универсальность связывания с биомолекулами. Попыток синтеза комплексов с лигандами дииминового типа

и изонитрилов с ядром Tc(CO)₃⁺, используя подход «2+1», практически не предпринималось. Процесс синтеза является двухстадийным: сначала комплексообразование с би-, затем монодентатным лигандом. Введение монодентатного лиганда на второй стадии может быть затруднено из-за ионов Cl⁻, неизбежно присутствующих в элюате технециевого генератора, а также в физрастворе. Целью работы является оценка степени, с которой хлорид-ионы мешают образованию дииминизонитрильных «2+1» комплексов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для решения этого вопроса нами синтезированы, выделены и охарактеризованы промежуточные «2+1» трикарбонильные хлоридные и перхлоратные комплексы технеция (I) с лигандами дииминового типа (2,2'-бипиридин, 1,10-фенантролин), которые были охарактеризованы методами инфракрасной, ультрафиолетовой, ¹H ядерного магнитного резонанса спектроскопиями и рентгеноструктурного анализа [4].

Для полученных комплексов изучили кинетику замещения сильных хлоридных и лабильных перхлоратных лигандов на 2-этилизоцианоацетат (рис. 1). Были рассчитаны константы скорости данной реакции (k) для четырех температур (303, 313, 320 и 328 K) (табл. 1).

Исходя из линейной формы уравнения Эйринга и уравнения Аррениуса, были рассчитаны энтропия и энтальпия активации, энергия активации (табл. 2).

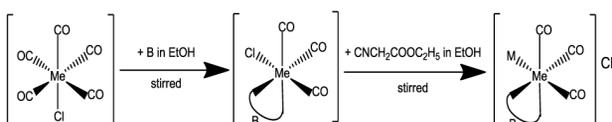


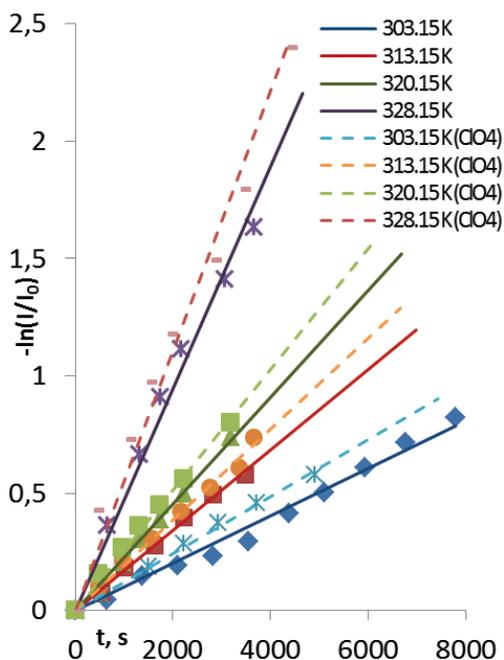
Рис. 1. Схема синтеза «2+1» трикарбонильных хлоридных комплексов технеция (I)

Таблица 1. Константы скорости реакции $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{H}_2\text{O}, \text{EtOH})]\text{ClO}_4$ и $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{N}^{\wedge}\text{N})\text{Cl}]$ с $\text{CNCH}_2\text{COOEt}$ в EtOH

T, K	303,15	313,15	320,15	328,15
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{bipy})\text{Cl}]$	$(1,01 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(2,18 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(2,28 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	$(3,31 \pm 0,28) \cdot 10^{-4}$
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{bipy})(\text{H}_2\text{O}, \text{EtOH})]\text{ClO}_4$	$(1,22 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	$(2,18 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(2,57 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	$(5,54 \pm 0,12) \cdot 10^{-4}$
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{phen})\text{Cl}]$	$(1,13 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(1,98 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(2,82 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	$(3,68 \pm 0,28) \cdot 10^{-4}$
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{phen})(\text{H}_2\text{O}, \text{EtOH})]\text{ClO}_4$	$(3,27 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	$(5,39 \pm 0,09) \cdot 10^{-4}$	$(10,22 \pm 0,15) \cdot 10^{-4}$	$(12,74 \pm 0,14) \cdot 10^{-4}$

Таблица 2. Рассчитанные значения энергии активации, энтропии и энтальпии активации

	E_a , кДж/моль	ΔS^\ddagger , Дж/моль·К	ΔH^\ddagger , Дж/моль
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{bipy})\text{Cl}] + \text{CNCH}_2\text{COOEt}$	$37,4 \pm 2,8$	73 ± 5	86 ± 6
$[\text{Re}(\text{CO})_3(\text{bipy})\text{Cl}] + \text{CNCH}_2\text{COOEt}$	$36,8 \pm 2,3$	71 ± 4	85 ± 5
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{bipy})(\text{H}_2\text{O}, \text{EtOH})]\text{ClO}_4 + \text{CNCH}_2\text{COOEt}$	$47,3 \pm 2,5$	40 ± 2	109 ± 6
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{phen})\text{Cl}] + \text{CNCH}_2\text{COOEt}$	$39,6 \pm 0,3$	66 ± 1	91 ± 7
$[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{phen})(\text{H}_2\text{O}, \text{EtOH})]\text{ClO}_4 + \text{CNCH}_2\text{COOEt}$	$47,5 \pm 1,4$	31 ± 1	109 ± 8


 Рис. 1. Полулогарифмические анаморфозы кинетических кривых реакций взаимодействия $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{bipy})\text{Cl}]$ и $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{bipy})(\text{H}_2\text{O}, \text{EtOH})]\text{ClO}_4$ с $\text{CNCH}_2\text{COOEt}$ в этаноле при четырех температурах

Конечные продукты реакций были выделены в индивидуальном виде.

Для оценки кажущегося порядка реакции замещения сильных и лабильных групп по входящему лиганду проводили опыты при фиксированной концентрации субстрата и различных концентрациях входящего лиганда. Полученные результаты показывают, что кажущийся порядок реакции по входящему лиганду несколько ниже единицы.

Было изучено влияние хлорид-ионов на образование комплексов с технецием-99m. Установили, что при использовании «2+1» подхода для разработки технециевых РФП в присутствии ионов Cl^- минималь-

ная концентрация монодентантного лиганда, необходимая для полного связывания, составляет 10^{-3} M, а при отсутствии хлорид-ионов – 10^{-4} M. В этом случае хлорид-ионы оказывают влияние, но незначительное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наших кинетических исследований показали, что хлорид-ионы практически не мешают образованию «2+1» комплексов с моделью жирной кислоты для технеция, а значения констант скоростей для лабильных и сильных заместителей говорят о сопоставимости данных значений. Влияние температуры на процесс в данных реакциях оказалось незначительным. Значение константы скорости реакции для технециевого комплекса с лабильным лигандом говорит о том, что синтез можно провести не более чем за 1 час при температуре около 60–70 °C.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22-13-00057.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roger A. Organometallic Chemistry of Drugs Based on Technetium and Rhenium // Comprehensive Organometallic Chemistry IV. – 2022 – С. 226–260.
2. R. Alberto, R. Schibli, A. Egli, A.P. Schubiger A Novel Organometallic Aqua Complex of Technetium for the Labeling of Biomolecules: Synthesis of $[\text{99mTc}(\text{OH})_2(\text{CO})_3]^+$ from $[\text{99mTcO}_4]^-$ in Aqueous Solution and Its Reaction with a Bifunctional Ligand // J. Am. Chem. Soc. – 1998. – С. 7987–7988.
3. R. Alberto, K. Ortner, N. Wheatley, R. Schibli, A.P. Schubiger Synthesis and Properties of Boranocarbonate: A Convenient in Situ CO Source for the Aqueous Preparation of $[\text{99mTc}(\text{OH})_2(\text{CO})_3]^+$ // J. Am. Chem. Soc. – 2001. – С. 3135–3136.
4. Miroslavov A.E., Sidorenko G.V., Tyupina M.Yu., V. V. Gurzhi $[\text{Re}(\text{CO})_3(\text{bipy})(\text{ClO}_4)]$: Synthesis in a Proton-Donor Solvent, Crystal, and Molecular Structure // Russian Journal of General Chemistry. – 2020. – С. 2333–2337.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СУПЕРДУПЛЕКСНЫХ СТАЛЕЙ
ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ**

К.Н. Уткина¹

¹АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва
e-mail: knutkina@cniitmash.com

Отражены результаты разработки технологий изготовления металлургических заготовок из супердуплексных сталей (СДС), освоения их производства отечественными предприятиями и перспектива применения таких сталей для комплексов атомных энергетических установок (АЭУ). Обоснована технологическая эффективность применения электрошлакового переплава (ЭШП) с целью обеспечения структурной однородности слитков.

The results of the development of technologies for the manufacture of metallurgical blanks from super duplex steels (SDS), the development of their production by domestic enterprises and the prospects for the use of such steels for complexes of nuclear power plants (NPP) are reflected. The technological efficiency of using electroslag remelting (ESR) for the purpose of structural homogeneity of ingots is substantiated.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение ресурса и надежности металлоизделий для энергетики, машиностроения, нефтехимии, судостроения и других ключевых отраслей промышленности опирается на повышение свойств химической, физической и структурной однородности металла, что, в свою очередь, достигается при использовании нового эффективного оборудования и современных технологий. Одна из таких технологий – последовательное наплавление слитка методом ЭШП, который сегодня рассматривается как инструмент повышения качества металла и конкурентоспособности продукции на мировом рынке.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Супердуплексные стали успешно зарекомендовали себя в качестве конструкционного материала, сочетающего в себе прочность, пластичность и сопротивляемость различным видам коррозии. Уникальный комплекс свойств достигается за счет баланса аустенито- и феррито-образующих элементов и формирующейся при закалке из состояния твердого раствора мелкодисперсной двухфазной структуры, в которой отсутствуют сигма-фаза, нитриды хрома и другие нежелательные вторичные фазы.

В АО «НПО «ЦНИИТМАШ» разработаны коррозионностойкая СДС 03X23H6M4ДЗАБ-Ш (рис. 1) и технология получения заготовок из нее, рекомендованных

для оборудования газовых месторождений с высоким содержанием H₂S и CO₂ [1].

Малая глубина металлической ванны ЭШП обеспечивает высокий градиент температуры в двухфазной области (ДФО), что способствует повышению химической однородности по высоте наплавленного слитка (рис. 2).

Сужение ДФО, оказывающее благоприятное воздействие для формирования структуры слитка в условиях физической однородности, достигается за счет применения тока пониженной частоты при ЭШП.

Несмотря на многочисленные преимущества и перспективность СДС, их применение российскими машиностроительными предприятиями ограничено [2]. В то же время анализ возможностей отечественных изготовителей демонстрирует техническую готовность к производству изделий из СДС. При участии АО «НПО «ЦНИИТМАШ» на ряде производств реализованы технологии выплавки сталей UNS S32750 (1.4410) и 03X23H6M4ДЗАБ-Ш, в т. ч. с применением ЭШП, горячей деформации на прессах, молотах

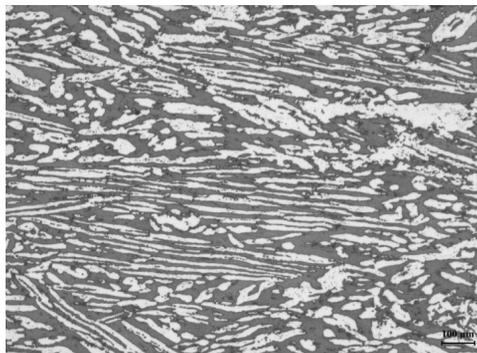


Рис. 1. Структура 03X23H6M4ДЗАБ-Ш

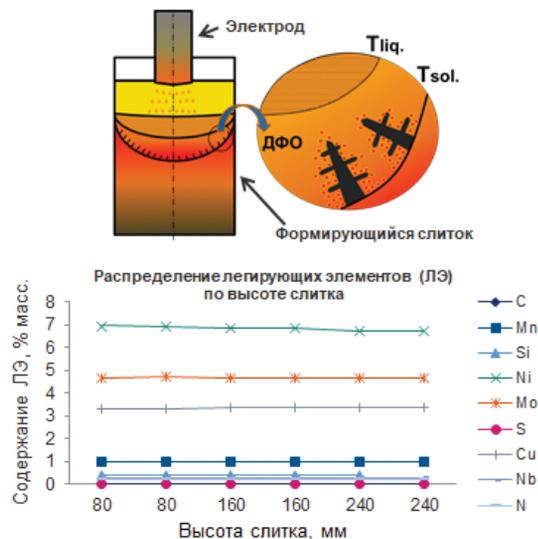


Рис. 2. Обеспечение химической однородности при ЭШП

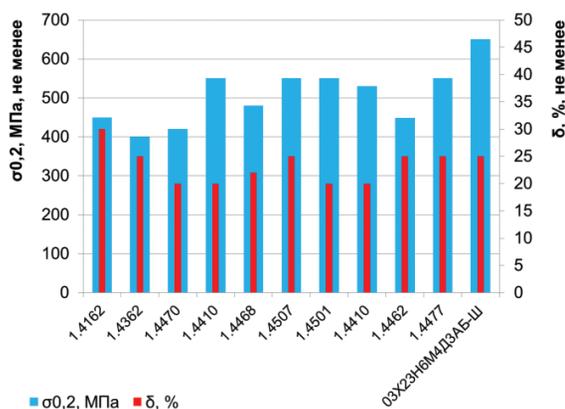


Рис. 3. Механические характеристики супердуплексных сталей

и радиально-ковочных машинах, схемы получения продукции из СДС с использованием фасонного литья, сварки, горячего изостатического прессования порошков. Представленные на рисунке 3 сведения о механических свойствах СДС, наряду с высокими численными значениями эквивалента стойкости против питтинговой коррозии ($PREN \geq 42$), критической температуры питтингообразования и щелевой коррозии 90 °C и 64 °C соответственно [3], демонстрируют хорошую перспективу использования указанных СДС для оборудования, работающего в морской воде: теплообменники, опреснительные установки, фильтры, водозаборное оборудование.

С учетом реализации проектов по строительству АЭС с охлаждением опресненной морской водой освоение технологии производства заготовок СДС и обеспечение российскими комплектующими приобретает особую стратегическую важность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеющийся научно-практический задел служит основанием для выполнения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, ориентированных на применение супердуплексных сталей в изделиях, подверженных высоким механическим нагрузкам в контакте с морской водой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левков Л.Я., Уткина К.Н., Шурыгин Д.А., Баликов А.Г., Ефимов В.М., Калугин Д.А., Марков С.И., Орлов С.В., Толстых Д.С. Дуплексная нержавеющая сталь для производства запорной и регулирующей арматуры // Патент на изобретение RU 2693718 С2.
2. Волкова А.В. Рынок нержавеющей металлопродукции – 2021 // Центр развития, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 76 с., URL: <https://dcenter.hse.ru> (дата обращения: 18.04.2023 г.).
3. Зубченко А.С., Шарый Н.В., Рабинович В.П. Коррозионно-стойкая в морской воде аустенитно-ферритная сталь SAF 2507 (X2CrNiMoN 2574) // Вопросы атомной науки и техники, выпуск 34, 2014 г., с. 18-24.

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ КАРБОНИЛДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНЕЦИЯ (I) С ТРИФЕНИЛФОСФИНОМ

А.Р. Хохлова^{1,2,3}, А.Е. Мирославов^{1,2,3}, В.В. Гуржий², Г.В. Сидоренко¹, А.П. Сахоненкова^{1,2,3}, М.Ю. Тюпина^{1,2,3}
¹Радиевый институт имени В.Г. Хлопина, г. Санкт-Петербург
²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
³Озерский технологический институт – филиал НИЯУ МИФИ, г. Озерск
 e-mail: khokhlovaar@khlopin.rukhokhlovaar@gmail.com

Изучено комплексообразование трикарбонильного комплекса технеция (I) с системой трифенилфосфин – ацетилацетон. Подобран оптимальный метод введения ацетилацетона в координационную сферу одновалентного технеция. Получены и охарактеризованы методами ИК-спектроскопии, ВЭЖХ, рентгеноструктурного и элементного анализа следующие соединения: $[Tc(CO)_3(acac)(MeOH)]$, $[Tc(CO)_3(acac)(PPh_3)]$, $cis-trans-[Tc(CO)_2(acac)(PPh_3)_2]$. Установлено, что введение акцепторного лиганда приводит к замещению карбонильного лиганда на PPh_3 , что осложняет процесс связывания $[Tc(CO)_3(H_2O)_3]^+$ в «2+1» комплекс. Увеличение концентрации монодентатного лиганда вдвое приводит к образованию $cis-trans-[Tc(CO)_2(acac)(PPh_3)_2]$, которое переходит в «2+1» комплекс при реакции с CO в течение 4 дней.

The complexation of the technetium (I) tricarbonyl complex with the triphenylphosphine–acetylaceton system has been studied. The optimal method of introducing acetylaceton into the coordination sphere of monovalent technetium has been selected. The following compounds were obtained and characterized by IR spectroscopy, HPLC, X-ray diffraction and elemental analysis: $[Tc(CO)_3(acac)(MeOH)]$, $[Tc(CO)_3(acac)(PPh_3)]$, $cis-trans-[Tc(CO)_2(acac)(PPh_3)_2]$. It was found that the introduction of a π-acceptor ligand leads to the substitution of a carbonyl ligand for PPh_3 , which complicates formation of the [2+1] complex from $[Tc(CO)_3(H_2O)_3]^+$. We found that at a two fold excess of the monodentate ligand diphosphine complex $cis-trans-[Tc(CO)_2(acac)(PPh_3)_2]$ is formed. At an elevated pressure of carbon monoxide the diphosphine complex is converted into the monophosphine complex within 4 days.

ВВЕДЕНИЕ

Для введения технециевой метки в биомолекулу особое внимание уделяется трикарбонильным комплексам технеция $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{H}_2\text{O})_3]^+$, которые содержат три лабильные аквагруппы. Введение технециевой метки основано на замещении лабильных групп либо тридентатным лигандом, либо комбинацией из моно- и бидентатного лигандов, так называемый «2+1» подход. Преимущества «2+1» подхода, по сравнению с использованием тридентатного лиганда, заключаются в достаточно простом синтезе и возможности варьирования свойства образующегося биоконъюгата, в том числе липофильность. Несмотря на большое количество исследований по подбору перспективной пары, поиск оптимальной пары остается актуальной задачей. Большинство работ в этой области выполнено с рением и по умолчанию их результаты перенесены на технеций [1]. Поэтому изучение образования «2+1» комплексов технеция является актуальной задачей. На основе литературных данных для изучения комплексообразования трикарбонильного фрагмента $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{H}_2\text{O})_3]^+$ в качестве моно- и бидентатного лигандов была выбрана система трифенилфосфин (PPh_3) – ацетилацетон (асас). Данная система хорошо зарекомендовала себя для введения рениевой метки в биомолекулу, однако не была изучена для технеция.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Синтез «2+1» комплексов состоит из двух этапов: на первом этапе вводится бидентатный лиганд, а на втором – монодентатный. Мы установили, что $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{H}_2\text{O})_3]^+$ не реагирует с молекулярным ацетилацетоном и для синтеза $[\text{Tc}(\text{асас})(\text{CO})_3(\text{MeOH})]$ была выбрана процедура, включающая промежуточное образование тетракарбонильного комплекса $[\text{Tc}(\text{CO})_4(\text{асас})]$ [2], который реагировал при нагревании со спиртом с образованием целевого продукта $[\text{Tc}(\text{асас})(\text{CO})_3(\text{MeOH})]$ (рис. 1).

Следующий этап – введение монодентатного лиганда. Данный синтез проводили по двум методам при комнатной температуре и эквимольном соотношении реагентов (рис. 2А): PPh_3 добавляли к либо к метанольному раствору $[\text{Tc}(\text{асас})(\text{CO})_3(\text{MeOH})]$, либо к раствору $[\text{Tc}(\text{асас})(\text{CO})_4]$ в четыреххлористом углеороде. Реакционную смесь перемешивали на магнитной мешалке 2 часа при комнатной температуре. В ИК-спектрах поглощения продуктов реакции наблюдаются три пика, характерных для «2+1» комплекса [1], а также дополнительный пик.

Наличие дополнительного пика $1855,5 \text{ см}^{-1}$ говорит об образовании дополнительного продукта (рис. 2Б), помимо «2+1» комплекса. Для выяснения природы этого продукта была увеличена концентрация монодентатного лиганда в 2 раза. Синтез проводился также по двум методикам (рис. 3А) при кипячении с обратным холодильником.

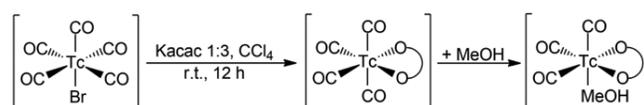


Рис. 1. Схема синтеза $[\text{Tc}(\text{CO})_4(\text{асас})]$, $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{асас})(\text{MeOH})]$

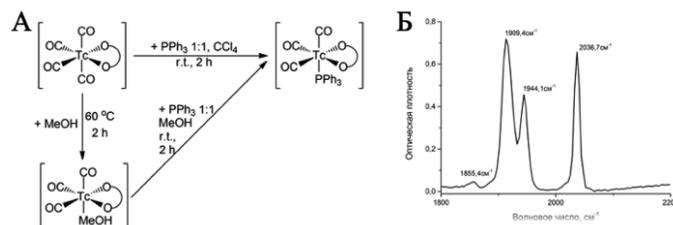


Рис. 2 А) Схема синтеза $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{асас})(\text{PPh}_3)]$; Б) ИК-спектр поглощения $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{асас})(\text{PPh}_3)]$

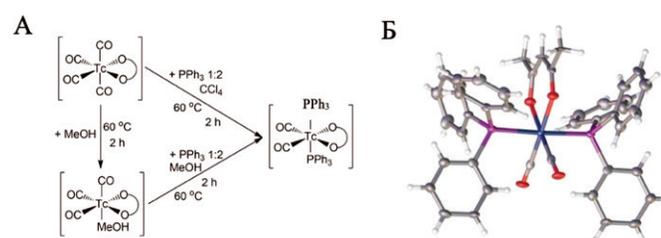


Рис.3 А) Схема синтеза $[\text{Tc}(\text{CO})_3(\text{асас})(\text{PPh}_3)_2]$; Б) Структура кристалла $\text{cis-trans-}[\text{Tc}(\text{асас})(\text{PPh}_3)_2(\text{CO})_2]$

Продукт реакции был выделен и characterized методами ИК-спектроскопии элементного анализа и рентгеноструктурного анализа (рис. 3Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено комплексообразование карбонилдикетонатных комплексов технеция (I) с трифенилфосфином. Обнаружено, что использование акцепторного лиганда (PPh_3) может приводить к замещению карбонильного лиганда на PPh_3 с образованием $\text{cis-trans-}[\text{Tc}(\text{асас})(\text{PPh}_3)_2(\text{CO})_2]$. Установлено, что данная реакция является обратимой.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-00057.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Manicum A.-L., Alexander O., Schutte-Smith M., Visser H. G. Synthesis, characterization and substitution reactions of $\text{fac-}[\text{Re}(\text{O},\text{O}'\text{-bid})(\text{CO})_3(\text{P})]$ complexes, using the «2+1» mixed ligand model // Journal of Molecular Structure. 2020. 127953. doi:10.1016/j.molstruc.2020.127953
- Борисова И.В., Мирославов А.Е., Сидоренко Г.В., Суглобов Д.Н., Щербакова Л.Л. Синтез и сублимация карбонил-β-дикетонатов технеция // Радиохимия. 1991. № 4. С. 28-32.

ВЛИЯНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ НАПЛАВКИ НА ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ, ПОСТАВЛЯЕМОГО ПО ЭКСПОРТНЫМ КОНТРАКТАМ

М.В. Цуканов¹, И.В. Михайлов¹, А.Н. Разыграев¹, Н.П. Разыграев¹

1АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва,

e-mail: MVTsukanov@cniitmash.com, IVMikhaylov@cniitmash.com, ANRazygraev@cniitmash.com,

NPRazygraev@cniitmash.com

Приведены результаты практических исследований параметров ультразвукового контроля (УЗК) (амплитуда, угол ввода, диаграмма направленности) при прозвучивании через антикоррозионную наплавку из стали аустенитного класса. Обнаружено и описано физическое явление, приводящее к появлению второго максимума диаграммы направленности (ДН) при прозвучивании наклонными преобразователями (ПЭП) поперечных волн. Обнаруженное явление приводит к неоднозначным результатам (перебраковке) при проведении УЗК корпуса реактора ВВЭР-1000. Предложены оптимальные средства УЗК при прозвучивании через наплавку.

The results of practical studies of the parameters of ultrasonic testing (UT) (amplitude, angle of input, directivity pattern) when testing through anticorrosion cladding made of austenitic steel are presented. A physical phenomenon has been discovered and described, which leads to the appearance of the second maximum of the directivity pattern when transverse waves are tested by inclined probes. The detected phenomenon leads to ambiguous results (rejection) during ultrasonic testing of the VVER-1000 reactor pressure vessel. Optimal probes of ultrasonic testing during testing through the cladding are proposed.

ВВЕДЕНИЕ

Биметаллические изделия, поставляемые на АЭС, и их сварные соединения подлежат УЗК на заводах-изготовителях. Сдаточный УЗК проводится по методике ГОСТ Р 50.05.02 со стороны основного слоя, изготовленного из стали перлитного класса. Предэксплуатационный и эксплуатационный УЗК таких изделий, как корпус реактора и коллектор парогенератора, со стороны основного слоя невозможен в связи с их ограниченной контроледоступностью. Данные изделия контролируются со стороны наплавки (с внутренней стороны) [1]. Практика применения таких систем сопровождается неоднозначными результатами контроля. Отсутствие научно обоснованной методики УЗК через наплавку создает риски для ГК «Росатом» при поставке оборудования по экспортным контрактам.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При контроле со стороны слоя аустенитной наплавки важным фактором является само наличие такого слоя, отличающегося по акустическим свойствам от свойств основного металла.

При экспериментальном определении параметров УЗК на стандартных образцах (рис. 1) и образцах с наплавкой (рис. 2) было обнаружено физическое явление, приводящее к появлению второго максимума ДН при контроле через наплавку с использованием наклонных ПЭП поперечных волн [2]. Угол, при котором обнаруживается второй максимум, значительно меньше (на 10–12°) номинального угла ввода ПЭП, в окрестности которого наблюдался первый максимум.

Наличие явления «раздвоения» ДН – нежелательное, поскольку может привести к перебраковке по результатам УЗК. Такое явление является причиной не-

однозначности результатов контроля, встречающееся на практике [3].

Теоретическое моделирование ДН при излучении через упругий слой переменной толщины, с учетом анизотропии свойств наплавки качественно показало возможность наличия экспериментально установленного явления [2].

Установлено, что аналогичный УЗК с использованием наклонных ПЭП продольных волн не приводит к возникновению второго максимума, что позволяет рекомендовать эти ПЭП для решения задач УЗК через антикоррозионную наплавку [4].

Применение наклонных ПЭП продольных волн реализовано в методике ПАО «Ижорские заводы» «Ин-

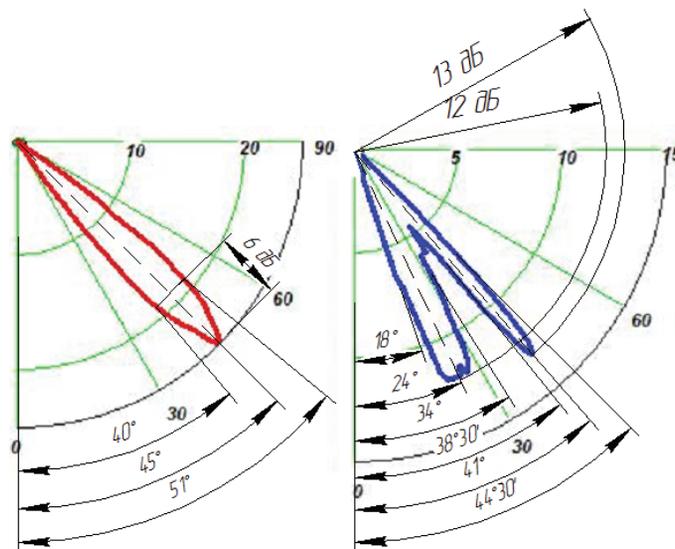


Рис. 1. Диаграмма направленности на стандартном образце СО-2

Рис. 2. Диаграмма направленности на образце с наплавкой, толщиной 9 мм

струкция по УЗК антикоррозионных наплавов и поднаплавочного слоя корпуса реактора блоков № 3, № 4 АЭС «Куданкулам» со стороны внутренней поверхности корпуса».

Также были проведены исследования полей излучения приема зеркально-теневым методом на трех образцах с наплавкой различной толщины (11 мм, 16 мм и переменная наплавка 11-18 мм) с применением наклонных ПЭП продольных и поперечных волн. Полученные распределения позволяют оценить степень влияния толщины наплавки на структуру акустического поля. При использовании ПЭП поперечных волн положение максимума сигнала смещается в пределах 5° в сторону меньших углов, а амплитуда уменьшается на 10-20 дБ на образцах с наплавкой относительно образца из перлитного металла. При использовании ПЭП продольных волн угол, соответствующий максимальной амплитуде сигнала, и значение амплитуды не изменяются при измерениях на образце перлитного металла и на образцах с наплавкой разной толщины [5].

Проведенные исследования позволяют рекомендовать применение наклонных ПЭП продольных волн при УЗК корпуса реактора РУ ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 через аустенитную наплавку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цвитанович М., Пострузин Ж., Четвериков А. Е. и др. / Применение и испытания системы автоматизированного ультразвукового контроля металла корпуса реактора типа ВВЭР // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 9. – С. 18-22.
2. Данилов В.Н., Кретов Е.Ф., Разыграев Н.П. и др. / Исследование ультразвукового контроля металла совмещенным наклонным преобразователем через плакирующий наплавленный слой // Контроль. Диагностика. – 2018. – № 7. – С. 4-19.
3. Цуканов М.В. Некоторые особенности ультразвукового контроля через аустенитную наплавку // Тяжелое машиностроение. – 2020. – № 7-8. – С. 18-24.
4. Данилов В.Н., Разыграев Н.П., Разыграев А.Н., Цуканов М.В. Ультразвуковой контроль металла через плакирующий наплавленный слой с использованием совмещенного наклонного преобразователя продольных волн // Контроль. Диагностика. – 2018. – № 12. – С. 4-19.
5. Михайлов И.В., Разыграев А.Н., Разыграев Н.П. Ультразвуковой контроль через утолщенную аустенитную наплавку. // Тезисы докладов XXXIV Уральская конференция с международным участием. Физические методы неразрушающего контроля (Янусовские чтения). – 2023. – С. 21-23.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ МОЛИБДЕНА ДЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА РФП «НАТРИЯ ПЕРТЕХНЕТАТ 99М-ТС»

О.С. Шемчук¹

¹АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», г. Санкт-Петербург
e-mail:shemchukos@khlopin.ru

В данной работе была разработана технология регенерации молибдена из жидких радиоактивных отходов производства РФП «Натрия пертехнетат 99м-Тс» для многократного использования ⁹⁹Mo. Были описаны стадии восстановления молибдена и проведен комплексный физико-химический анализ полученного оксида молибдена.

In the work a technology for the regeneration of molybdenum from liquid radioactive waste produced by the radiopharmaceutical «Sodium pertechnetate 99m-Tc» for the multiple use of ⁹⁹Mo was developed. The stages of molybdenum reduction were described and a complex physicochemical analysis of the resulting molybdenum oxide was carried out.

ВВЕДЕНИЕ

Онкологические заболевания занимают второе место среди причин смерти населения Российской Федерации (14-16% в общей структуре смертности). Для успешного определения схемы лечения особенно важна ранняя и качественная диагностика рака. В настоящее время активно используется радионуклидная диагностика, которая основана на введении в организм пациента радиофармпрепаратов (РФП), регистрация активности которых с применением специальной аппаратуры дает возможность качественной и количественной оценки функциональной активности исследуемого органа. С 1990 года Радиевый институт поставляет диагностические РФП в клиники Санкт-Петербурга, обес-

печивая 90-95 % потребностей города. Основной диагностический радионуклид современной ядерной медицины – ^{99m}Tc. Для получения технеция (^{99m}Tc) молибден-99 облучается в реакторе РБМК-1000 на ЛАЭС. Радиофармпрепараты, меченные ^{99m}Tc, применяются примерно в 80 % процедур для диагностики патологий практически всех органов и тканей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для обеспечения отечественного рынка РФП необходима модернизация производственной базы РФП «Натрия пертехнетат, Тс-99м» и масштабирование промышленной технологии путем перехода с природного на обогащенный молибден.

Целью данной работы является разработка технологии регенерации обогащенного молибдена (в виде оксида, MoO_3) из жидких радиоактивных высокощелочных отходов. При производстве РФП образуются жидкие радиоактивные отходы, в которых содержится достаточное количество молибдена (~40 г/л). Разработка технологии позволит регенерировать дорогостоящий обогащенный молибден, тем самым снизить расходы на закупку сырья, а также получить замкнутый цикл безотходного производства [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была разработана опытная лабораторная установка, проведена регенерация при-

родного MoO_3 на модельных образцах с высоким выходом – 98,9 %. Также была отработана аналитическая методика спектрофотометрического определения молибдена в высокощелочных, радиоактивных отходах.

Регенерированный оксид молибдена был проанализирован с помощью физико-химических методов анализа (РФА, ИК-спектрометрии). Образцы не содержат примесей и могут быть использованы для дальнейшего производства РФП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусев А. И. Аналитическая химия молибдена // Издательство Академии Наук СССР–1962. – С. 304.

ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫЕ МАГНИТЫ $(\text{Nd,Pr})-(\text{Fe,Co,Cu,Ga})$ -В БЕЗ ТЯЖЕЛЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ ВЭУ

А.В. Шитов^{1,2}, Д.Ю. Братушев¹, Д.Ю. Василенко¹, А.Г. Попов^{2,3}, О.А. Головня^{2,3}, Д.А. Колодкин^{2,3}, А.В. Протасов^{2,3}
¹АО «УЭМЗ», г. Екатеринбург
²Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург
³Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
 e-mail: matan.usu@gmail.com

Исследованы магнитные свойства и температурная стабильность постоянных магнитов двух составов: $(\text{Nd,Dy})_{31,2}\text{Fe}_{\text{ост.}}\text{Co}_{1,0}\text{Cu}_{0,1}\text{Ga}_{0,1}\text{B}_{0,9}$ и $(\text{Nd,Pr})_{31,9}\text{Fe}_{\text{ост.}}(\text{Co,Cu,Ga})_{1,5}\text{B}_{0,8}$. Спеченные магниты были изготовлены из сплавов strip casting по низкоокислородной технологии. Магниты с $B_r \geq 13,0$ кГс, $H_c \geq 17,5$ кЭ при комнатной температуре, с температурными коэффициентами индукции (α) и коэрцитивной силы (β), удовлетворяющими техническим требованиям для генераторов ВЭУ, могут эксплуатироваться при температурах вплоть до 120 °С. Легирование исходного сплава металлами Pr и Ga вместо дорогостоящего Dy позволило снизить стоимость исходного сплава для производства магнитов на 10 %.

Magnetic properties and temperature stability of permanent magnets of two compositions are studied: $(\text{Nd,Dy})_{31,2}\text{Fe}_{\text{ост.}}\text{Co}_{1,0}\text{Cu}_{0,1}\text{Ga}_{0,1}\text{B}_{0,9}$ and $(\text{Nd,Pr})_{31,9}\text{Fe}_{\text{ост.}}(\text{Co,Cu,Ga})_{1,5}\text{B}_{0,8}$. The sintered magnets are prepared via a low-oxygen routine from strip casting alloys. These magnets have $B_r \geq 13.0$ kG, $H_c \geq 17.5$ kOe at room temperature and temperature coefficients of remanence (α) and coercivity (β) that meet the specifications for wind turbine generators. Such magnets can be operated at temperatures up to 120 °C. The addition Pr and Ga instead of expensive Dy has reduced the cost of the initial alloy for magnets by 10 %.

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэнергоемкие постоянные магниты (ПМ) типа Nd-Fe-B достигают значений максимального энергетического произведения $(\text{BH})_{\text{max}}$ около 50 МГсЭ при коэрцитивной силе $H_c = 10$ -13 кЭ и находят широкое применение в магнитных системах большого ряда устройств. К магнитам, применяемым в генераторах ветроэлектрических установок (ВЭУ), помимо высоких значений $(\text{BH})_{\text{max}}$ предъявляется требование к повышенной температурной стабильности их свойств, что достигается увеличением H_c до значений не менее 17 кЭ. Параметры температурной стабильности ПМ для генераторов ВЭУ должны соответствовать отрицательным температурным коэффициентам индукции (α) и коэрцитивной силы (β), по модулю не превышающим -0,11 %/°С и -0,65 %/°С соответственно в диапазоне от комнатной температуры до 120 °С. Традиционным методом повышения H_c и температурной стабильности ПМ Nd-Fe-B является замещение части

Nd в исходном сплаве на дорогостоящие тяжелые редкоземельные элементы (ТРЗЭ) Dy и/или Tb. Для получения значений $H_c=17$ -20 кЭ и требуемых значений α и β в ПМ Nd-Fe-B требуется заместить около 13 % вес. Nd на Dy [1]. Это приводит как к увеличению стоимости исходного сплава, так и заметному снижению $(\text{BH})_{\text{max}}$.

В настоящее время ведущие мировые производители стремятся снизить себестоимость ПМ на основе РЗЭ за счет отказа от легирования исходного сплава дорогостоящими ТРЗЭ. В недавних исследованиях [2] было показано, что H_c магнитов Nd-Fe-B можно увеличить вплоть до 17-20 кЭ путем легирования сплава $(\text{Nd,Pr})-(\text{Fe,Co})$ -Cu-B галлием от 0,1 до 1 % вес. Основываясь на этих исследованиях, сотрудниками АО «УЭМЗ» и ИФМ УрО РАН был предложен состав сплава $(\text{Nd,Pr})-(\text{Fe,Co})$ -Cu-Ga-B без Dy в качестве альтернативы составу $(\text{Nd,Dy})-(\text{Fe,Co})$ -Cu-Ga-B, применяемому при производстве магнитов для генераторов ВЭУ.

Цель настоящей работы заключалась в сравнении магнитных свойств магнитов и их температурной стабильности из сплава (Nd,Dy)-(Fe,Co)-Cu-Ga-B с магнитами, изготовленными из сплава нового состава на основе (Nd,Pr)-(Fe,Co)-Cu-Ga-B, а также в оценке экономической целесообразности предложенного замещения ТРЗЭ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сплавы двух типов были выплавлены методом strip casting. Их составы и свойства спеченных ПМ, изготовленных по низкокислородной технологии, приведены в таблице 1.

Кривые размагничивания (рис. 1) были измерены в замкнутой магнитной цепи установки Permagraph в диапазоне от комнатной температуры до 150 °С.

Из полученных данных были рассчитаны температурные коэффициенты α и β по формулам 1 и 2 соответственно.

$$\alpha = \frac{B_r(120) - B_r(23)}{B_r(23)(120 - 23)} \cdot 100\% \tag{1}$$

$$\beta = \frac{H_c(120) - H_c(23)}{H_c(23)(120 - 23)} \cdot 100\% \tag{2}$$

Численные значения этих параметров приведены в таблице 2.

Средний температурный коэффициент α для интервала температур 23 °С-120 °С одинаков у магнитов, изготовленных из сплавов обоих составов (-0,11 %/°С), тогда как коэффициент β для ПМ из сплава (Nd,Pr)_{31,9}Fe_{о.ст.}(Co,Cu,Ga)_{1,5}B_{0,8} оказывается ниже по сравнению с соответствующей величиной магнита из сплава на основе Dy (-0,54 %/°С и -0,60 %/°С соответственно), что определяет превосходство состава новой композиции.

Таким образом, использование Pr и Ga вместо Dy в исходном сплаве позволяет достигать аналогичных

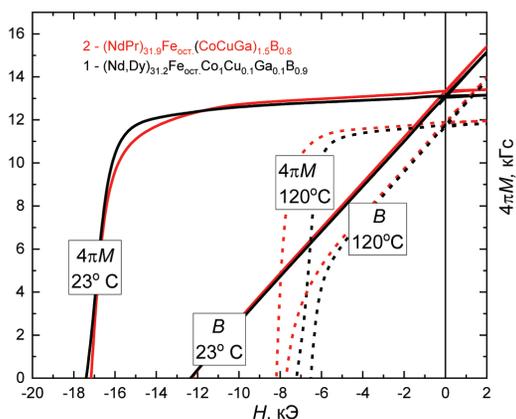


Рис. 1. Кривые размагничивания магнитов из сплавов Nd-Dy-Fe-B и Nd-Pr-Fe-Ga-B

Таблица 1. Состав и свойства магнитов из сплавов Nd-Dy-Fe-B и Nd-Pr-Fe-B

Состав сплавов, % вес.	V _r , кгС	H _c , кЭ	(BH) _{max} ^а МГс*Э
(Nd,Dy) _{31,2} Fe _{о.ст.} Co _{1,0} Cu _{0,1} Ga _{0,1} B _{0,9}	13,0	17,6	40,6
(Nd,Pr) _{31,9} Fe _{о.ст.} (Co,Cu,Ga) _{1,5} B _{0,8}	13,1	17,5	40,9

Таблица 2. Температурные коэффициенты магнитов из сплавов Nd-Dy-Fe-B и Nd-Pr-Fe-Ga-B

Состав исходного сплава, % вес.	α , %/°С	β , %/°С
Nd _{28,2} Dy _{3,0} Fe _{о.ст.} Co ₁ Cu _{0,1} Ga _{0,1} B _{0,9}	-0,11	-0,60
(Nd,Pr) _{31,9} Fe _{о.ст.} (Co,Cu,Ga) _{1,5} B _{0,8}	-0,11	-0,54

магнитных характеристик ПМ. Вместе с тем, учитывая стоимость исходных шихтовых материалов в 2023 году, предложенный состав с Pr позволяет снизить себестоимость ПМ до 10%, что может обеспечить существенный экономический эффект при массовом производстве магнитов для генераторов ВЭУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В АО «УЭМЗ» изготовлены два типа магнитов – ПМ из сплава (Nd,Dy)_{31,2}Fe_{о.ст.}Co₁Cu_{0,1}Ga_{0,1}B_{0,9}, содержащего Dy, и из сплава (Nd,Pr)_{31,9}Fe_{о.ст.}(Co,Cu,Ga)_{1,5}B_{0,8}, содержащего Pr и дополнительно легированного Ga до 1 вес.%. Оба типа магнитов имеют близкие значения как основных магнитных характеристик, так и температурных коэффициентов α и β , причем значения β более предпочтительны у магнитов, изготовленных из сплава нового состава, не содержащего дорогостоящих и дефицитных ТРЗЭ. Оценка с учетом стоимости на металлы Dy, Pr и Ga в 2023 году показала, что при использовании сплава (Nd,Pr)_{31,9}Fe_{о.ст.}(CoCuGa)_{1,5}B_{0,8} вместо (Nd,Dy)_{31,2}Fe_{о.ст.}Co₁Cu_{0,1}Ga_{0,1}B_{0,9} экономический эффект может составить около 10 % стоимости на каждый килограмм ПМ при масштабном производстве генераторов ВЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко Д.Ю. и др., Магнитные гистерезисные свойства и микроструктура высококоэрцитивных магнитов (Nd,Dy)-Fe-B с концентрацией Dy до 10 вес.% и низким содержанием кислорода // ФММ – 123 (2022) – С. 158-168.
2. Q. Huang et al., Enormous improvement of the coercivity of Ga and Cu co-doping Nd-Fe-B sintered magnet by post-sinter annealing // Journal of Alloys and Compounds – 894 (2022) – 162418.

ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ МОЩНОСТИ И КПД ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ TEEDA

М. Басати Панах¹, В.А. Рассохин¹, В.В. Барсков¹, М.А. Лаптев¹, А.С. Романов¹

¹Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

e-mail: mehdienergy@gmail.com

Газотурбинные установки – это установки, применяющиеся для выработки как тепловой, так и электрической энергии. Подобного типа установки широко используются в качестве основного источника электроэнергии в городских энергосистемах, а также в различных отраслях промышленности, таких как нефтедобывающая, газодобывающая и газоперекачивающая. В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности и мощности иранской ГТУ TEEDA современными и доступными методами.

Gas turbine installations are mechanical systems designed to generate both thermal and electrical energy. These installations are widely used as a primary source of electricity in urban power grids, as well as in various industrial sectors such as oil extraction, gas extraction, and gas compression. This research focuses on exploring methods to improve the efficiency and power output of the TEEDA gas turbine unit in Iran using modern and accessible techniques.

ВВЕДЕНИЕ

Мировой опыт свидетельствует, что эффективность и энергосбережение ГТУ могут быть повышены за счет совершенствования их тепловых схем, снижения потерь кинетической энергии проточной части и утилизации тепла уходящих газов газотурбинных установок.

МЕТОДОЛОГИЯ

В работе представлены практические рекомендации по проектированию газотурбинных установок (ГТУ) в виде структурной схемы математической модели, рассчитанной по методике, разработанной в Высшей школе энергетического машиностроения ИЭ СПбПУ. Приводятся результаты расчетных исследований показателей и характеристик тепловых схем ГТУ с использованием разработанной методики [1, 2].

Основные параметры ГТУ TEEDA приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики ГТУ TEEDA [1, 2]

TEEDA	
N, МВт	3,13
π_k	9,2
G_r , кг/с	17,8
$T_{\text{вых}}$, °C	450
η	0,264
n, об/мин	15 000
D, м	0,0065
L x B x H	6x2,5x2,7
M, т	15

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований, исходя из рисунка 1, получена зависимость эффективного коэффициента полезного действия (КПД) от эффективной удельной работы для различных значений коэффициента повышения давления в компрессоре (π_k^*).

Полученные результаты могут быть использованы для определения оптимальных параметров и разработки путей улучшения основных элементов газотурбинной установки (ГТУ) с учетом зависимости удельной теплоты рабочего тела от температуры (УТРТ).

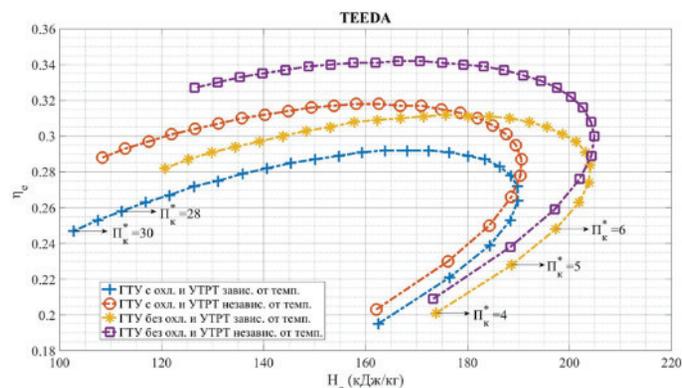


Рис. 1. График зависимости эффективного КПД от эффективной удельной работы при различных π_k^*

Затрагивается вопрос влияния коэффициентов потерь давления в разных узлах $\bar{\sigma}_{\text{вх}}^*$, $\bar{\sigma}_{\text{кк}}^*$, $\bar{\sigma}_{\text{вых}}^*$, а также влияния параметров относительного КПД $\eta_{\text{т}}^*$, $\eta_{\text{к}}^*$, $\eta_{\text{кк}}^*$ на экономичность ГТУ для установок TEEDA.

На основе полученных результатов (рис. 2) были определены зависимости между относительными показателями КПД газотурбинной установки, удельным расходом условного топлива, эффективной удельной работой, температурой уходящих газов и расходом газа при относительных значениях коэффициентов потерь кинетической энергии в диапазоне от 0,8 до 1. Эти данные могут быть использованы для определения оптимальных параметров и оптимизации основных элементов газотурбинной установки.

Было проведено исследование влияния степени регенерации на регенеративный цикл Брайтона с помощью программного комплекса. Результаты анализа предоставляют теоретический инструмент для определения оптимальных режимов работы регенеративных газотурбинных установок. Применение аддитивных технологий может повысить

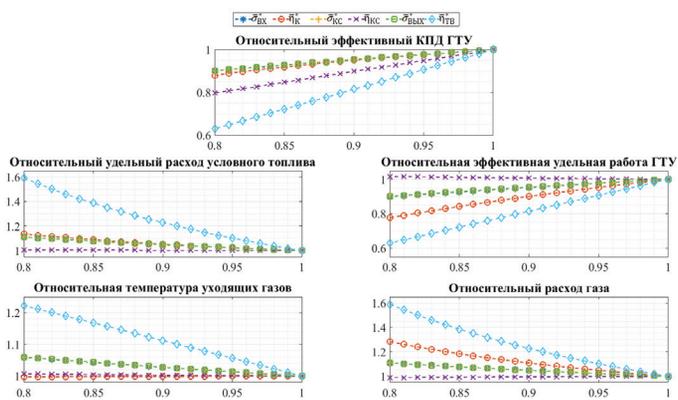


Рис. 2. Графики зависимости значений относительных эффективных КПД ГТУ $\bar{\eta}_{e, ГТУ}$, удельного расхода условного топлива, эффективной удельной работы \bar{N}_e , температуры уходящих газов и расхода газа от относительных характеристик потерь кинетической энергии ($\bar{\eta}_{КС}^*$, $\bar{\sigma}_{ВХ}^*$, $\bar{\sigma}_{КС}^*$, $\bar{\sigma}_{ВЫХ}^*$, $\bar{\eta}_{К}^*$, $\bar{\eta}_{ТВ}^*$ в интервале от 0.8 до 1) для ТЕЕДА

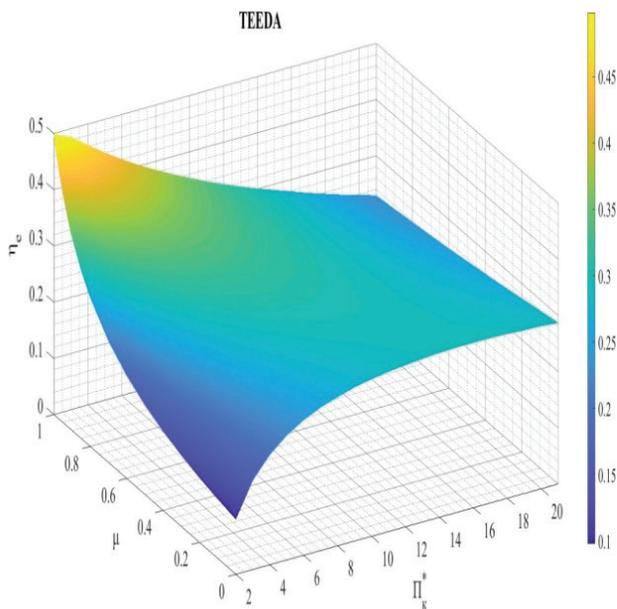


Рис. 3. График эффективного КПД при различных степенях повышения давления и степенях регенерации

надежность и безопасность использования теплообменных аппаратов, в том числе для уже существующих ГТУ.

На рисунке 3 представлены результаты исследования, в котором были определены соотношения между степенью повышения давления в компрессоре и степенью регенерации, необходимые для достижения более эффективного коэффициента полезного действия (КПД). Полученные результаты имеют практическое применение для выбора оптимальных параметров эксплуатации и проектирования реальных газотурбинных электростанций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов исследования ТЕЕДА можно сделать вывод о том, что оптимизация параметров тепловой и конструктивной схемы может привести к увеличению внутренней мощности и КПД установки.

Снижение потерь кинетической энергии в элементе ГТУ может привести к увеличению мощности на 593 кВт и КПД на 5%.

Регенерация тепла уходящих газов с $\mu = 0,85$ может привести к увеличению мощности на 1185 кВт и КПД на 10%.

Таким образом, оптимизация параметров тепловой и конструктивной схемы ТЕЕДА может увеличить эффективность работы установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басати Панах М., Рассохин В.А., Барсков В.В. и др. Повышение экономичности и надежности газотурбинных установок за счет применения аддитивных технологий // Надежность и безопасность энергетики. – 2022. – Т. 15. – № 2. – С. 102-110. – DOI 10.24223/1999-5555-2022-15-2-102-110. – EDN CSOENP.
2. Басати Панах М., Рассохин В.А., Барсков В.В. и др. Влияние охлаждения высокотемпературных лопаточных аппаратов на эффективность газотурбинных установок, с учетом зависимости удельной теплоемкости рабочего тела от температуры // Известия МГТУ «МАМИ». – 2022. – Т. 16. – № 2. DOI: 10.17816/2074-0530-106231.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДА ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Джюнейт Акын¹
¹АО «Аккую Нуклеар», Мерсин (Турция)
 e-mail: c.akin@akkuyu.com

В докладе автор подчеркивает необходимость перехода от ископаемых видов топлива к более чистым источникам энергии для борьбы с глобальным потеплением. Электролиз воды для получения водорода представлен как один из наиболее распространенных методов производства водорода. Автор обсуждает текущие усилия по переходу на экологически чистое топливо и преимущества использования экологически чистого водорода из возобновляемых источников энергии. Кроме того, в работе рассмотрена ядерная энергия как источник энергии для электролиза с нулевым выбросом углерода, которому уделяется все больше внимания. Автор подчеркивает важность получения водорода из неуглеродных источников и при-

знает, что мы находимся на переходном этапе, но положительные эффекты использования водорода из чистых источников энергии уже начинают проявляться.

In the thesis, the author highlights the need to transition from fossil fuels to cleaner energy sources in order to combat global warming. The electrolysis of water to produce hydrogen is presented as one of the most common methods of hydrogen production. The author discusses the current efforts to switch to green fuels and the benefits of using green hydrogen from renewable energy sources. Additionally, the thesis introduces nuclear energy as a zero-carbon-emitting source of energy for electrolysis that is receiving more attention. The author emphasizes the importance of obtaining hydrogen from non-carbon based energy sources and acknowledges that we are in a transitional phase, but the positive effects of using hydrogen from clean energy sources are already starting to emerge.

ВВЕДЕНИЕ

В течение долгого времени ископаемое топливо использовалось в качестве источника энергии для удовлетворения основных потребностей человека, таких как отопление, производство электроэнергии и транспорт. Фактом является то, что в настоящее время глобальное потепление начало проявлять свои вредные последствия, что заставило людей отказаться от углеродных источников энергии и искать более чистые источники, например водород.

Одним из самых распространенных методов производства водорода является электролиз воды. Сейчас весь мир, а особенно Европа, делает все возможное, чтобы перейти на экологически чистое топливо. Принятие «зеленого водорода» из возобновляемых источников энергии и интегрированный процесс электролиза воды для выработки энергии окажут значительный эффект в борьбе с изменением климата.

Учитывая все это, ядерной энергии стали уделять больше внимания. К тому же она выбрасывают нулевой углекислый газ при производстве большого количества энергии.

Водород является абсолютно безвредным источником энергии для окружающей среды, если он получен из неуглеродных источников. Идея использования водорода, полученного из чистых источников энергии, становится все более популярной. Несмотря на то что мы находимся в начале этого процесса, его благотворное влияние уже начало проявляться.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Начиная с промышленной революции, человечество идет по пути уменьшения выделяемого количе-

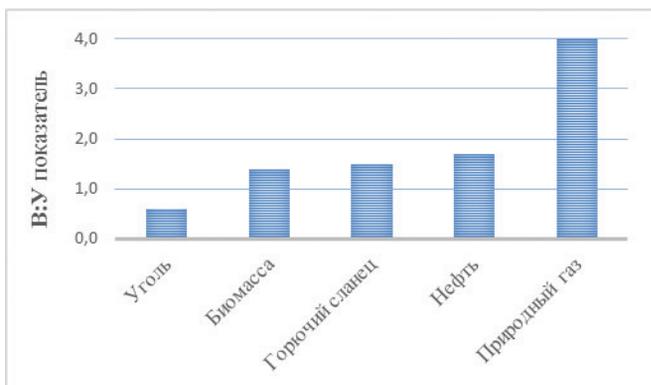


Рис. 1. Атомное соотношение водорода и углерода в топливе на основе углерода. Нефть относится к тяжелым остаткам и другим нефтяным фракциям

ства газа CO₂ при производстве энергии. На рисунке 1 [1] показано соотношение водорода и углерода в разных видах топлива.

Как видно из рисунка 1, соотношение водорода и углерода увеличивается в угле, биомассе, нефти и природном газе соответственно. Водород привлекает большое внимание из-за его энергетической ценности в 40 кВтч/кг. Это намного больше, если сравнить эти показатели с показателями таких химических топлив, как бензин, дизель или сжиженный нефтяной газ — их энергетическая ценность ограничена диапазоном в 12-14 кВтч/кг.

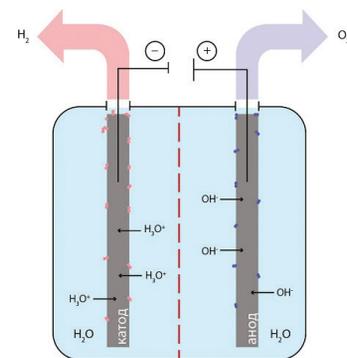


Рис. 2. Процесс электролиза

Основные источники производства и области использования водорода кратко представлены на рисунке 3, из которого видно, что самой большой областью, где необходим водород, являются топливные элементы, которые представляют собой электрохимические ячейки, вырабатывающие электрическую энергию.



Рис. 3. Варианты поставок водорода и основные области его использования. (ДВС – двигатели внутреннего сгорания; ТСТЭ – транспортные средства на топливных элементах; ТСДВС – транспортные средства с двигателем внутреннего сгорания)

Поскольку плотность водорода очень низкая, он является топливом с самым высоким соотношением энергии и веса, но то же самое нельзя сказать о соотношении энергии и объема. Это очень важно, потому что хранить водород необходимо в жидком виде, чтобы максимально уменьшить его объем. Только тогда он может быть использован как один из видов идеального топлива. Реакция сгорания 1 моля молекулы водорода и получаемая при этом энергия выглядит как показано в уравнении (1).



Электролиз воды – это химическая реакция, в результате которой из воды образуются водород и кислород и менее 0,1% водорода, производимого в мире. Основной причиной этого является то, что производство водорода с использованием возобновляемых источников энергии все еще относительно дорого по сравнению с ископаемым топливом, а производство электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии очень незначительно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня большая часть водорода производится из ископаемого топлива. Однако таким образом невозможно производить водород без выброса углекислого газа, а получать водород путем электролиза

безвредно для природы. Расширение технологических разработок в области ядерной энергетики и увеличение выходной мощности сделает их идеальными для производства водорода. В будущем, даже если цены на ископаемое топливо по каким-то причинам вырастут, а стоимость возобновляемой энергии еще больше снизится, то она не будет идеальным источником для производства водорода из-за ее низкой выходной мощности. Людям необходимо приучить к применению водородной энергии, особенно к ДВС, использующим водородную энергию, и поощрять использование такого топлива для автомобилей. Кроме того, важно снизить затраты на производство водорода путем дальнейшего повышения эффективности топливных элементов, чтобы в будущем применять водород практически везде, где это возможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rand, D. A. J. and Dell, R., 2008 Hydrogen energy: challenges and prospects. Royal Society of Chemistry (RSC energy series). – 2022. URL: <http://0-search.ebscohost.com.divit.library.itu.edu.tr/>.
2. Рябов И. Разработан эффективный метод производства водорода с наименьшим углеродным следом // Хайтек. – 2023. URL: <https://hightech.fm> (дата обращения: 11.02.2022).

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.Ф. Байназоглу¹

¹АО «Аккую Нуклеар», Мерсин (Турция)

e-mail: a.baynazoglu@akkuu.com

Постепенное сокращение запасов нефти, угля и природного газа и связанный с этим рост цен являются одной из основных причин появления в мире дискуссий о переходе на ядерную энергию. Страны, которые хотят уменьшить внешнюю зависимость и использовать более дешевую энергию, обратились к ядерной энергетике. Тот факт, что Германия, важнейшая страна с точки зрения использования ядерной энергии, закрыла свои атомные электростанции, является определяющим в негативной критике, которая высказывается в адрес станций, открываемых в некоторых странах. Целью данного исследования является выявление краткосрочного и долгосрочного влияния атомных электростанций на экономику на примере разных стран мира.

The gradual decrease in oil, coal, and natural gas stocks and the resulting increasing prices is one of the main reasons for the emergence of discussions on the transformation to nuclear energy in the world. Countries that want to reduce foreign dependency on energy and use energy more cheaply have turned to nuclear. It is seen that Germany, one of the most important countries in the world in terms of nuclear energy, has closed its nuclear power plants. For this reason, negative criticisms are made about the power plants to be opened in some countries. This study aims to reveal the short and long-term effects of nuclear power plants on the economy with examples of the world.

ВВЕДЕНИЕ

Атомная энергетика является конкурентоспособным источником производства электроэнергии по затратам, за исключением случаев, когда доступ к дешевым ископаемым топливам прямой. Затраты на топливо для атомных станций составляют небольшую долю от общих затрат на генерацию, хотя капитальные затраты больше, чем для угольных станций и значительно выше, чем для газовых.

Системные затраты для атомной энергетики, а также для угольной и газовой генерации значительно ниже, чем для использования возобновляемых источников энергии. Однако обеспечение стимулов для долгосрочных капитальных инвестиций на дерегулируемых рынках, управляемых краткосрочными ценовыми всплесками, является проблемой при создании диверсифицированной и надежной системы электроснабжения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2017 году EIA США опубликовала данные по средним выровненным затратам на единицу продукции (LCOE) для генерирующих технологий, которые будут введены в эксплуатацию в 2022 году. Эти данные были использованы в качестве модели для Ежегодного энергетического прогноза. Согласно этим данным, передовые ядерные технологии составляют 9,9 ¢/кВтч, природный газ – 5,7-10,9 ¢/кВтч (в зависимости от технологии), уголь с 90 %-ным поглощением углерода – 12,3 ¢/кВтч (повышается до 14 ¢/кВтч при 30 %-ном поглощении). Среди недиспетчируемых технологий оценки LCOE сильно различаются: наземный ветер – 5,2 ¢/кВтч, солнечный фотоэлектрический генератор – 6,7 ¢/кВтч, морской ветер – 14,6 ¢/кВтч и солнечная тепловая энергия – 18,4 ¢/кВтч (¢ – обозначение американского цента. – Прим. ред.).

Издание 2020 года исследования ОЭСР «Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии» показало, что диапазон выровненной стоимости электроэнергии (LCOE) варьируется гораздо больше для ядерной энергетики, чем для угля, при различных ставках дисконтирования из-за ее капиталоемкости. При низких ставках дисконтирования ядерная энергетика была намного дешевле, чем ветровая и солнечная фотоэлектрическая энергия. По сравнению со ставкой дисконтирования 0 %, при ставке дисконтирования 10 % LCOE для атомной энергетики увеличилась в три раза, а для угля – в 1,4 раза. При ставке дисконтирования 10 % солнечная фотоэлектрическая энергия выросла в 2,25 раза, а береговой ветер – почти в два раза, хотя коэффициенты мощности очень сильно отличаются от 85 % для трех вариантов базовой нагрузки. Для всех технологий была использована цена на углерод в размере \$30 за тонну. В показателях LCOE отсутствуют системные затраты.

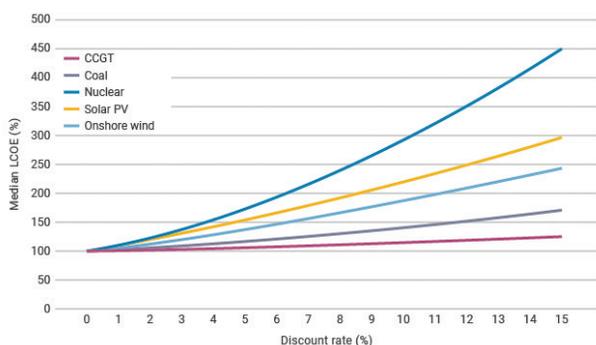


Рис. 1. Влияние ставки дисконтирования на медианную выровненную стоимость электроэнергии (LCOE) для различных технологий

Соглашения о покупке электроэнергии являются наиболее распространенными средствами обеспечения долгосрочных доходов и широко используются в электроэнергетической отрасли. Договор о покупке электроэнергии – это соглашение между производителем электроэнергии (продавцом) и покупателем, где определяются цена, объем и срок, на протяжении которого покупатель приобретает электроэнергию

Таблица 1. Прогнозируемые затраты на производство электроэнергии [1]

Страна	По ставке дисконта 3%	По ставке дисконта 7%	По ставке дисконта 10%
Франция	45,3	71,1	96,9
Япония	61,2	86,7	112,1
Южная Корея	39,4	53,3	67,2
Россия	27,4	42,0	56,6
Словакия	57,6	101,8	146,6
США	43,9	71,3	98,6
Китай	48,2	66,0	83,9

у продавца. Обычно такие соглашения заключаются с оптовыми компаниями, которым необходимо обеспечить надежную поставку электроэнергии по фиксированной цене (например, сетевыми операторами). Правительства принимающих стран могут гарантировать или не гарантировать выполнение таких соглашений.

Атомная электростанция «Аккую» в Турции заключила договор о покупке электроэнергии с оптовым продавцом, компанией Tedas, по средней цене 12,35 центов за киловатт-час на срок 15 лет. Соглашение покрывает 70 % производства блоков 1 и 2 и 30 % производства блоков 3 и 4.

В дополнение к стоимости самой атомной электростанции, экономический эффект и прибыль, которые она принесет, могут многократно превышать ее стоимость. Несмотря на то что стоимость атомной электростанции «Аккую» составляет \$20 млрд [2], ее предполагаемый вклад в валовой внутренний продукт Турции на протяжении всего срока эксплуатации составит около \$50 млрд [3]. Инфраструктура, связанная с созданием АЭС «Аккую», предоставит возможности для создания новых рабочих мест и увеличения численности населения региона до 30 тысяч человек. Во время строительства электростанции потребуется от 10 до 20 тысяч работников [3], а после ее ввода в эксплуатацию около 4 тысяч человек [4] будут заняты на постоянной основе. Кроме того, создание городского научно-исследовательского института ядерной энер-

In 2030 one GW of installed capacity would generate:

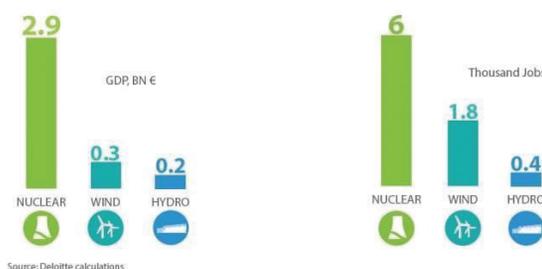


Рис. 3. Сравнение полученного ВВП и создаваемых рабочих мест для различных видов электростанций, производящих один ГВт энергии [6]

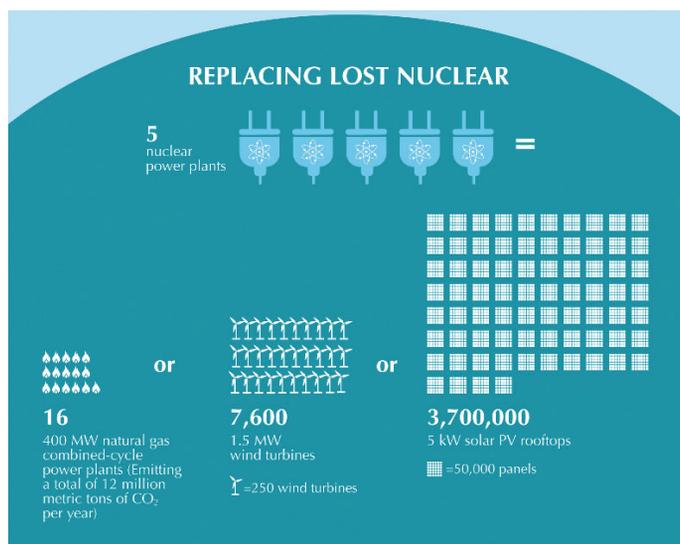


Рис. 4. Сравнение ядерной энергетики с другими источниками [8]

гии привлечет талантливых молодых людей, ученых, инженеров и подрядчиков со всей страны.

Ниже приведено сравнение предполагаемого валового внутреннего продукта (ВВП) и создаваемых рабочих мест для разных видов электростанций, производящих один ГВт энергии, в 2030 году [5].

На рисунке 4 показано сравнение 5 атомных электростанций с другими источниками электроэнергии. Атомные электростанции выгодны с точки зрения экономики и занятости трудовыми ресурсами. Кроме того, они могут производить электроэнергию, которую дают другие типы электростанций, по более низкой цене и с меньшим воздействием на окружающую среду [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании рассматривается влияние атомных электростанций на экономику. Проводится сравнение стоимости производства единицы электростанции с использованием других источников

ресурсов, а также рассматриваются годовые данные по странам. Рассмотрели дополнительные выгоды, возможности трудоустройства и экологические преимущества, которые обеспечивают электростанции. В итоге сделан вывод о том, насколько важны и полезны атомные электростанции для страны и об их значимости в поддержании экологического баланса, подкрепляя вывод статистическими данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. OECD Nuclear Energy Agency, Projected Costs of Generating Electricity, 2015 Edition (September 2015).
2. Office for Nuclear Regulation, Summary of the GDA issue close-out assessment of the Westinghouse Electric Company AP1000® Nuclear Reactor (March 2017).
3. «Turkey to begin work on 2 more nuclear power plants: Erdoğan», Daily Sabah, 12 November 2021. <<https://www.dailysabah.com/business/energy/turkey-to-begin-work-on-2-more-nuclear-power-plants-erdogan>> .
4. «Hinkley Point C nuclear plant to open later at greater cost», BBC, 27 January 2021 <https://www.bbc.com/news/uk-england-somerset-55823575>.
5. Kuznetsov, Y.N., «Nuclear Cogeneration Power Plants in Solution of Energy Ecological and Social Problems in Russia's Regions», Rosatom, November 2016.
6. Viktor Merkulov, «Analysis of advanced nuclear technologies applicable in the Russian Arctic», IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, August 2018.
7. «Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2014 «Cost of wind, nuclear and gas powered generation in the UK», US Energy Information Administration, Claverton-energy.com. 4 September 2012.
8. Renewables 2021, IEA, 2021, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО НАПЛАВОЧНОГО МАТЕРИАЛА ТИПА 09Х31Н8АМ2, ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭУ

И.С. Григорьев¹, С.Н. Галяткин¹

¹НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург
e-mail: npk6@crism.ru

Основная часть применяемых при изготовлении трубопроводной арматуры АЭУ износостойких материалов характеризуется трудоемким процессом наплавки. Исключением является наплавочный материал типа 09Х31Н8АМ2, применение которого допускается при температуре не выше 300 °С. С целью разработки мероприятий по повышению предельной температуры применения материала типа 09Х31Н8АМ2 было проведено исследование механизмов его упрочнения.

The main part of the wear-resistant materials used in the manufacture of NPP pipeline fittings are characterized by a labor welding process, with the exception of the surfacing material of the 09Cr31Ni8NMo2 type, the use of which, is allowed at a temperature not exceeding 300 °C. In order to develop measures to increase the limiting temperature of the use of material type 09Cr31Ni8NMo2, a study of the hardening mechanism was carried out.

ВВЕДЕНИЕ

В атомных энергетических установках количество устанавливаемой трубопроводной арматуры может исчисляться в сотнях единиц устройств, что делает ее одним из ключевых механизмов, отвечающих за работоспособность установки.

При эксплуатации арматуры наибольшей деформации и износу подвергаются места узлов пар трения, отвечающих за герметичность устройства. Ввиду подверженности высокому темпу износа данные участки в основном формируются путем наплавки износостойкими материалами.

К наиболее применяемым в настоящее время износостойким наплавочным материалам относятся материалы типа 190K62X29B5C2, 08X17H8C6Г и 13X16H8M5C5Г4Б.

Указанные материалы получили наибольшее распространение за счет сохранения свойств наплавленной поверхности при температурах до 450, 600 и 800 °С [1]. К недостаткам же материалов можно отнести трудоемкий процесс наплавки, нарушение которого приводит к образованию трещин в наплавленном металле либо к отслоению наплавленной поверхности. Также стоит отметить невозможность применения в системе 1-го контура АЭУ материала типа 190K62X29B5C2, т. к. основным химическим элементом является кобальт.

Полной противоположностью приведенных материалов по требованию к процессу наплавки является износостойкий материал типа 09X31H8AM2, не нуждающийся в предварительном и сопутствующем подогреве, а также немедленной термической обработке после наплавки. Однако для этого материала установлено ограничение по предельной температуре применения 300 °С [2].

ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование механизма упрочнения наплавленного металла типа 09X31H8AM2 проводилось с целью последующей реализации работ по повышению температурного предела его применения.

Материал типа 09X31H8AM2 имеет аустенитно-ферритную структуру, близкую к дуплексным нержавеющим сталям.

Износостойкие свойства наплавленной поверхности типа 09X31H8AM2 достигаются за счет образования интерметаллидов (σ -фазы) и карбидов при проведении термической обработки.

Одним из механизмов повышения износостойкости является увеличение процентного содержания σ -фазы в структуре наплавленного металла за счет распада ферритной фазы при термической обработке.

На базе лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» методом анализа картин дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD) было установлено соотношение фаз в наплавленном металле типа 09X31H8AM2 в исходном состоянии после наплавки и после проведения термической обработки (800 °С – выдержка 5 ч).

В исходном состоянии после наплавки структура металла состоит из более 50 % аустенита и менее 50 % феррита (рис. 1).

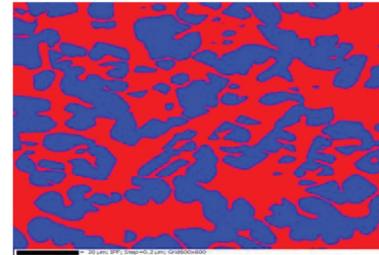


Рис. 1. Результаты анализа EBSD.
Синий цвет – аустенит, красный цвет – феррит

После термической обработки в структуре был замечен вторичный аустенит, но общее содержание аустенита составляло около 50%, основная часть феррита способствовала образованию σ -фазы около 30 % и небольшому количеству карбидов хрома и нитридов (рис. 2).

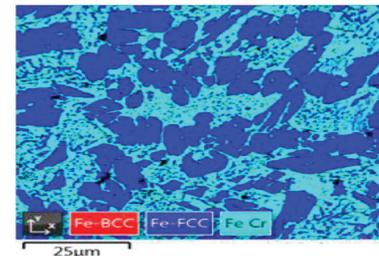


Рис. 2. Результаты анализа EBSD.
Синий цвет – аустенит, лазерный цвет – σ -фаза

Высокое содержание аустенита может являться причиной проявления задиров на трущихся поверхностях в процессе эксплуатации при температурах свыше 300 °С. Для уменьшения содержания в структуре аустенита необходимо наполнение ее мелкодисперсным карбидами и увеличение содержания σ -фазы.

Для определения влияния количества содержания ферритной фазы на содержание σ -фазы были проведены дилатометрические исследования. Образцы из наплавленного металла в исходном после наплавки состоянии нагревались до температуры 1350 °С и охлаждались до 400 °С со скоростями: 350 °С/сек, 175 °С/сек, 87 °С/сек, 44 °С/сек и 9,9 °С/сек.

При резком охлаждении получилось добиться содержания феррита свыше 60% и, соответственно, содержания аустенита менее 40%. При охлаждении 9,9 °С/сек содержание феррита было несколько выше 50 %.

После термической обработки во всех образцах содержание σ -фазы возросло и пик более 40 % был определен при более резком охлаждении. Тем не менее при снижении скоростей охлаждения ниже 175 °С/сек влияние количества ферритной фазы на содержание σ -фазы четкой зависимости не имеет, значения находятся в полосе разброса.

Ввиду того, что достижение резкой скорости охлаждения при промышленном изготовлении изделий АЭУ представляется труднореализуемым, в дальнейших работах повышение ферритной фазы в напла-

ленном металле планируется за счет корректировки химического состава при условии сохранения технологичности процесса наплавки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показаны преимущества и недостатки материала типа 09X31H8AM2 в сравнении с материалами других типов.

2. Впервые приведены результаты исследования напавленного металла типа 09X31H8AM2 методом EBSD анализа.

3. Установлено влияние термокинетических условий при охлаждении напавленного металла типа 09X31H8AM2 на его фазовый состав. В дальнейшем

планируется за счет корректировки химического состава получение структуры напавленного металла в части содержания ферритной фазы, близкой к структуре напавленного металла, подвергнутого резкому охлаждению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТ ЦКБА 053-2008 Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества напавленных поверхностей. Технические требования.

2. НП-104-18. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ РОССИЙСКИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Б.С. Доржиева¹, В.Н. Железняк¹

¹АО «Силовые машины», завод «Электросила», г. Санкт-Петербург
e-mail: Zheleznyak_VN@power-m.ru, Dorzhieva_BS@power-m.ru

Современные направления развития атомной энергетики связаны, в том числе, и с сооружением атомных станций в труднодоступных районах с неразвитой инфраструктурой. В таких районах, где возведение атомных станций большой мощности нецелесообразно, возникает потребность в атомных станциях малой и средней мощности. Для выработки электрической энергии используются турбогенераторы. Рассмотрены турбогенераторы с воздушным охлаждением для энергоблоков атомных станций малой и средней мощности. Приведен обзор серий турбогенераторов с воздушным охлаждением, выделены их основные преимущества, являющиеся важным фактором при выборе турбогенераторов для атомных станций.

The modern directions of the development of nuclear energy are connected, among other things, with the construction of nuclear power plants in remote areas with undeveloped infrastructure. In such areas where the construction of powerful nuclear power plants is impractical, there is a need for small and medium-power nuclear power plants. Turbogenerators are used to electrical energy generation. Air-cooled turbogenerators for small and medium-power nuclear power plant power units are considered. An overview of the series of air-cooled turbogenerators is given, their main advantages are highlighted.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений развития атомной отрасли России являются атомные станции малой и средней мощности, предназначенные для энергоснабжения удаленных и труднодоступных районов. Электрическая энергия на атомных станциях вырабатывается с помощью турбогенераторов. Далее рассмотрены турбогенераторы с воздушным охлаждением для энергоблоков российских атомных станций малой и средней мощности.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Согласно классификации атомных электростанций Международного агентства по атомной энергетике [1] атомные станции малой мощности включают в себя станции мощностью до 300 МВт на энергоблок, атомные станции средней мощности – от 300 до 700 МВт на энергоблок.

Атомные станции малой мощности (АСММ) предназначены для энергоснабжения удаленных районов с неразвитой инфраструктурой. АСММ

смогут обеспечить электроэнергией труднодоступные территории, включая местные предприятия и ближайшие месторождения полезных ископаемых.

АСММ могут быть наземными (стационарными) или плавучими (мобильными).

Первым проектом наземной АСММ является атомная станция малой мощности в Усть-Янском улусе Республики Саха (Якутия). К данному моменту получена лицензия на размещение АСММ [2].

Начиная с 2020 года эксплуатируется атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) на базе плавучего энергоблока «Академик Ломоносов» в г. Певек Чукотского АО [3]. На ПАТЭС установлены две реакторные установки КЛТ-40С, электрическая мощность каждой составляет 35 МВт.

Атомные станции средней мощности, как и АСММ, предназначены для энергоснабжения и могут быть использованы для замены существующих станций (дизельных, атомных), так ПАТЭС частично замещает выведенную в 2019 году Билибинскую АЭС [3, 4].

Атомный энергоблок с инновационным реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем с электрической мощностью не менее 300 МВт относится к АЭС средней мощности [5]. Для данного энергоблока был разработан самый мощный в России турбогенератор с воздушным охлаждением типа ТЗФП-350-2УЗ.

Для атомных станций малой и средней мощности применяются турбогенераторы с воздушным охлаждением. Заводом «Электросила» изготавливается 3 серии турбогенераторов с воздушным охлаждением: ТА, ТФ и ТЗФ.

Основными преимуществами турбогенераторов с воздушным охлаждением являются безопасность и простота обслуживания в процессе эксплуатации. Турбогенераторы с водородным (ТВФ) и водородно-водяным (ТВВ) охлаждением обеспечиваются системой газоснабжения и масляными уплотнениями вала; турбогенераторы с водородно-водяным (ТВВ) и водяным охлаждением (ТЗВ) оснащены системой водяного охлаждения, для которой также необходима система подготовки дистиллята. Для охлаждения турбогенераторов с воздушным охлаждением требуется только техническая вода или этиленгликоль в воздухоохладителях (по замкнутому или разомкнутому контуру).

К недостаткам относятся увеличенные по сравнению с турбогенераторами с водородным, водородно-водяным и водяным охлаждением габариты.

Серия турбогенераторов ТА (мощностью от 6 до 30 МВт) имеет косвенное воздушное охлаждение обмоток статора и ротора и непосредственное охлаждение сердечника статора. На Билибинской АЭС было установлено 2 турбогенератора серии ТА типа ТАП-12-2УЗ мощностью 12 МВт.

Серия ТФ (мощностью от 18 до 160 МВт) отличается непосредственным воздушным охлаждением обмотки ротора и сердечника статора и косвенным – обмотки статора. Турбогенераторы данной серии установлены на ПАТЭС – ТФ-35-2М5 мощностью 35 МВт.

Серия ТЗФ (мощностью от 50 до 306 МВт) имеет воздушное охлаждение по многоконтурной схеме. Турбогенераторы данной серии отличаются равномерным распределением температуры.

При разработке и проектировании самого мощного в России турбогенератора с воздушным охлаждением ТЗФП-350-2УЗ был принят ряд решений, обеспечивающих заданную мощность и высокий КПД. Также были предъявлены требования к маневренности, работе в режиме недовозбуждения и величине токов короткого замыкания. Для обеспечения этих требований авторами были проведены электромагнитные расче-

Таблица 1. Сравнение серий турбогенераторов с воздушным охлаждением

Параметр	ТА	ТФ	ТЗФ
Мощность, МВт	6-30	18-160	50-306
Напряжение, кВ	6,3 / 10,5	6,3 / 10,5 / 13,8	6,3 / 10,5 / 15,75 / 20
КПД, %	97,8-98,4	97,5-98,5	98,4-98,7

ты, в том числе расчеты торцевой зоны для оценки работы в режиме недовозбуждения, расчеты токов короткого замыкания. В итоге улучшены основные параметры турбогенератора без увеличения габаритов. В таблице 1 приведено сравнение серий турбогенераторов с воздушным охлаждением по основным технико-экономическим параметрам. При выборе турбогенераторов необходимо исходить из электрической мощности энергоустановки, с учетом того, что турбогенератор должен иметь запас по мощности для обеспечения надежной работы при отклонениях параметров сети. Важными факторами при выборе оборудования для отдаленных районов являются надежность и опыт эксплуатации, возможность проведения ремонтов в условиях станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джоанн Лю. Что такое малые модульные реакторы (ММР)? // Бюро общественной информации и коммуникации МАГАТЭ URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/chto-takoe-malye-modulnye-reaktory-mmr> (дата обращения 24.04.2023 г.).
2. «Росатом» получил лицензию на размещение первой в современной истории России наземной АЭС малой мощности // [rosatom.ru](https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-poluchil-litsenziyu-na-razmeshchenie-pervoy-v-sovremennoy-istorii-rossii-nazemnoy-aes-maloy/) URL: <https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-poluchil-litsenziyu-na-razmeshchenie-pervoy-v-sovremennoy-istorii-rossii-nazemnoy-aes-maloy/> (дата обращения 24.04.2023 г.).
3. Атомные станции малой мощности // [rosatom.ru](https://rosatom.ru/production/atomnye-stantsii-maloy-moshchnosti/) URL: <https://rosatom.ru/production/atomnye-stantsii-maloy-moshchnosti/> (дата обращения 24.04.2023 г.).
4. Рыжикова Т.Н., Щепетина Т.Д., Чумак Д.Ю. Анализ экономических аспектов развития атомных станций малой и средней мощности в России // Экономический анализ: теория и практика. – 2018. – Т. 17. – №. 8 (479). – С. 1400-1413.
5. Началось строительство уникального энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300 // [годнауки.рф](https://xn--80afdrjqf7b.xn--p1ai/news/1488/) URL: <https://xn--80afdrjqf7b.xn--p1ai/news/1488/> (дата обращения: 24.04.2023).

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВВ-1200-4 В СРАВНЕНИИ С ТВВ-1000-4

П.И. Ключко¹

¹АО «Силовые машины» завод «Электросила», г. Санкт-Петербург
e-mail: Kluyko_PI@power-m.ru

Современная электроэнергетика заинтересована в турбогенераторах (т/г) большой мощности. Это связано с их экономической эффективностью, а также с возрастающим энергопотреблением. Длительное время стандартной мощностью т/г являлось значение в 1000 МВт, однако сейчас завод «Электросила» способен предложить машины мощностью 1200 МВт. 20 %-ный рост обеспечивается различными инновационными решениями, часть которых рассмотрена в данной статье.

Modern electric power industry are interested in turbogenerators (t/g further) larger capacity. This is due to its economic efficiency, and growing energy consumption. For long time standard power of t/g were 1000 MW, however factory «Electrosila» is able to offer 1200 MW machines now. 20 % growth is realized by various innovative solutions, some of them are considered in this article.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетика ставит новые вызовы перед предприятиями, и в частности – наращивание мощностей. Целью процесса являются обеспечение растущего спроса энергопотребителей и снижение затрат на установленный киловатт.

Длительное время задача решалась в рамках модернизации уже существующих машин, что позволило увеличить мощность с 1000 МВт до 1170 МВт (например, Балаковская АЭС). Однако существующая конструкция не способна обеспечивать дальнейший рост.

Повышение мощностей генераторов за счет исключительно габаритных характеристик ограничено множеством факторов. Условия, связанные с проектированием станций (например, по массе), самих генераторов (существуют пределы длины ротора) и др., не позволяют бесконечно увеличивать размеры машины. В связи с этим требование к наращиванию мощности зачастую сопряжено с сохранением массогабаритных характеристик на прежнем уровне. Комбинация этих условий вынуждает модернизировать конструкции узлов и применять новые материалы. В данной статье рассмотрена часть проблем и их конструктивных решений, примененных при проектировании машины ТВВ-1200-4 для Курской АЭС-2.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Ограничение подвижности лобовых частей в радиальном и тангенциальном направлениях.

Для системы крепления лобовых частей стержней обмотки статора выполнен переход с вязок к бандажным кольцам на монолитный распор между опорным и распорными кольцами. Это позволило увеличить площадь контакта с контактными поверхностями, заполнить пустоты между стержнями для ограничения их подвижности в радиальном и тангенциальном направлениях и повысить надежность в случае коротких замыканий.

2. Обеспечение аксиальной подвижности.

В силу теплового расширения медных проводников стержней обмотки статора необходимо обеспечить подвижность в аксиальном направлении. Ранее

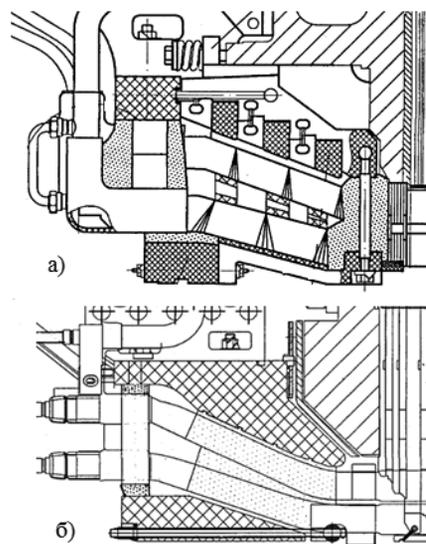


Рис. 1. Крепления лобовых частей:
а) ТВВ-1000-4. Крепление бандажными кольцами;
б) ТВВ-1200-4. Монолитный распор

использовалась самоконтрящаяся система, обеспечивающая подвижность кронштейнов. В новой конструкции кронштейны заменены на опорное кольцо, которое прикреплено к нажимной плите через металлическую мембрану, имеющую подвижность в осевом направлении.

3. Снижение потерь.

Комплекс изменений позволил упростить геометрию нажимных колец. Новая форма не только облегчила изготовление, но и позволила изменить систему экранирования от полей рассеивания. Новая конструкция положительно сказывается на КПД генератора, а также рабочих температурах.

4. Уменьшение электромеханических взаимодействий между элементами обмотки.

Увеличение количества точек крепления токопроводящих элементов в концевых частях позволило изолировать механические воздействия шин (посредством применения гибких перемычек) на выводы, а также уменьшить их габариты.

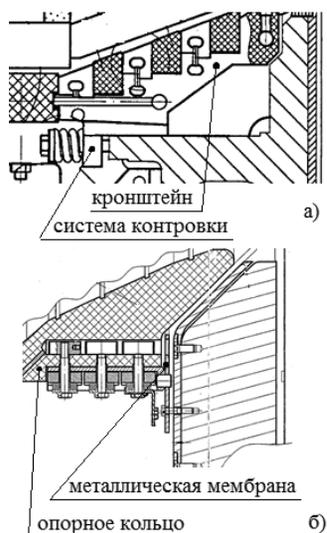


Рис. 2. Подвижное крепление:
 а) ТВВ-1000-4. Крепление кронштейнами;
 б) ТВВ-1200-4. Крепление через мембрану

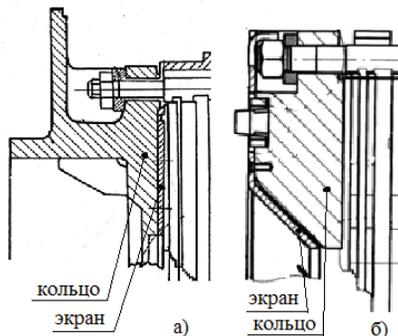


Рис. 3. Подвижное крепление:
 а) ТВВ-1000-4; б) ТВВ-1200-4

5. Повышение эффективности и гибкости системы охлаждения.

Выполнен переход на двухконтурную систему охлаждения токоведущих элементов. Охлаждение соединительных шин выведено в отдельный контур от охлаждения стержней обмотки статора, что позволяет интенсифицировать охлаждение более нагруженных элементов.

6. Повышение стабильности потока охлаждающей воды.

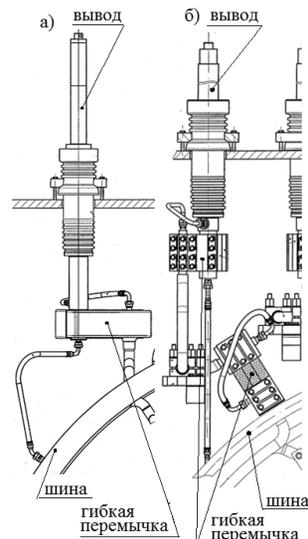


Рис. 4. Подвижное крепление:
 а) ТВВ-1000-4; б) ТВВ-1200-4

Работа с поставщиками и модернизация технологии изготовления изделий позволила заменить материал трубок охлаждения стержней обмоток статора с меди на нержавеющую сталь. Это привело к исключению вымывания материала во время эксплуатации, что в свою очередь снизило вероятность образования закупорок и более стабильный водяной поток.

ВЫВОДЫ

Переработка конструкторских решений на всех этапах проектирования позволила перейти от стандартных решений мощностью 1000 МВт на 1200 МВт. При этом обновленная конструкция обладает резервом для модернизации и наращивания мощности. Однако это не единственная характеристика, на которую положительно повлияли внесенные изменения. Повышена надежность изделия в нештатных режимах работы, снижены потери, что и привело к значению КПД в 99,09 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек А.И. // Электрические машины – 1974 – 840 с.
2. Хтуторецкий Г.М., Токов М.И., Толвинская Е.В.// Проектирование турбогенераторов – 1987 – 256 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПРИВОДАХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Д.А. Кудряшов¹, А.Ю. Смирнов¹

¹АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород

email: dakud1904@okbm.nnov.ru, ayu_smirnov@okbm.nnov.ru

Рассмотрено совершенствование электромеханических преобразователей для обеспечения ими требуемого генераторного момента и диапазона скоростей равномерного опускания регулирующего органа при обесточивании привода. Это достигается за счет разделения функций двигателя и генератора в одном электромеханическом преобразователе. Максимальное значение генераторного момента достигается на частоте резонанса в контуре, образованном из обмоток генератора и емкостного сопротивления.

The improvement of electromechanical converters in order to provide them with the required generator torque and the speed range of steady dropping of the control rod when the drive is de-energized is considered. This is achieved by separating the functions of the motor and generator in one electromechanical converter. The maximum value of the generator torque is reached at the resonance frequency in the circuit formed from the generator windings and the capacitive resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасности при работе ядерной энергетической установки (ЯЭУ), безусловно, является главным требованием и приоритетом для инженеров при проектировании. Совершенствование электромеханических преобразователей (ЭМП) в составе исполнительного механизма системы управления и защиты (ИМ СУЗ) для обеспечения их надежной работы в нормальном и аварийном режиме является актуальной задачей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Позиционирование регулирующих органов (РО) внутри активной зоны ЯЭУ осуществляется специальными электроприводами на базе шаговых двигателей. Применение шаговых двигателей обоснованно имеет ряд преимуществ: точность фиксации РО в заданном положении; отсутствие выбега при остановке и простота герметизации статора от ротора.

Для обеспечения безопасности при перемещении РО в режиме аварийной защиты (при обесточивании), в соответствии с требуемым законом изменения реактивности ЯЭУ, ЭМП должен обеспечить исключение самохода РО. Кроме того, это необходимо для исключения механических ударов РО о нижний упор в конце хода.

Обеспечить требуемый режим работы электропривода РО позволяет усовершенствованный электромеханический преобразователь, представляющий собой двухмашинную сборку из индукторного двигателя и магнитоэлектрического генератора, которые установлены в одном корпусе и соединены общим валом [1].

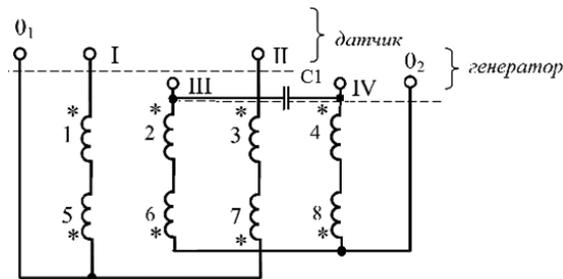
Данный ЭМП обладает наиболее широким диапазоном установившихся скоростей равномерного опускания РО, а также максимальным значением необходимого генераторного момента в режиме аварийной защиты. Это достигается за счет исключения влияния индуктивной нагрузки зубчатого магнитопровода ротора в генераторном режиме.

При исследовании генераторных характеристик расчетными и экспериментальными методами установлено, что для достижения ЭМП заданной установившейся скорости равномерного опускания РО необходимо, чтобы частота ЭДС, наводимой в фазах обмотки генератора, была меньше величины, определяемой следующим соотношением:

$$n_{уст} < \frac{30}{\pi \cdot p \cdot \sqrt{L \cdot C}},$$

где p – число пар полюсов обмотки генератора, L и C – индуктивность одной фазы обмотки и емкость подключенных к ее зажимам конденсаторов.

Дополнительно, за счет отсутствия электрической связи силовых цепей двигателя и цепей генератора (рис. 1), существует возможность реализовать канал индикации положения ротора электромеханического преобразователя и соответственно РО в активной зоне.

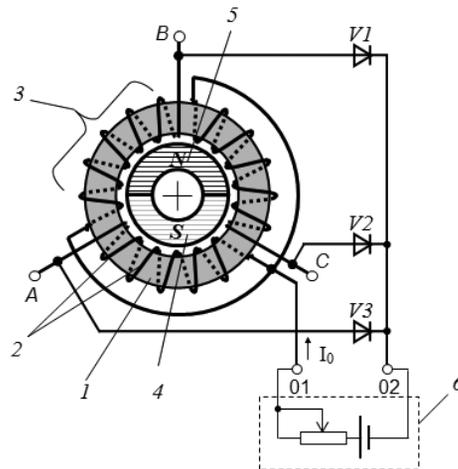


1-8 – номера катушек генератора;
I-IV, O₁, O₂ – контакты выводов обмоток;
C1 – емкостное сопротивление

Рис. 1. Схема включения обмоток генератора и датчика в составе ЭМП

Выполнить поверочный расчет спроектированного усовершенствованного ЭМП позволяют построенные методом конечных элементов в программе ANSYS сеточные модели двигателя и генератора [2].

В настоящее время для гибкой подстройки скорости опускания регулирующего органа в режиме аварийной защиты прорабатывается вопрос внедрения в ИМ СУЗ генератора с подмагничиванием магнитопровода статора, который позволяет регулировать величину напряжения и момента генератора (рис. 2).



1 – кольцевой магнитопровод статора;
2 – катушки обмотки статора; 3 – катушечные группы; 4, 5 – постоянные магниты; 6 – источник постоянного напряжения; O1, O2 – контакты для подключения источника постоянного напряжения

Рис. 2. Генератор с подмагничиванием

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в настоящей работе приводы ИМ СУЗ с усовершенствованными электромеханическими преобразователями спроектированы, изготовлены и испытаны для поставки на новую ЯЭУ.

Перспективными являются исследования, направленные на совершенствование ЭМП в части обеспечения дополнительных возможностей по настройке заданной скорости опускания РО в режиме аварийной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №2693935 на изобретение РФ. Электромеханический преобразователь для электропривода вертикального перемещения регулирующего органа/ А.Ю. Смирнов, В.В. Веллер, А.В. Кифоренко, Д.А. Кудряшов; опубл. 08.07.2019, Бюл.№19.

2. Смирнов А.Ю., Кудряшов Д.А.. Разработка под- тормаживающего устройства для шагового привода исполнительных механизмов вертикального перемещения // Электричество, № 5. – 2022. – С. 43-50.

РЕКОМБИНАТОР ВОДОРОДА КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ВОДОРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С РЕАКТОРАМИ ТИПА ВВЭР. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

И.А. Рышкевич¹, А.А. Фиськов¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург

e-mail: IARyshkevich@atomproekt.com

Водородная безопасность является одним из важных элементов обеспечения безопасности водо-водяных реакторов. В работе представлен исторический аспект водородной безопасности на АЭС. Рассмотрены различные подходы по обеспечению водородной безопасности, в том числе конструкции коммерчески доступных рекомбинаторов водорода. Обозначены направления исследований пассивных автокаталитических рекомбинаторов водорода.

Hydrogen safety is one of the key elements in ensuring the safety of pressurized water reactors. The paper presents the historical aspect of hydrogen safety at nuclear power plants. Various approaches to ensure hydrogen safety are considered, including the design of commercially available hydrogen recombiners. The research directions on passive autocatalytic hydrogen recombiners are outlined.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие водорода в корпусе водо-водяного реактора в условиях нормальной эксплуатации, а также его возможное увеличение при авариях было известно до крупных аварий на АЭС. Однако масштаб возможных последствий заставил обратить особое внимание на проблему водородной взрывобезопасности после аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд», произошедшей в 1979 году в США.

Авария 2011 года на АЭС «Фукусима» (Япония), на которой были предусмотрены системы для снижения риска водородного взрыва, показала недостаточность технических систем предотвращения взрыва водорода в условиях тяжелой аварии [2], что потребовало пересмотра подходов и требований к обеспечению безопасности, а также послужило развитием исследований в области водородной безопасности.

Основные существующие подходы по обеспечению водородной безопасности [4]:

- применение тепловых рекомбинаторов;
- применение воспламенителей;
- инертирование среды в контайнменте;
- применение пассивных каталитических рекомбинаторов водорода (далее – ПКВР).

Пассивные каталитические рекомбинаторы водорода обладают рядом преимуществ:

- пассивный принцип действия [2-9];
- реакция рекомбинации водорода запускается самопроизвольно при достижении концентрации во-

дорода в атмосфере контайнмента, соответствующей стартовой концентрации рекомбинатора, и не требует иницирующего воздействия средств автоматики или оператора [2-9].

На сегодняшний день рекомбинаторы водорода для АЭС выпускаются следующими производителями [5-9]:

- Framatome (Франция);
- NIS (Германия);
- SNC-LAVALIN (Канада);
- ООО ИНПК «РЭТ» (Россия);
- Редкинский каталитический завод (Россия).

Принцип работы пассивных каталитических рекомбинаторов водорода: каталитическая реакция окисления водорода является экзотермическим процессом, то есть в результате протекания реакции выделяется тепло. Протекание экзотермической гетерогенной химической реакции на поверхности раздела «газ/катализатор» приводит к нагреву самих несущих элементов, газообразных реагентов и продуктов реакции окисления. Нагретая газовая смесь реагентов и продуктов реакции вследствие плавучести движется вверх и приводит к формированию естественно-конвекционного течения вдоль каталитической поверхности (появлению «тяги») [1].

Конструкции коммерчески доступных ПКВР схожи и представляют собой металлический короб, в нижней части которого размещены каталитические элементы, на поверхности происходит гетерогенная химическая реакция. Такая конструкция обеспечивает

конвекционное движение водородно-воздушной газовой смеси вдоль каталитической поверхности (так называемый «эффект дымохода») и, тем самым, повышает до определенных пределов общую производительность рекомбинатора, а с другой стороны, защищает поверхность катализатора от внешних воздействий, возникающих в контейнменте во время аварии [4].

Каталитические элементы выполнены в различном исполнении: стержни, пластины, шарики. В качестве носителя каталитического материала используется керамика, также используется подход нанесения каталитического материала непосредственно на металл без подложки [4-9].

В качестве каталитического материала преимущественно используются Pt, Pd и их сочетания [4-9].

На сегодняшний день остается нерешенным ряд важных вопросов при применении ПКВР:

- преодоление пиковых выбросов водорода;
- повышение скорости выхода рекомбинатора на номинальную производительность;
- конструкция рекомбинатора должна исключать возможность открытого горения водорода как внутреннего, так и внешнего [3];
- учет пространственной неоднородности химического состава паровоздушной газовой смеси, включая возможную стратификацию и локальные концентрации, при выборе мест размещения рекомбинаторов;
- отсутствует единый обоснованный системный подход к установлению технических параметров, характеристик, функциональных свойств каталитических рекомбинаторов [3].

По результатам обзора и учета международных экспериментальных исследований в рамках проектов ТНАИ (завершен) и ТНЕМИС (не завершен), направленных на изучение: распределения водорода и продуктов деления, в защитной оболочке реактора; работы ПКВР к условиям проектных и запроектных аварий; режимов горения водорода, могут быть улучшены расчетные коды в сосредоточенных параметрах и CFD-модели. Что позволит учитывать возможную неоднородность распределения водорода по помещению контейнмента при размещении рекомбинаторов и более точно оценивать возможный режим горения в условиях пиковых концентраций.

Также на базе Томского политехнического университета планируются исследовательские работы в области улучшения стартовой характеристики рекомбинатора водорода для обеспечения быстрого выхода на номинальный режим в широком диапазоне температур газовой среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубровин А.В., Проблема водорода на АЭС // Атомная энергия – 1984, Том 57, вып. 1 – с. 70-71.
2. Кириллов И.А. и др., Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы // Ядерная и радиационная безопасность – 2017, № 2 (84) – с. 1-12.
3. Кириллов И.А., Харитонов Н.Л., Симоненко В.А., Безгоднов Е.В., Гармонизация подходов к оценке эффективности пределов безопасного функционирования пассивных каталитических рекомбинаторов: системная модель // Атомная энергия – 2021, Том 131, вып. 4 – с. 183-191.
4. Arnould F. Et al. State of Art on Hydrogen Passive Autocatalytic Recombiner, European Union PARSOAR Project // Proceedings of the 9th International Conference on Nuclear Energy (ICONE) – 2001.
5. NIS-PAR Passiv Autocatalytic Recombiner // Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH URL: <https://www.siempelkamp-nis.com/en/products-and-services/nuclear-and-decommissioning/new-construction-and-retrofitting/nis-par/> (дата обращения: 29.04.2023).
6. Passive Autocatalytic Recombiner // Framatome URL: <https://www.framatome.com/solutions-portfolio/docs/default-source/default-document-library/product-sheets/a0642-p-ge-g-en-201908-par.pdf> (дата обращения: 29.04.2023).
7. Пассивные каталитические рекомбинаторы водорода // Русские энергетические технологии URL: <https://www.retech.ru/pkrv> (дата обращения: 29.04.2023).
8. Катализаторы // Редкинский катализаторный завод: <http://www.recatalys.ru/katalizatory/> (дата обращения: 29.04.2023).
9. Passive autocatalytic recombimer (PARS) // SNC LAVALIN: <https://www.snclavalin.com/~media/Files/S/SNC-Lavalin/download-centre/en/case-study/passive-autocatalytic-recombimer-par.pdf> (дата обращения: 29.04.2023).

ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.А. Гурашвили¹, И.В. Кочетов¹, А.К. Курносов¹, О.А. Ситько¹, А.С. Пронина¹, А.Д. Михайлов¹, В.А. Мищенко¹
¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», г. Троицк, г. Москва
 e-mail: sitko@triniti.ru

Предлагаются лазерные методы разделения изотопов, основанные на различных принципах воздействия. Первый основан на смещении границ фазового перехода димер-мономер при охлаждении газового потока путем возбуждения колебательных состояний димеров/мономеров ИК лазерным излучением. Учитывая, что энергия диссоциации димеров значительно меньше энергии возбуждения колебательных уровней, можно ожидать более низкие энергозатраты в предложенном методе по сравнению с традиционными

методами. Второй метод основан на многофотонной диссоциации с выбором подходящей молекулы, что позволит достичь высокого коэффициента разделения.

Laser methods of isotope separation based on various mechanisms of excitation energy transfer are proposed. The first one is based on the displacement of the boundaries of the dimer-monomer phase transition when the gas flow is cooled by excitation the vibrational states of dimers/monomers by IR laser radiation. Considering that the dissociation energy of dimers is significantly less than the excitation energy of vibrational levels, we can expect lower energy consumption in the proposed method compared to traditional methods. The second method is based on multiphoton dissociation with the choice of a suitable molecule, which will achieve a high separation coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Потребность в изотопах относительно легких элементов, таких как ^{15}N , ^{13}C , ^{17}O и ^{10}B , растет с каждым годом. Перспективной областью применения изотопов азота ^{15}N является производство ядерного топлива на основе нитридов урана и плутония, создания поглощающих стержней системы управления и защиты и других элементов быстрых и тепловых реакторов [1]. Основные сферы использования ^{10}B – это атомная энергетика, научные исследования, полупроводниковая промышленность [2]. В настоящей работе обсуждается возможность создания установок разделения изотопов ^{15}N и ^{10}B .

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Обогащать изотопы ^{15}N планируется с использованием метода, основанного на изменении параметров фазового перехода вещества в результате селективного возбуждения ИК-излучением изотоп содержащих молекул. Речь идет о возможности лазерного разделения изотопов, основанного на резонансном возбуждении колебательных мод изотопных мономеров, входящих в состав Ван-дер-Ваальсовых димеров, занимающих промежуточное положение между молекулярным и конденсированным состояниями вещества и образующихся вблизи границы фазовых переходов за счет слабых межмолекулярных сил.

При протекании фазового перехода газ-жидкость в сверхзвуковом потоке, в котором происходит быстрое охлаждение газовой смеси, процесс образования молекулярных кластеров начинается с образования димерных комплексов. Если исходные мономеры (или один из них) имеют постоянный дипольный момент, то димеры характеризуются соответствующими полосами поглощения в ИК-спектре. Важно, чтобы

энергия кванта $h\nu$, соответствующего полосе поглощения Ван-дер-Ваальсового комплекса, была больше энергии связи этого комплекса. Колебательное возбуждение моды димера, соответствующей колебанию мономера, и последующая колебательная преддиссоциация возбужденных димеров приводят к разрушению изотоп содержащего димера.

Это обстоятельство лежит в основе метода разделения изотопов, основанного на использовании резонансного излучения, оказывающего сильное влияние на границы фазового перехода вследствие разрушения димеров под действием лазерного излучения. Преимуществом метода является его потенциально высокая эффективность, так как на разрушение димера затрачивается порядка одного кванта ИК лазерного излучения [3].

Необходимым условием эффективного использования лазерного источника для разделения изотопов является выбор рабочей частоты лазерного источника, на которой возможно сильное поглощение излучения димерами, а также выбор рабочего соединения. При выборе рабочего вещества для разделения изотопов ^{15}N необходимо учитывать, что молекула N_2 не активна в ИК-спектре из-за отсутствия постоянного дипольного момента, и необходимо использовать азотосодержащие молекулы, например NO .

Разделять изотопы ^{10}B планируется с использованием другого метода ИК селективной многофотонной диссоциации молекул с помощью импульсного CO_2 -лазера. Перспективным в этом плане представляется соединение транс-2-хлорэтилендихлорборана, имеющего полосы поглощения в области генерации CO_2 -лазера. Данная молекула эффективно диссоциирует при сравнительно невысокой пороговой плотности лазерного излучения.

В результате проведенных экспериментов по облучению молекул транс-2-хлорэтилендихлорборана на частотах лазерного излучения, резонансных с низкочастотным крылом полосы ИК поглощения молекул, происходит селективная многофотонная диссоциация, в результате которой борсодержащий продукт диссоциации BCl_3 обогащается изотопом ^{10}B . После проведенных экспериментов было достигнуто максимальное значение селективности диссоциации $\alpha(10/11) \approx 100$ [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, не вызывает никаких сомнений перспективность использования лазерных методов в обогащении изотопов для атомной энергетики, т. к.

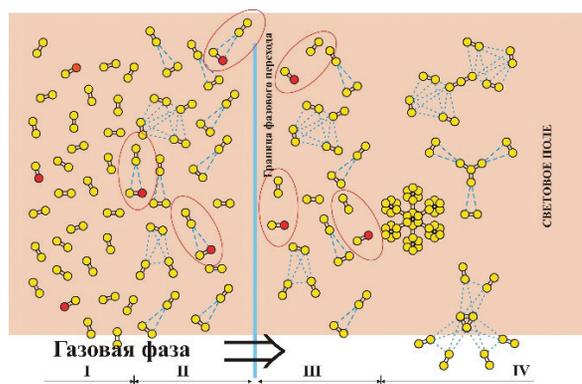


Рис. 1. Газовая смесь в световом поле:
● – изотопный атом

на данный момент отсутствуют рабочие методы для обогащения изотопов бора в России, а для изотопов азота есть потребность в разработке энергоэффективного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравьев Е.В. Топливообеспечение ядерной энергетики с вводом быстрых реакторов. 2014 г.
2. Стратегия развития атом. эн. России в I половине XXI века. // Минатом РФ, Москва, 2000 г./ С. 26.

3. J.-M. Philipoz, J.-M. Zellweger, H. van den Bergh, R. Monot // Infrared Vibrational Predissociation of van der Waals Clusters: Applications to Isotope Separation // J. Phys. Chem., v.88, 3936-3938, 1984

4. Лаптев В.Б., Макаров Г.Н., Мищенко В.А., Петин А.Н., Пигульский С.В., Рябов Е.А. // Измерение параметров селективной МФ диссоциации молекул 2-хлорэтанол дихлорборана излучением импульсного CO₂-лазера // Материалы конференции: Физико-химические процессы в атомных системах. Москва, 2022.

ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Е.Ю. Терехов¹, В.В. Елистратов²

¹АО «Силовые машины», завод «Электросила», г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
e-mail: Terekhov_EY@power-m.ru, elistratov@spbstu.ru

Несмотря на современные тенденции низкоуглеродного развития, мировая энергетическая инфраструктура по-прежнему остается весьма углеродоемкой, что заставляет искать новые технологии, способствующие декарбонизации энергетики. В настоящей работе представлены результаты анализа потенциала и методы реализации низкоуглеродного производства водорода путем электролиза воды на эксплуатируемых атомных электростанциях России с учетом их текущих производственных показателей.

Despite the current low-carbon economy trends, global power still remains highly carbon-intensive. This forces us to look for new technologies that promote the decarbonization of energy. This paper presents methods review and capacity estimation of the water electrolysis hydrogen production potential at the operating nuclear power plants of Russia, based on its actual performance.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день более 60 % мировой потребности в электроэнергии обеспечивается за счет ископаемых источников энергии [1]. Сохранение текущей доли использования ископаемых энергоносителей чревато увеличением выбросов парниковых газов и, как следствие, развитием глобальных экологических проблем, в первую очередь связанных с ростом температуры приземного воздуха. Ключевым элементом в предотвращении климатических изменений является внедрение низкоуглеродных технологий [2], в том числе позволяющих встраивать процесс производства водорода в работу атомных электростанций (АЭС), способствуя повышению эффективности их эксплуатации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Предполагается, что объем мирового производства водорода к 2050 году увеличится со 115 до 700 млн т/г (в 6 раз), 60 % которого будет производится методом электролиза воды. При этом спрос на водород в сфере энергетики увеличится в 18 раз и достигнет 170 млн т/г [3].

В сравнении с другими энергоносителями водород обладает рядом преимуществ:

- высокая удельная энергетическая емкость водорода (1 кг водорода эквивалентен 2,75 кг бензина) [4];
- возможность долгосрочного масштабного хранения и транспортировки на большие расстояния [5];

- смешивание природного газа с водородом для снижения выбросов парниковых газов при сжигании;
- возможность производства водорода с низким углеродным следом методом электролиза воды за счет АЭС или возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Российская атомная отрасль обладает значительным потенциалом по развитию электролизного производства водорода, и с 2018 года водородная энергетика является приоритетным направлением научно-технического развития госкорпорации «Росатом» [6].

К 2025 году «Росатом» планирует реализовать пилотный проект по производству водорода методом электролиза воды на Кольской АЭС, который будет включать в себя электролизный блок (суммарной производительностью 200 м³/ч и мощностью 1 МВт) и оборудование для сжатия и хранения водорода (в баллонах под давлением 400 атмосфер) [7]. Предполагается, что ежегодное производство комплекса составит 150 т. При успешной эксплуатации СИК реализация подобных проектов возможна и на других объектах атомной энергетики РФ.

В настоящее время в России эксплуатируется 11 АЭС, и при учете достигнутого у нас технического уровня электролизного оборудования (4,8 кВт·ч для производства 1 м³ H₂) [8] потенциал производства низкоуглеродного водорода за счет неиспользуемой энергии АЭС РФ составляет 200 млрд м³ (табл. 1), или

Таблица 1. Производственные показатели АЭС России на 2022 г. [6]

Показатель	Значение
Суммарная установленная мощность АЭС России, ГВт	29,51
Количество действующих энергоблоков	37
Средний КИУМ, %	79,06
Суммарная выработка, млрд кВт·ч/г	272,31
Неиспользуемая энергия, млрд кВт·ч/г	41,24
Потенциал производства водорода, млрд м ³ /г	197,97

17,8 млн т/г, что в четыре раза превышает потребность России в водороде (4,5 млн т/г).

Производство водорода на АЭС может быть реализовано следующими методами.

1. Увеличение выработки АЭС при сохранении выдаваемой в сеть энергии.

В данном случае производство водорода может осуществляться за счет энергии, на которую была увеличена генерация относительно нагрузки. Такое решение способствует повышению коэффициента использования установленной мощности (КИУМ), что является приоритетной задачей в сфере эксплуатации российских АЭС [6].

2. Производство водорода при резком снижении нагрузки (рис. 1).

Данное решение может способствовать косвенному повышению маневренности электростанций за счет перераспределения генерируемой энергии АЭС при снижении нагрузки.

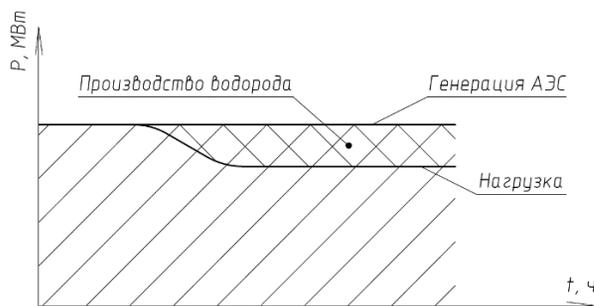


Рис. 1. Производство водорода при резком снижении нагрузки

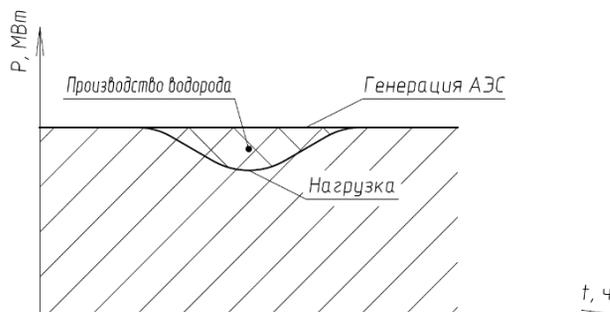


Рис. 2. Производство водорода в ночные часы провала графика нагрузки

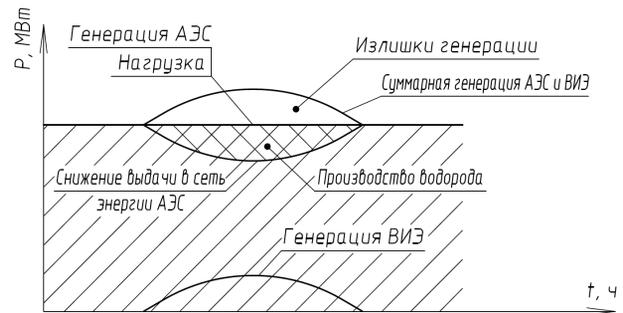


Рис. 3. Совместная работа АЭС и объектов на основе ВИЭ

3. Производство водорода в ночные часы провала графика нагрузки (рис. 2).

Данное решение может способствовать облегчению прохождения ночного минимума графика нагрузки.

4. Совместная работа АЭС и объектов на основе ВИЭ (рис. 3).

При максимизации доли генерации ВЭС и уменьшении выдаваемой в сеть энергии АЭС недоотпущенная энергия АЭС может быть использована для производства водорода. Такое решение может быть реализовано, например, при совместной работе Кольской АЭС и ВЭС.

Проблемой, ограничивающей распространение электролизных технологий, является высокая доля импортных комплектующих оборудования (для энергетического сектора 40%). ООО НПО «ПромЭнергоМаш», представляющее компетенции АО «Силовые машины» в направлении водородной энергетики [8], планирует обеспечить рынок электролизного оборудования электролизными блоками и системами управления, полностью выполненными на отечественной элементной базе к 2024 году. В настоящее время основным направлением деятельности «ПромЭнергоМаш» является разработка и изготовление щелочных (производительностью до 30 м³/ч) и протонообменных электролизеров (производительностью до 10 м³/ч). Перспективным направлением разработок являются электролизеры блочно-модульного типа и установки большой производительности (от 60 до 500 м³/ч) [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом прогнозируемых темпов роста мировой потребности в водороде и концепции низкоуглеродного развития мировой энергетики производство водорода методом электролиза воды может стать одним из наиболее перспективных направлений развития современной энергетики. Потенциал производства низкоуглеродного водорода на объектах атомной энергетики РФ составляет 17,8 млн т/г, что в четыре раза превышает современную потребность России в водороде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетика: ключевые показатели [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ourworldindata.org/energy-key-charts> (дата обращения: 05.04.2023).

2. Елистратов В.В., Денисов Р.С. Развитие изолированных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии и водородного аккумулирования. – Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ). 2023, №1 (406), 2023 с.12–22.

3. S. P. Filippov, A. B. Yaroslavtsev, «Hydrogen energy: development prospects and materials», RUSS CHEM REV, 2021, 90 (6), 627–643, DOI: 10.1070/RCR5014

4. H-Tec Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.h-tec.com/> (дата обращения: 12.03.2023).

5. Митрова, Т. Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию /Т. Митрова, Ю. Мельников, Д. Чугунов. – М.: ЦЭМШУ СКОЛКОВО, 2019. – 62 с.

6. Росатом: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatom.ru> (дата обращения: 22.03.2023).

7. Навстречу водородной экономике // Вестник атомпрома. 2021. №9. С. 16–21.

8. ООО НПО «ПромЭнергоМаш» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.npromet.ru/ru> (дата обращения: 23.04.2023).

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ АРГОНОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ОБОРУДОВАНИЯ АЭУ

Г.Б. Фомин¹, И.А. Морозовская¹

¹НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург

e-mail: nprk6@crism.ru

Рассмотрена техническая возможность применения аргонодугового импульсного процесса плавящимся электродом при наплавке антикоррозионного покрытия корпусного оборудования судовых атомных энергетических установок с водным теплоносителем.

Проведены испытания опытных наплавов, выполненных сварочной проволокой марок Св-07Х25Н13 для первого слоя и Св-04Х20Н10Г2Б для второго слоя.

The technical feasibility of using MIG pulsed, when surfacing an anticorrosion coating on the case ship equipment of nuclear power plants with a water coolant, is considered.

Tests of experimental deposited metal made with welding wire of the grades Св-07Х25Н13 for the first layer and Св-04Х20Н10Г2Б for the second layer were carried out.

ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении оборудования судовых атомных энергетических установок одной из наиболее трудоемких операций является наплавка антикоррозионного покрытия (АКП) на внутреннюю поверхность корпусов из сталей перлитного класса.

В настоящее время для поверхностей большой площади наплавка АКП выполняется преимущественно в два слоя автоматическим электродуговым способом сварочной лентой под флюсом: первый слой непосредственно на основной металл лентой Св-07Х25Н13 для формирования аустенитной структуры в зоне сплавления, а второй – коррозионостойкий слой выполняют лентой Св-04Х20Н10Г2Б в целях обеспечения стойкости против МКК, в том числе после технологических отпусков металла наплавки в составе изделия [1]. В некоторых случаях применяется наплавка однородного АКП электрошлаковым способом лентой Св-02Х21Н11Г2Б [2].

Главным преимуществом данных способов является высокая производительность. Однако флюс накладывает ограничения на пространственность процесса и технологичность, в частности требования к радиусу кривизны поверхности в зоне наплавки АКП. Поэтому наплавки в труднодоступных и переходных местах, а также на деталях сложной формы, как, например, внутренняя поверхность патрубков, галтели, наплавка автоматическим способом под слоем флюса невыполнима. В этих случаях применяют метод ручной

дуговой наплавки покрытым электродом (РДН) марки ЗИО-8 для первого слоя и ЭА-898/21Б для второго и последующих слоев.

Метод аргонодуговой наплавки плавящейся проволокой не допущен нормативной документацией (НД) для выполнения антикоррозионного покрытия при изготовлении судовых энергетических установок с водным теплоносителем. Для ремонта допущена только ручная аргонодуговая наплавка неплавящимся электродом с присадочной проволокой.

В промышленности применяется метод полуавтоматической импульсной аргонодуговой сварки и наплавки плавящейся проволокой в защитном газе для различного оборудования с обеспечением требуемого качества наплавленного металла и зоны сплавления [3]. Поэтому было принято решение оценить перспективу данного метода для наплавки АКП оборудования судовых энергетических установок в качестве альтернативы РДН.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе наплавки двойного многослойного АКП, выполнялись плавящимся электродом – проволокой марок Св-07Х25Н13 и Св-04Х20Н10Г2Б в смеси защитных газов типа М21 по ГОСТ Р ИСО 14175-2010 (97,5 % Ar+2,5 % CO₂) на инверторной установке Fronius TransPulseSynergic 4000 на низколегированную перлитную сталь. Для подтверждения возможности выполнения наплавки в переходных ме-



Рис. 1. Вид наплавленных валиков

стах, а также на деталях сложной формы валики выполняли в двух положениях: в нижнем и горизонтальном при вертикальном расположении пластины.

Технологические параметры наплавки проволоками диаметром 1,2 мм: постоянный ток обратной полярности; режим: сварочный ток – 200±20 А, напряжение на дуге – 27±1 В, скорость наплавки – 280±20 мм/мин, расход защитного газа – 22±2 л/мин.

При неразрушающем контроле (в объеме 100% ВИК и УЗК зоны сплавления) всех контрольных наплавленных поверхностей (КНП) выявлено отсутствие недопустимых дефектов металла наплавки и зоны сплавления. Внешний вид валиков показан на рис. 1. Отмечено удовлетворительное формирование валиков.

Химический состав и содержание ферритной фазы в наплавленном металле соответствуют требованиям НД.

По результатам испытания на стойкость против МКК по методу АМУ ГОСТ 6032–2017 после минимальной и максимальной термообработки признаков межкристаллитной коррозии ни на одном образце обнаружено не было, что свидетельствует о достаточной коррозионной стойкости наплавленного металла.

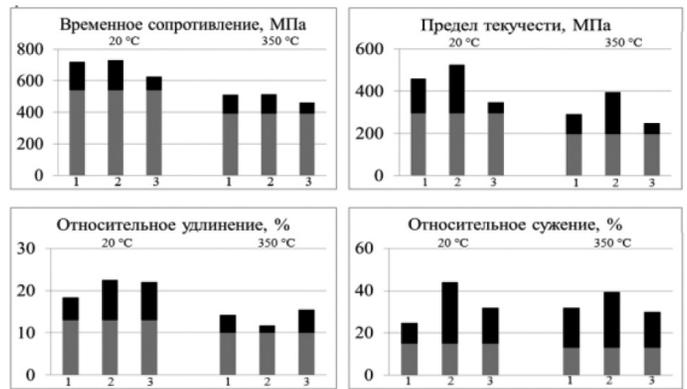
При металлографическом исследовании на поперечных макрошлифах дефектов обнаружено не было.

Данные рисунков 2 и 3 свидетельствуют о том, что КНП в полной мере обеспечивают требования, предъявляемые к механическим свойствам металла АКП, выполненного РДН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

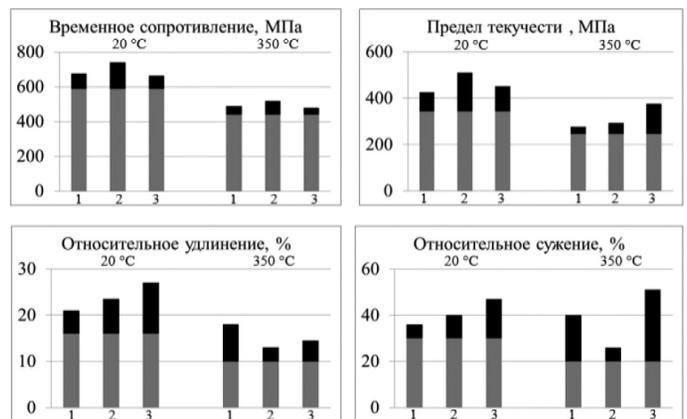
1. Технология полуавтоматической импульсной аргодуговой наплавки плавящейся проволокой позволяет получить хорошее формирование валиков и бездефектное качество наплавленного металла.

2. Характеристики наплавленного металла удовлетворяют требованиям НД, предъявляемым к металлу АКП, выполненному электродами ЗИО-8 и ЭА-898/21Б, что говорит о технической возможности



■ – нормативные требования;
■ – результаты испытаний

Рис. 2. Результаты испытания механических свойств наплавки проволокой Св-07Х25Н13



■ – нормативные требования;
■ – результаты испытаний

Рис. 3. Результаты испытания механических свойств наплавки проволокой Св-04Х20Н10Г2Б

применения этого способа для судовых энергетических установок с ВВЭР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баландин Ю.Ф., Горынин И.В. и др. Конструкционные материалы АЭС / М.: Энергоатомиздат, 1984, 280 с.
2. Тимофеев М.Н., Морозовская И.А., Галяткин С.Н., Затоковенко Н.И. / Исследование коррозионностойких наплавочных покрытий оборудования АЭУ, выполненных ленточным электродом дуговым и электрошлаковым способами // Вопросы материаловедения № 105, – 2021 с. 94-106.
3. K. He, L. Dong, Q. Wang (2022). Comparison on the micro-structure and corrosion behavior of Inconel 625 cladding deposited by tungsten inert gas and cold metal transfer process. Surface and Coatings Technology, 435, Article 128216.

ПОДХОД И ОПЫТ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И АТОМНЫХ УСТАНОВОК

Д.А. Шурыгин¹, Л.Я. Левков¹, В.С. Дуб¹, А.Н. Мальгинов¹, А.Г. Баликоев¹, А.В. Лобов¹, А.Н. Тохтамышев¹, И.А. Щепкин¹, М.С. Соловьева¹, Е.В. Якушев¹

¹АО «НПО «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения», г. Москва
e-mail: DASHurigin@cniitmash.com

В процессе развития техники с целью повышения эффективности работы создаваемого оборудования, как правило, происходит увеличение нагрузки на его элементы и ужесточение условий его работы. Для этого создаются новые материалы, обладающие необходимыми свойствами для обеспечения безопасной эксплуатации в установленный конструктором ресурс работы. Помимо создания материалов не менее важным является технология производства заготовок этих элементов изделий.

Представленные в настоящем докладе материалы отражают результаты АО «НПО «ЦНИИТМАШ» подхода и опыта создания новых материалов и технологий их производства для нужд энергетики, в том числе атомной, и газонефтехимической промышленности.

In the process of developing technology in order to increase the efficiency of the created equipment, as a rule, there is an increase in the load on its elements and the tightening of its operating conditions. To do this, new materials are created that have the necessary properties to ensure safe operation within the work resource set by the designer. In addition to the creation of materials, the technology for the production of billets for these elements of products is no less important.

The materials presented in this report reflect the results of JSC «SRPA «CNIITMASH» approach and experience in creating new materials and technologies for their production for the needs of the energy sector, including nuclear, and the gas and petrochemical industry.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время металлургия ориентирована не только на большие объемы производства, но и на производство заготовок изделий ответственного назначения для нужд тепловой и атомной энергетики, газонефтехимии и других отраслей промышленности, характеризующихся значительным ростом требований к качественным показателям металла, определяемым технологией производства: получение заданной структуры металла, снижение количества и оптимизации размеров неметаллических включений, однородности физико-механических и специальных свойств во всех сечениях изделия [1]. Кроме того, немаловажными являются обеспечение контроля, управляемости и прослеживаемости технологии производства, а также ее цифровизация и возможность предиктивного управления [2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Наглядным примером совершенствования продуктов для атомного энергетического машиностроения является эволюция требований основного конструкционного материала для корпусов атомных реакторов ВВЭР-1000 – отчетливая тенденция, направленная на получение особо чистой стали [3]. Тот же подход имеет место при создании материалов для РУ следующих поколений, например, типа ВВЭР-С.

Одними из основных параметров материалов, применяемых в энергомашиностроении, влияющих на получение высокого уровня качества, являются нежелательные примеси – S (< 20-30 ppm), P (< 30-40 ppm), O, цветные металлы и др.

Однако для других задач, решаемых с помощью применения специальных материалов, нежелательным может являться и содержание углерода. Так, например, «ЦНИИТМАШ» освоил импортозамещающую технологию производства полос из высокохромистого материала (хром 22-24 %) с содержанием C и S менее 30 ppm каждого. Это позволило обеспечить заданные характеристики ТКЛР для эффективного применения металлических элементов в составе изделия.

Значительным технологическим способом управления структурой и оптимизации размеров и топологии включений, особенно крупных металлических заготовок, является использование метода специальной электрометаллургии (ЭШП, ВИП, ВДП). С применением ЭШП создана технология производства заготовок для оборудования ТЭС и АЭС – полые и фасонные заготовки для изготовления комплектов паропроводного оборудования и арматуры из новых жаропрочных хромистых сталей типа 10X9MФБ, 10X9B2MФБР и др. для работы на повышенных параметрах пара (температура до 600 °С, давление до 30 МПа).

Кроме того, технология производства слитков ЭШП из новой супердуплексной стали 03X23H6M4ДЗАБ-Ш [4], обладающей эксплуатационными характеристиками, не уступающими либо превосходящими показатели большинства зарубежных аналогов, предназначена для изготовления химического и нефтехимического оборудования, среди наиболее востребованных типов которого можно выделить:

- насосно-компрессорное оборудование по стандарту API 610;

- оборудование для шельфовой добычи, включая запорную арматуру в исполнении КЗ;
- теплообменное, опреснительное и емкостное оборудование для химически активных сред и др.

Специалистами АО «НПО «ЦНИИТМАШ» разработана новая криогенная сталь, работающая в условиях экстремально низких температур [5]. Новая криогенная сталь типа ОН6 обладает более высокими, чем у аналогов, механическими свойствами в зоне криогенных температур. В промышленных условиях освоено производство толстолистового проката из новой экономнолегированной стали, что дает возможность снизить себестоимость на 25-40% производимого криогенного оборудования за счет ее применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АО «НПО «ЦНИИТМАШ» обладает компетенциями, касающимися всего цикла производства заготовок и металлоизделий из сталей и сплавов, опытом разработки и применения новых материалов и технологий, собственной научно-производственной базой и аттестационным центром.

В условиях и/или при технологическом сопровождении специалистов АО НПО «ЦНИИТМАШ» можно обеспечить замещение импортных поставок заготовок и ответственных изделий.

АО «НПО «ЦНИИТМАШ» готово разработать/оптимизировать технологии и поставить специальное оборудование, программный продукт для производственных нужд заказчика с целью освоения новых видов продукции, сокращения производственных издержек, повышения качества продукции с целью

повышения ее конкурентоспособности и повышения экспортного потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние специальных условий затвердевания стальных слитков на формирование их структуры и характеристики неметаллических включений / Д.А. Шурыгин, М.В. Ульянов, Л.Я. Левков, В.С. Дуб, С.В. Орлов, Д.К. Терехин // IX Международная конференция «Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии», г. Ижевск, 2022;
2. Сафронов А.А., Ронков Л.В., Мальгинов А.Н., Иванов И.А., Щепкин И.А., Сосин С.В., Яценко В.К. Методология цифрового описания технологического процесса выплавки полупродукта в дуговой сталеплавильной печи. *Металлург*, № 5, 2021. С. 65-70.
3. Баликоев А.Г., Толстых Д.С., Иванов И.А., Дуб В.С. Новые корпусные материалы для перспективных ядерных реакторов. Сборник трудов, XVI Международный конгресс сталеплавильщиков и производителей металлов, Екатеринбург, 2021. С. 230...233.
4. Левков Л.Я., Терехин Д.К., Каширина Ж.К., Шурыгин Д.А., Ульянов М.В., Нуралиев Ф.А., Гуденко А.С., Калугин Д.А., Шипова Е.В., Ковалев И.Б., Косырев К.Л., Смаковский М.С., Чистопольцева Е.А. Разработка супердуплексной стали и технологий изготовления кованных и литых заготовок судовой арматуры. *Арматуростроение*, 2/131, 2021. с. 54.
5. Якушев Е.В., Багирова Л.В., Зикеев В.Н. и др. Новая экономнолегированная никелевая сталь для техники сжиженного природного газа и режим ее термической обработки // *МиТОМ*. Апрель 2022. № 4 (802). С. 18-22.

РОЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ТУРИЗМА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ КОНЦЕРНА «РОСЭНЕРГОАТОМ»

Е.А. Бастина¹

¹Администрация Сосновоборского городского округа, г. Сосновый Бор
e-mail: katerina.infa@yandex.ru

Анализируется промышленный туризм в контексте комплексного управления территориями высокого научного и технологического потенциала. Обозначается социально-экономическая роль промышленного туризма в обосновании стратегии технологического лидерства России. Развитие промышленного туризма рассматривается как дополнительный ресурс в популяризации производств, тиражировании лучших практик, презентации новых технологических решений.

Industrial tourism is analyzed in the context of integrated management of territories of high scientific and technological potential. The socio-economic role of industrial tourism in substantiating the strategy of technological leadership of Russia is indicated. The development of industrial tourism is considered as an additional resource in the popularization of production, replication of best practices, presentation of new technological solutions.

ВВЕДЕНИЕ

В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации научно-технологическое развитие определяется как трансформация науки и технологий в ключевой фактор развития и обеспечения способности страны эффективно отвечать на большие вызовы [1].

С учетом новой повестки европейской безопасности и вызовов режиму нераспространения ядерного оружия на первый план выходит укрепление позиций технологического лидерства, которое тесно связано с эффективным и принципиально новаторским подходом к развитию науки и технологий. Промышленный сектор может упрочить позиции технологического лидерства за счет инновационной формы реализации научно-технического потенциала – промышленного туризма.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Промышленный туризм подразумевает использование ресурсов промышленности в качестве демонстрации промышленного потенциала. В узком понимании речь идет об организованном посещении объектов промышленности с целью знакомства с их особенностями. Однако использование ресурсов промышленности следует рассматривать гораздо шире с учетом укрепления позиций технологического лидерства за счет промышленного туризма, когда на первый план выходит социально-экономический аспект.

Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года предусматривает увеличение социальной и экономической роли туризма в развитии страны и отдельных субъектов России [2]. Социальная роль – в удовлетворении потребности людей в отдыхе, впечатлениях и личностном развитии, экономическая роль – в ускорении экономического роста, обеспечении занятости населения.

По мнению американских исследователей Джозефа Пейна и Джеймса Гилмора, мировая экономика еще около 20 лет назад миновала такие стадии развития,

как сырьевая, товарная, экономика услуг, и находится на пороге очередной стадии своего развития – экономики впечатлений [3]. Промышленный туризм, как и любой другой вид туризма, гарантирует впечатления. При этом увеличивает социальную и экономическую роль туризма и позволяет производить уникальный туристический продукт, что дает возможность использовать потенциал территории в комплексе. В приоритете оказываются территории, которые за счет региональных и отраслевых особенностей вносят вклад в обеспечение стабильного развития экономики своего региона и страны – территории высокого научного и технологического потенциала.

С учетом Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года представляется актуальным развитие промышленного туризма на примере территорий предприятий концерна «Росэнергоатом», представляющего энергетический дивизион Госкорпорации «Росатом» и охватывающего производство электрической и тепловой энергии на атомных станциях России. Атомграды, как территории высокого научного и технологического потенциала, могут в полной мере использовать синтез возможностей промышленного туризма, а как следствие – стать точками роста в укреплении позиций технологического лидерства страны.

Синтез возможностей реализуется в процессе посещения производства и представляет собой следующие аспекты:

- образовательный аспект позволяет углубить знания школьников и студентов в области профильных дисциплин и разнообразить учебный процесс за счет вовлечения в практическую деятельность;

- кадровый аспект формирует профессиональный выбор школьников и студентов в пользу будущего трудоустройства на предприятиях концерна «Росэнергоатом», способствует укреплению кадрового потенциала атомной отрасли и закреплению лучших умов на территории расположения производства;

- инвестиционный аспект открывает перспективы для установления деловых связей и упрочнения ста-

туса территории высокого научного и технологического потенциала как точки непрерывного социально-экономического роста;

– маркетинговый аспект предполагает широкое информирование о преимуществах атомграда в качестве территории высокого научного и технологического потенциала для формирования лояльности и закрепления понятия «атомград» как бренда территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие промышленного туризма неотделимо от взаимодействия с органами государственной власти и учета потребностей конкретного региона. Подобный подход отвечает запросам на новые технологии комплексного управления территориями, определенный в качестве приоритетного для территорий высокого научного и технологического потенциала. Средоточие синтеза возможностей промышленного туризма на посещениях территорий расположения предприя-

тий концерна «Росэнергоатом» может служить удачной практикой регионального развития и укрепления позиций технологического лидерства страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации № 642 от 01.12.2016 (в редакции Указа Президента Российской Федерации от 15.03.2021 №143) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2016. – № 49. – Ст. 6887.

2. Стратегии развития туризма Российской Федерации на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.09.2019 № 2129-р // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2019. – № 32. – Ст. 5460.

3. Пейн Д.Б., Гилмор Д.Х. Экономика впечатлений. Работа – это театр, а каждый бизнес – сцена. – М.: Вильямс, 2005.

НАСТАВНИЧЕСТВО ДЛЯ ДЕТЕЙ-СИРОТ: УНИКАЛЬНОЕ ВОЛОНТЕРСКОЕ СООБЩЕСТВО НА БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

А.С. Галимова¹

¹Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Белоярская атомная станция», г. Заречный
e-mail: oimzo-m@belnpp.ru

В статье представлено описание волонтерского движения, сформировавшегося на Белоярской АЭС и направленного на социализацию детей-сирот и адаптацию их к жизни вне учреждения.

The article presents description of the voluntary movement formed at the BNPP and aimed at socialization and adaptation of orphaned children to their life outside the institution.

ВВЕДЕНИЕ

Сотрудники Белоярской АЭС совместно с автономной некоммерческой организацией социально-психологической поддержки «Мир меняют люди» реализуют проекты «Я смогу!» и «Наставничество».

Целью является повышение уровня социализации и адаптации детей-сирот с помощью волонтеров-наставников.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Главной задачей проекта является создание, развитие и сохранение уникального волонтерского сообщества добровольцев на предприятии, способных правильно взаимодействовать с детьми-сиротами, в том числе и с детьми с особыми потребностями.

Задачи для предприятия:

- раскрытие лидерских качеств молодых сотрудников;
- создание условий для творческой самореализации сотрудников;
- распространение и поддержка лучших волонтерских инициатив;
- повышение вовлеченности персонала (проекты реализуются волонтерами добровольно и безвозмездно, с целью общественной пользы волонтеры участвуют в проекте по своей инициативе).

1. Проект «Я смогу» предполагает коллективные выезды волонтеров 1 раз в месяц в школу-интернат к детям с ограниченными возможностями здоровья. Проект уникален и направлен на развитие социальных и бытовых навыков у детей-сирот с ментальными нарушениями.

В рамках программы предусмотрено расширение кругозора и общих знаний о мире, формирование и закрепление коммуникативных и социальных навыков, формирование чувства уверенности в себе и доверия к окружающему миру, эмоциональная и психологическая разгрузка, подготовка к самостоятельной жизни.

Важным условием реализации программы является регулярность занятий (1 раз в месяц), постоянный состав группы волонтеров, которые прошли специальную подготовку на вводных тренингах. Такой формат реализации программы позволит создать доверительные отношения между воспитанниками и волонтерами, дети и волонтеры смогут установить личный дружеский контакт, накапливать опыт и эмоции от общения, видеть динамику развития отношений.

Проводятся следующие виды активности во время занятий: психологические и социальные тренинги, мастер-классы, спортивные игры, викторины и пр. Программа работы по проекту создается командой

волонтеров, для участников организованы регулярная психологическая поддержка и сопровождение.

2. Проект «Наставничество» реализуется на территории РФ при поддержке и по методологии благотворительного фонда «Солнечный город» и предполагает формирование пар: взрослый волонтер – ребенок (участвуют дети-подростки, проживающие в ближайших социально-реабилитационных центрах). На сегодняшний день в России сформировано более 1000 пар ребенок – наставник.

В проекте принимают участие дети – подростки старше 12 лет, которым зачастую нужно определиться с будущей профессией, иногда помочь с документами, если ребенок уже выпускается из интерната, спросить совета о вещах, которые для детей, проживающих в семье, кажутся элементарными и не возникает необходимости их дополнительно объяснять.

Волонтеры, принимающие участие в проекте, проходят вводные тренинги, медосмотр, собеседование с психологом, получают разрешение от органов опеки для оформления гостевого режима и более продуктивного общения с детьми.

Основная цель данного взаимодействия – дружба, формирование устойчивых эмоциональных и психологических связей у подростка, оставшегося без попечения родителей, появление в жизни подростка значимого взрослого.

Основным инструментом для реализации проектов является технология ведения, основанная на последовательности этапов его реализации: привлечение добровольцев, обучение на вводном семинаре и отбор, подготовка к работе с детьми, разработка занятий с учетом возможностей волонтеров и детей, организационное и психологическое сопровождение команды волонтеров, оценка эффективности работы и внесение изменений в программу в соответствии с индивидуальными потребностями детей и рекомендациями сотрудников учреждения.

Дополнительным инструментом для реализации проектов является взаимодействие и выстраивание

отношений с партнерами (которым в данном случае является Белоярская АЭС), что включает в себя:

- предоставление помещения для обучения волонтеров и проведения супервизий с участниками проекта;
- организация транспортного обслуживания;
- приобретение необходимых сопутствующих товаров;
- информационная поддержка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дети-сироты с ОВЗ большую часть своей жизни находятся в социальной изоляции. Они живут и учатся в одном месте с постоянным коллективом взрослых и детей, редко выезжают за пределы школы-интерната в силу того, что имеют коммуникативные и когнитивные дефициты, им трудно адаптироваться к окружающим условиям и коллективу, им необходимо много времени на адаптацию, на освоение новых принципов, на изучение новых правил, на привыкание к новому месту и людям, что препятствует развитию их коммуникативных и социальных навыков и является главным барьером для их жизни в обществе. Кроме того, проживание в условиях изоляции и отсутствие разнообразного опыта общения негативно сказываются на психоэмоциональном состоянии воспитанников, поэтому необходима серьезная работа по социальной адаптации с помощью общественности.

Если не решать проблему социальной изоляции детей-сирот в школьном возрасте, то в будущем ситуация будет только ухудшаться: чем старше становится такой ребенок, тем сложнее его социализировать и тем меньше шансов на его самостоятельную жизнь в обществе.

Развитие подобных проектов благоприятно сказывается на коллективе предприятия, имеет огромное влияние на повышение вовлеченности персонала, способствует популяризации социальной политики наставничества в целом, соответствует основным принципам «Росатома» и рекомендуется к тиражированию на всех предприятиях отрасли.

МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПРОЕКТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ АО «НИФХИ ИМ. Л.Я. КАРПОВА»)

О.И. Галисенкова¹, Е.О. Орлова¹, И.Г. Солонко¹, Д.С. Зайцев¹, Д.А. Пахолик¹, В.И. Степанов¹

¹АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», г. Обнинск

e-mail: o.galisenkova@karpovipc.ru, OrlovaEO@karpovipc.ru

Социальная ответственность предприятия – это добровольный вклад организации в развитие общества в социальной, экономической и экологической сферах, связанный напрямую с его основной деятельностью и выходящий за рамки определенного законом минимума (соблюдение установленных в обществе норм и правил). Реализация концепции социальной ответственности организации зачастую осуществляется посредством инициирования социально значимых проектов. Как известно, молодежь является самой активной, инициативной и мобильной частью общества и предприятия. Создание молодежного объединения на предприятии позволяет повысить эффективность, результативность и оригинальность реализуемых социально значимых проектов.

The social responsibility of an enterprise is a voluntary contribution of an organization for the development of the society in the social, economic and environmental spheres, directly related to its main activity and going beyond the minimum, specified by the law (compliance with the norms and rules established in society). The implementation of the concept of social responsibility of an organization is often carried out through the initiation of socially significant projects. As known, young people are the most active, enterprising and mobile part of the society and enterprise. The creation of a youth association at the enterprise makes it possible to increase the efficiency, effectiveness and originality of socially significant projects being implemented.

ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке общество в целом предъявляет высокие требования к предприятиям и организациям, осуществляющим коммерческую деятельность, в части решения актуальных социально важных проблем населения. По данным исследования, проведенного компанией Cone Communications в 2020 году, 87% респондентов заявили, что купят товар компании, если она выступает за проблему, которая их волнует.

Предприятия, в том числе в России, зачастую на подобные вызовы населения отвечают посредством реализации социально значимых программ и проектов. Реализация подобных мероприятий показывает уровень социальной ответственности организации.

Так как разработка и реализация социально значимых проектов требует значительного временного вклада, креативных идей и физической активности, предприятия привлекают молодых сотрудников для эффективного осуществления подобных проектов.

В России в последнее десятилетие активно ведется работа по формированию различных молодежных объединений, в основе которых лежит убеждение в том, что молодежь является главным ресурсом развития страны, в том числе и в социальной сфере.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2020 году в АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», как и в ряде других предприятий Госкорпорации «Росатом», был создан молодежный совет. В рамках совета был сформулирован следующий вектор работы объединения:

- содействие профессиональному и личностному росту молодежи предприятия;
- выражение интересов молодых сотрудников АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» перед руководством дивизиона, предприятия и города;
- вовлечение молодежи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» в процесс поиска эффективных путей реализации производственных, научных, организационных, операционных и общественно значимых задач, стоящих перед предприятием;
- вовлечение молодых сотрудников предприятия в реализацию научных, спортивных и социально значимых мероприятий города, региона и страны.

С целью реализации комплекса социально значимых мероприятий в регионе присутствия молодежный совет АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» при поддержке руководства предприятия с 2021 года осуществляет

следующие мероприятия в рамках программы «С заботой о подрастающем поколении».

1. Проведение исследований по разработке лекарственных средств в целях терапии у пациентов младше 18 лет.

2. Работа с молодежью г. Обнинска (студенты профильных вузов, старшеклассники), в т. ч. организация и проведение технических туров, участие в днях открытых дверей, а также поддерживающих мероприятий с целью профориентации.

3. Инициативная подшефная работа с 5-м «В» классом МБОУ СОШ № 6 г. Обнинска (организация и проведение культурно-просветительских, учебно-развивающих и спортивных мероприятий).

4. Волонтерская и благотворительная работа с детьми из интернатов Калужской области (проведение мастер-классов, творческих и спортивных мероприятий).

Программа сформирована в соответствии со Стратегией развития воспитания в Российской Федерации и ценностями Госкорпорации «Росатом».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ретроспективный анализ практического опыта АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» по теме исследования с 2018 года по настоящее время показал, что объединение молодежи предприятия:

- выступает драйвером повышения уровня социальной ответственности предприятия;
- способствует увеличению количества реализуемых предприятием проектов, направленных на решение социальных проблем населения города, региона и страны в целом;
- является флагманом в профориентационной работе с молодежью в регионе присутствия;
- способствует повышению лояльности населения к атомной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон о молодежной политике в Российской Федерации от 30.12.2020 г. № 489-ФЗ.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 мая 2015 г. № 996-р г. Москва «Стратегия развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года».
3. Журнал Forbes Russia, <https://www.forbes.ru/>.
4. Сайт ФГАИС «Молодежь России», <https://myrosmol.ru/>.

HR-ПРАКТИКА: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ ПОТЕНЦИАЛА МОЛОДЕЖИ АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ» В РАМКАХ ДОСТИЖЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ «РОСАТОМ – ЛУЧШИЙ В РАСКРЫТИИ ПОТЕНЦИАЛА»

А.И. Горлова¹, М.Г. Спиридонова¹

¹АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород

e-mail: anast.gorlowa@yandex.ru, spiridonova_mg@okbm.nnov.ru

Рассмотрена HR-практика, содержащая в себе методы и результаты развития потенциала молодежи предприятия: системная работа по развитию профессиональных и надпрофессиональных навыков молодежи и организация мероприятий на уровне предприятия, города присутствия, дивизиона и отрасли.

The HR-practice, containing methods and results of the development of the potential of the youth of the enterprise is considered: systematic work on the development of professional and supra-professional skills of young people and the organization of events at the level of the enterprise, the city of presence, division and industry.

ВВЕДЕНИЕ

Системная работа с высокопотенциальной молодежью предприятия ведется с 2021 года, куратором выступает департамент управления персоналом (отдел оценки и развития персонала), содействуют в работе Совет Молодежи и сообщество волонтеров ОКБМ.

Основной фокус сосредоточен на молодых сотрудниках предприятия (в возрасте до 35-40 лет): специалисты, состоящие в кадровом резерве и планах преемственности предприятия, участники команд поддержки изменений, победители конкурсов профессионального мастерства, молодые ученые, актив Совета Молодежи, участники проектных команд (на уровне предприятия, дивизиона, отрасли), амбассадоры бренда «Росатом», участники Школы лидеров молодежных сообществ, корпоративные волонтеры, ответственные за вовлеченность в подразделениях, и другие инициативные работники.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цели работы с высокопотенциальной молодежью: вовлечение молодых специалистов в стратегическую повестку Госкорпорации «Росатом», АО «Атомэнергомаш» и АО «ОКБМ Африкантов», раскрытие кадрового и творческого потенциала работников, удержание талантов, развитие профессиональных и надпрофессиональных (SoftSkills) навыков, навыков публичных выступлений, умения презентовать свои идеи и проекты, развитие горизонтального и вертикального взаимодействия, вовлечение молодежи в бизнес-проблематику предприятия и дивизиона, помощь в развитии карьеры, популяризация атомной отрасли, атомных профессий, масштабирование мероприятий предприятия до уровня города, региона, дивизиона и отрасли.

Для достижения целей формируются следующие программы и мероприятия: годовая программа развития высокопотенциальной молодежи дивизиона STEAM; план мероприятий корпоративного волонтерства, план мероприятий по сохранению/повышению уровня вовлеченности, план мероприятий Совета Молодежи ОКБМ.

Программы содержат следующие мероприятия:

- хакатоны/деловые игры;
- «Завтраки с руководителем»;
- вебинары, тренинги, курсы;
- лекции;
- конференции, форумы;
- мастер-классы;
- технические туры;
- карьерные консультации;
- выступления в рамках проекта «Первая линия» для обмена опытом линейных руководителей;
- проектные работы;
- профориентационные мероприятия;
- стратегические сессии;
- интеллектуальные игры.

Молодые специалисты привлекаются в качестве спикеров, кураторов проектов, разработчиков и ведущих мастер-классов, создателей видеоконтента, дизайна, авторов статей и постов, ведущих вебинаров, организаторов профориентационных мероприятий, волонтерских акций, стратегических сессий и дней адаптации.

В программу вовлечено более 150 молодых специалистов, сформирован пул спикеров (интеллектуальных волонтеров), проведено более 80 мероприятий за 2022 год, в мероприятиях приняли участие свыше 1000 работников предприятия. Вовлеченность молодежи по результатам исследования составляет 89%. Количество сотрудников, ответивших, что являются волонтерами (в том числе интеллектуальными), возросло с 1,8% до 35% (динамика 2022-2023).

Примеры мероприятий 2022 года:

- вебинары (истории успехов, развитие 3D-моделирования, социальное проектирование);
- «Наука в мемах» (совместно с ИЦАЭ НН);
- экоурок для города присутствия;
- мастер-классы в Золинской школе-интернате для детей с особенностями развития и детей из онкологического отделения Нижегородской больницы;
- «Альфа Ритм»: выступление музыкальной группы сотрудника ОКБМ и выставка фоторабот художника-конструктора ОКБМ (совместно с ИЦАЭ НН);
- профориентационное мероприятие «Научная платформа 9 3/4»;

- атомные уроки на Дне города в Нижнем Новгороде и на фестивале «Атом +» (совместно с ИЦАЭ НН);
- городской лекторий по корпоративному волонтерству (организаторы – Молодежная палата администрации города при поддержке ОКБМ);
- участие в фестивале науки «Кстати» в Воронеже (сеть ИЦАЭ);
- проведение технической учебы по корпоративному волонтерству и устойчивому развитию;
- организация отраслевой конференции по волонтерству для предприятий ГК «Росатом» в Нижнем Новгороде – «Энергия добра 2022»;
- вебинары из серии «Завтрак с руководителем» для молодежи дивизиона;
- тренинг «Эмоциональный интеллект»;
- участие в технических турах на предприятиях дивизиона;
- проведение телемоста Нижний Новгород – Мурманск «Ледоколы» (совместно с ИЦАЭ НН);
- участие в проекте «Первая линия» для обмена опытом линейных руководителей;
- работа над кейсами в рамках Молодежного форума машиностроительного дивизиона;
- разработка и ведение коммуникационной кампании по всем мероприятиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленные примеры реализованных мероприятий далеко не единственные. Как показала практика, привлечение молодых специалистов в мероприятия корпоративного волонтерства, городские мероприятия, форумы, конференции, мастер-классы, особенно в роли организаторов и спикеров, активно влияет на личную и профессиональную эффективность, вовле-

ченность в общественную и производственную жизнь предприятия, развивает профессиональные и над-профессиональные компетенции, расширяет кругозор, круг контактов, предотвращает профессиональное выгорание, влияет на популяризацию атомной отрасли, предприятия, дивизиона и отрасли, а также на развитие новых направлений в работе.

Благодаря системной и разносторонней работе с молодежью удается находить, развивать, мотивировать, удерживать ярких, талантливых и активных молодых специалистов, формируя на предприятии и в дивизионе команду высокопотенциальной молодежи, готовой к решению стратегических задач Госкорпорации «Росатом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ АО «ОКБМ Африкантов» № 41/998-П от 29.04.2022 «О реализации программы развития высокопотенциальной молодежи машиностроительного дивизиона STEAM». – Нижний Новгород: АО «ОКБМ Африкантов». – Подписано Генеральным директором – Генеральным конструктором Д.Л. Зверевым, 2022. – 3 с.

2. План мероприятий АО «ОКБМ Африкантов» по корпоративному волонтерству и корпоративной социальной ответственности на 2022 г. – Нижний Новгород: АО «ОКБМ Африкантов». – 3 с.

3. Приказ АО «ОКБМ Африкантов» № 41/1979-П от 29.08.2022 «Об утверждении «Плана мероприятий по сохранению/увеличению уровня вовлеченности работников АО «ОКБМ Африкантов» на 2022-2023 гг.». – Нижний Новгород: АО «ОКБМ Африкантов». – Подписано Генеральным директором – Генеральным конструктором Д.Л. Зверевым, 2022. – 4 с.

«БЕЗУГЛЕРОДНОЕ БУДУЩЕЕ» – УРОКИ В ШКОЛЕ

М.В. Емельянцева¹, А.С. Ковалев¹

¹Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш», г. Волгодонск
e-mail: emeliantseva_mv@atom mash.ru, kovalev_as@atom mash.ru

Целью проекта является вклад в безуглеродную генерацию в рамках достижения политики устойчивого развития ГК «Росатом» и привлечение молодежи в отрасль путем проведения уроков в школе: взаимодействие спикеров с аудиторией посредством дискуссий, викторин, выполнения заданий и получения обратной связи, выявления заинтересованной и мотивированной молодежи, проведения наглядных экскурсий на заводе, а также масштабирование проекта на другие молодежные организации предприятий ГК «Росатом».

Задачи, которые позволит решить данный проект:

- повышение информированности молодежи о существующих экологических проблемах;
- возможные пути решения экологических проблем;
- выбор будущей профессии в сфере машиностроения;
- привлечение потенциальных кадров в атомную энергетику.

The aim of the project is to contribute to the carbon-free generation within the framework of achieving Rosatom enterprises sustainable development policy and to attract young people to the industry by conducting lessons at school: interaction of speakers with the audience through discussions, quizzes, performing tasks and getting feedback, identifying interested and motivated youth, conducting demonstration tours of the plant, and scaling the project to other youth organizations of Rosatom enterprises.

The tasks that this project will solve are:

- increasing the awareness of young people about the existing environmental problems;
- possible ways of solving environmental problems;
- choosing a future profession in mechanical engineering;
- attracting potential personnel to the nuclear power industry.

ВВЕДЕНИЕ

Вовлеченность молодежных организаций в интегрированное взаимодействие с разными подразделениями предприятия – одно из важных направлений работы на нем. Неотъемлемой частью такой деятельности является система мероприятий, направленных на решение проблем, связанных с привлечением потенциальных молодых кадров, понимающих позицию «Росатома» в отрасли и перспективы их развития.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Одним из приоритетных направлений деятельности Совета молодежи «Атоммаша» является работа в секторе профориентации и наставничества. Целью функционирования этого направления является разработка и организация мероприятий, направленных на профориентацию учащихся города Волгодонска и привлечение молодых специалистов, выпускников на предприятие.

Сегодня на молодежь, занятую в производственной сфере, возлагается обязанность по выполнению ряда задач повышенного уровня сложности, требующих проявления творчества, высокого профессионального мастерства, инноваций. Поэтому первоочередным вопросом при организации работы с молодыми людьми на предприятии является формирование кадрового потенциала молодых работников. Эффективность такой деятельности зависит от возможности обеспечения постоянного взаимодействия предприятия с ССУЗами и вузами, которые являются потенциальными поставщиками специалистов.

Совместно с отделом по работе с персоналом и Советом молодежи для учащихся и студентов организуются «Дни карьеры» в периоды апрель-май и ноябрь-декабрь, также экскурсии в производственные цеха, что зачастую оказывает позитивное влияние на дальнейший выбор места трудоустройства и распределение молодых специалистов.



Рис. 1. Экологические проблемы и виды возобновляемых источников энергии

В рамках Школы лидеров молодежных сообществ нами был разработан проект «Безуглеродное будущее» – значительное содержание углекислого газа в атмосфере приводит к парниковому эффекту и глобальному потеплению и госкорпорация ориентирована на вклад в безуглеродную генерацию в рамках достижения цели устойчивого развития [1] (рис. 1).

В качестве пилотного проекта были проведены уроки для детей 7-х классов для того, чтобы:

- обозначить важность темы существующих экологических проблем, информирование молодежи о безопасности атомной энергетики;
- повысить интерес школьников к атомной тематике и рассказать о перспективах развития в «Росатоме»;
- возможное привлечение заинтересованной и мотивированной молодежи в отрасль и выбор профессии в сфере машиностроения, т. к. на данном этапе школьники только определяют с будущей профессией и ССУЗами/вузами, в которые будут поступать.

Уроки проводились в формате дискуссий, на которых подробно рассказывалось об основных источниках энергии на Земле и экологии, об альтернативных источниках энергии [2], [3], основах атомной и ядерной физики, ядерных реакторах и атомной энергетике, энергии будущего (рис. 2).



Рис. 2. Урок в МБОУ СШ №18 г. Волгодонска для учащихся 7-го «В» класса

Также в ходе дискуссий с аудиторией спикеры отвечали на интересные вопросы, проводили викторину и помогли школьникам рассчитать их углеродный след [4].

Описание показателей эффективности проекта:

- проверка остаточных знаний школьников с помощью анкетирования и опроса (% усвоения информации);
- % повышения лояльности к отрасли (анкетирование).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель привлечения заинтересованной и мотивированной молодежи в отрасль в плане деятельности Совета молодежи – масштабирование проекта

с охватом большего количества школ в г. Волгодонске и проведение массовой наглядной экскурсии по заводу «Атоммаш» для заинтересованных активных школьников, определенных в ходе проведенного урока, а также трансляция опыта на другие организации и города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая отраслевая политика Госкорпорации «Росатом» и ее организаций в области устойчивого

развития, приказ Госкорпорации «Росатом» № 1/800-П от 27.07.2020, ЦУР № 7, 11 с.

2. Василенко А.Б., Современная энергетика и энергетика будущего, Москва: URSS: ЛЕНАНД, 2018. – 238 с.

3. Мэрилин А. Браун, Бенджамин К. Sovacool, Смягчение последствий изменения климата, энергетическая безопасность, MIT Press, 2011. – 416 с.

4. Сэм Хорн, «Минуту внимания! Как заинтриговать и увлечь любую аудиторию», ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2017. – 166 с.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ФГУП «ВНИИА»

В.Д. Кайдарова¹, М.А. Зотов¹

¹ФГУП «ВНИИА», г. Москва

e-mail: VDKaydarova@vniia.ru, MAZotov@vniia.ru

Совет молодых специалистов «ВНИИА» – это объединение талантливой, энергичной и целеустремленной молодежи института, которая ежегодно организует множество мероприятий различной направленности для сотрудников предприятия и членов их семей.

Council of Young Specialists of VNIIA is an association of talented, energetic and purposeful youth of the Institute, which annually organizes many events of various kinds for employees of the enterprise and their families.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня ФГУП «ВНИИА» заслуженно пользуется репутацией одного из самых эффективных и динамично развивающихся предприятий Госкорпорации «Росатом». Предприятие работает в сфере высоких технологий, разрабатывает и производит уникальную современную аппаратуру, широко востребованную в нашей стране и за рубежом.

Во ВНИИА хорошо развиты общественные организации, которые играют значимую роль в жизни предприятия. С целью содействия адаптации и профессиональному росту молодых работников предприятия, их вовлечения в производственную и общественную жизнь института во ВНИИА создан и активно работает Совет молодых специалистов (далее – СМС).

СМС – самостоятельная общественная организация, социальный партнер администрации ВНИИА и профсоюзного комитета института. Ежегодно в соответствии с планом работ СМС организует культурно-массовые, командообразующие и тренинговые мероприятия, научно-технические конференции, спортивные и интеллектуальные турниры, квесты, викторины, адаптационные активности. Целевая аудитория таких мероприятий – не только молодые специалисты института, но и сотрудники всех возрастных категорий, а также члены их семей.

Основными задачами СМС являются:

– помощь молодым специалистам в адаптации к условиям и требованиям, предъявляемым к работникам предприятия;

– содействие активному участию молодых специалистов в производственной и общественной жизни ФГУП «ВНИИА»;

– содействие профессиональному росту молодых специалистов;

– воспитание приверженности правилам корпоративной культуры ФГУП «ВНИИА».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

СМС ведет свою деятельность по четырем основным направлениям.

1. Научно-производственное.

• Организация и проведение научно-технических конференций ВНИИА – ежегодные мероприятия, охватывающие широкий круг вопросов физики, автоматизированного проектирования сложных систем, технологии создания новых материалов, защиты информации, информационных систем и технологий.

• Школа молодого специалиста – прямой диалог руководства с молодыми специалистами. В качестве «лекторов» школы выступают директор ВНИИА и его заместители, которые отвечают на вопросы молодежи и погружают новичков в работу института.

2. Культурно-массовое.

• Посвящение в молодые специалисты ВНИИА – мероприятие, направленное на адаптацию молодых специалистов в формате тимбилдинга. В течение трех дней на базе отдыха «Искорка» молодые специалисты проходят обучение ключевым темам предприятия и отрасли.

• День молодежи – одно из популярных мероприятий, на которое приглашаются МС, активно принимающие участие в жизни института в течение года. Для проведения праздника выбираются различные активности и площадки, которые дают возможность пообщаться с коллегами в неформальной обстановке, а также весело и активно провести время.

• День здоровья ВНИИА – ежегодный семейный праздник института. Каждый год тематика мероприятия новая, в соответствии с которой работники предприятия, а также члены их семей примеряют различные образы и проходят спортивные испытания.

• Интеллектуальный турнир «Игры разУМА» – молодежная версия игры «Что? Где? Когда?», в которой может принять участие любой желающий. С 2022 года игры стали отраслевыми, приглашаются для участия команды с других предприятий отрасли.

- Викторина «Эрудит ВНИИА».
- Спортивные турниры по киберспорту, боулингу, пейнтболу, бильярду и др.
- Фотоконкурс «ОБЪЕКТИВный взгляд».
- Деловая игра для детей сотрудников в ДОЛ «Исходка».

И многое другое.

3. Информационное.

• Подготовка информационных материалов для молодых специалистов и освещение деятельности СМС в СМИ ВНИИА.

• Ведение социальных сетей СМС (группа ВКонтакте, Telegram).

4. Волонтерство.

Совет молодых специалистов активно помогает молодым сотрудникам ВНИИА влиться в производственную и общественную жизнь института. Поэтому для ускорения процесса адаптации и повышения ее эффективности СМС принял участие в реализации на предприятии ряда проектов.

1. Книга нового сотрудника. Описывает историю и деятельность предприятия, содержит сведения о Госкорпорации «Росатом» и ее структуре, о службах и общественных организациях ВНИИА, а также другую

справочную информацию. Книга позволяет новым сотрудникам найти ответы на вопросы, которые могут появиться на первых этапах трудового пути во ФГУП «ВНИИА», и быстрее адаптироваться в дальнейшем.

2. Адаптационный видеокурс «ВНИИА от А до Я» на платформе РЕКОРД mobile для новых сотрудников. Суть проекта заключалась в создании видеокурса на основе «Книги нового сотрудника», с которым можно ознакомиться в мобильном приложении.

3. Стартовый набор молодого сотрудника. Набор включает в себя фирменную кружку, подставку, ручку, кофуж для пропуска и ректрактор к нему, а также лифлет профсоюзной организации и «Книгу нового сотрудника» – все упаковано в пакет с символикой СМС и предприятия.

Еще одним видом деятельности СМС являются профориентационные мероприятия для студентов и школьников – организация и проведение встреч на внешних площадках (вузы и школы), посещение Детского технопарка на базе НИЦ «Курчатовский институт», проведение мастер-классов для будущих абитуриентов, лекции о направлениях обучения на кафедрах ИФТИС НИЯУ МИФИ, стажировке, трудоустройстве и перспективах карьерного роста, проведение экскурсий на площадках ВНИИА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью СМС является не только привлечение молодых специалистов к активному участию в профессиональной деятельности и общественной жизни института, но и содействие их адаптации на предприятии, развитие общественной и профессиональной активности, обмен опытом с другими молодежными организациями отрасли и реализация молодежных инициатив.

МОЛОДОЕ ПОКОЛЕНИЕ НАУКИ АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

А.А. Карташева¹, Н.С. Климов¹, М.В. Ежова¹, И.М. Позняк¹

¹АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», г. Троицк.

e-mail: alexkartasheva@triniti.ru

В ходе проведения политики по привлечению молодых кадров в «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» за последние несколько лет численность молодых специалистов увеличилась более чем в два раза, численность руководителей в возрасте до 35 лет увеличилась в три раза, часть молодых сотрудников осуществляют преподавательскую деятельность в ведущих технических вузах Москвы. Предложен ряд мероприятий, которые будут способствовать удержанию заданных позиций и способствовать увеличению доли молодых специалистов в долгосрочной перспективе.

In the course of the policy of attracting young personnel to the TRINITI Scientific Research Center of the Russian Federation over the past few years, the number of young specialists has increased more than 2 times, the number of managers under the age of 35 has increased 3 times, some of the young employees are teaching at leading technical universities in Moscow. A number of measures have been proposed that will help to maintain the given positions and help to increase the share of young professionals in the long term.

ВВЕДЕНИЕ

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» (АО

«ГНЦ РФ ТРИНИТИ») является предприятием Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». Основные виды деятельности института: научная деятельность в области физики плазмы, управляемого

термоядерного синтеза, лазерной физики и техники, физики экстремального состояния вещества. В «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» функционирует ряд уникальных установок, на базе которых происходит выполнение ключевых проектов в рамках реализации программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации». Также на предприятии идет активная работа по созданию новых экспериментальных комплексов. В связи с этими задачами привлечение молодых специалистов для работы в институте, а также реализация проектов по сохранению численности молодых сотрудников являются ключевыми в реализации молодежной политики АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В последние несколько лет в «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» активно проводится политика по привлечению молодых кадров. Результатами данной работы стали:

- за последние четыре года численность молодых специалистов в ТРИНИТИ увеличилась более чем в два раза;
- 50% молодых сотрудников участвуют в реализации более 20 проектов ЕОТП и РТТН;
- численность руководителей в возрасте до 35 лет увеличилась в три раза;
- молодые научные сотрудники осуществляют и преподавательскую деятельность в вузах первой линии, МИФИ, МФТИ, РУДН, МГТУ им. Баумана;
- научная активность молодых специалистов также имеет положительные тенденции;
- количество публикаций с участием молодых специалистов увеличилось на 20%;
- апробация результатов работ молодых специалистов на конференциях возросла на 33%;
- количество патентов с участием молодых специалистов возросло в шесть раз;
- активно работает система обучения молодых специалистов. Наставники, из которых более 50% – специалисты в возрасте до 35 лет, помогают студентам начать путь молодого исследователя на базе лабораторий института. С 2020 по 2023 год благодаря програм-

ме стажировок «Лаборатория Роста», 76 студентов выбрали наставников из АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ». 80% продолжают стажировку или были трудоустроены;

- молодые специалисты принимают активное участие в работе отраслевого Совета молодых ученых (СМУ). В состав отраслевого СМУ, численностью 36 человек, входят 6 молодых ученых из АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ».

Указанные результаты показывают активное участие молодых специалистов в выполнении ключевых задач института. Удержание позиций и увеличение доли молодых специалистов необходимы и в долгосрочной перспективе. Создание на базе института новой экспериментальной базы требует решения задач не только по привлечению молодых специалистов, но и по развитию новых компетенций у будущих ученых. В связи с этим на базе АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» предполагается проведение ряда мероприятий для построения трека молодого ученого: от школьника до ключевого специалиста, участвующего в реализации научных задач института. Среди таких мероприятий для школьников можно отметить сотрудничество со школами с целью открытия экспериментальных лабораторий, посвященных ключевым направлениям института. Также требует внимания активное участие «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» в мероприятиях, посвященных популяризации науки. Для развития необходимых компетенций у молодых сотрудников существует следующий ряд мероприятий: проведение научных семинаров, посвященных ключевым научным направлениям института, подготовка работы научных школ, проведение конкурсов для молодых специалистов, проведение форсайт-сессий с целью определения глобальных перспектив развития определенного направления или института.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаны основные результаты реализации молодежной политики на базе АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ». Предложены способы для грамотного построения трека молодого ученого: от школьника до ключевого специалиста.

НАСТАВНИЧЕСТВО И ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ В МО АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

А.А. Маркина¹, А.В. Клепцова¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Москва

e-mail: Markina_AA@aep.ru, Kleptsova_AV@aep.ru

Данная работа описывает путь развития молодежных сообществ на предприятии, который включает в себя саморазвитие и реализацию потенциала активных участников Молодежного объединения (МО).

Работа рассматривает проблемы взаимодействия поколений в рамках молодежной деятельности, пути их эффективного решения, а также необходимость постоянного обучения лидеров молодежи, их потребности в наставничестве и преемственности.

Авторы отмечают, что для эффективной работы Совета Молодежи на предприятии необходимо заручиться поддержкой руководства, выяснив его запрос на реализацию определенных сторон развития молодых сотрудников или деятельности организации. Также сохранять связь с представителями разных поколений, анализировать и находить компромиссы в конфликтных ситуациях. Кроме того, авторы отмечают,

что одним из способов преодоления внешних конфликтов с такими структурными формами, как профсоюз и его молодежное крыло, которые иногда начинают видеть в Молодежной организации предприятия угрозу или врага, является развитие доверительных отношений и открытого общения двух сторон конфликта друг с другом.

The paper describes the development of youth organizations (further referred as YO) at the enterprise, including self-development and realization of the active participants of the YO capabilities.

The paper examines the problems of intergenerational interaction within the framework of YO activity, the ways to solve them efficiently, as well as the need for lifelong training of youth leaders and their demand for mentoring and succession.

The authors indicate that it is necessary to ensure the support of the management by finding out management's request for the implementation of certain aspects of the development of young employees or the activities of the organization in order to perform efficient work of the Youth Council at the enterprise. Also, the Youth Council needs to keep in touch with representatives of different generations, to analyze and find compromises in conflict situations. In addition, the authors note that one of the ways to overcome external conflicts with such organizations as the enterprise Trade Union and its youth branch (which sometimes perceive the YO of the enterprise as a threat or enemy) is the development of trusting relationships and open communication between the two sides of the conflict.

ВВЕДЕНИЕ

В жизненном цикле любого Молодежного объединения неизбежно встречаются спады и подъемы, которые сказываются на эффективности и продуктивности МО. Предлагается рассмотреть такие факторы, как наличие наставника, личностное развитие лидера молодежи, взаимодействие поколений, и некоторые другие, влияющие на успешность деятельности МО на примере жизненного цикла Совета Молодежи АО «Атомэнергопроект» (далее – СМ) а также некоторые события в развитии МО, которые могут влиять на его продуктивность.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Описание среднестатистического образа председателя МО. Показаны ведущие характеристики личности, которые позволят успешно занять лидирующую позицию среди молодых сотрудников, организовать их в сообщество и направить в работу над молодежными проектами. К таковым можно отнести лидерство, коммуникабельность и умение выстраивать связи, планирование, аналитические навыки, ответственность и другие. Перечислены ключевые этапы и направления развития в становлении председателя СМ: работа над ошибками, приобретение опыта управления через изучение теории лидерства, обучение активному слушанию и эмпатии, гибкость и умение быстро реагировать, адаптироваться на изменения во внешней среде, обучение умению вдохновлять и изучение способов мотивации команды, работа с наставником.

Описана роль старшего наставника в процессе становления лидера МО. Перечислены способы наставничества, такие как установление связей, проработка

целей, демонстрация примера, обратная связь и активное слушание, стимулирование идей, обмен опытом, мотивация и поощрение, посещение специальных обучений или их самостоятельная организация, доступность наставника.

Рассмотрены типы руководства МО на примере филиалов ОПИ. Показаны демократическая, иерархическая, смешанная и коллегиальные модели управления.

Рассмотрена эффективность взаимодействия в командах со смешанными поколениями. Особенности работы поколения Y и поколения Z.

Проанализирована возможность внешних и внутренних конфликтов в МО на примере СМ АО «Атомэнергопроект».

Рассмотрена проблема составления Положения для СМ, даны ключевые опорные точки, на которые необходимо обращать внимание, занимаясь составлением положения, как, например, способ проведения выборов в СМ, структура и способы взаимодействия актива и председателя, срок избрания председателя СМ и его активных членов, правила урегулирования конфликтов и исключения не только участников СМ, но и участников выбранного актива СМ. Необходимо учесть в Положении пункт, что при назначении нового председателя СМ обязательно следует определить его наставника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доклад демонстрирует многофакторный подход к вопросам развития МО, важности преемственности и наставничества в среде молодежи. Обращает внимание нынешних лидеров МО на необходимость поэтапной передачи опыта следующим поколениям и потребность в постоянном личностном росте.

ТВОРЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ТРУДЯЩИХСЯ «ЗАВОДСКИЕ СОЛОВУШКИ»

А.С. Косованова¹

¹Филиал АО «АЭМ-технологии» «ВФ», г. Волгодонск

e-mail: Kosovanova_as@atom mash.ru

Целью проекта является выявление и поддержка коллег Госкорпорации «Росатом» (далее – ГК) в сфере музыкального творчества и исполнительства, которые работают в городах расположения объектов атомной отрасли.

Задачи, которые позволит решить реализация проекта:

- стимулирование творческой и исполнительской деятельности работников ГК;
- популяризация творческой и исполнительской деятельности работников атомной отрасли, предоставление им дополнительных возможностей для развития творческого потенциала;
- укрепление и развитие творческой коммуникации между работниками;
- возможность организовывать концерты и праздничные мероприятия самостоятельно силами коллег в организациях ГК без дополнительных затрат.

The aim of the project is to identify and support ROSATOM's (hereinafter SC) colleagues in the field of musical creativity and performance who work in the cities where nuclear industry facilities are located.

Tasks which will allow to solve the project's implementation:

- stimulation of creative and performing activities of SC employees;
- popularization of creative and performing activities of the nuclear field workers, providing them with additional opportunities for development of their creative potential;
- strengthening and development of creative communication among employees;
- an opportunity to organize concerts and celebrations independently by SC organizations colleagues without additional costs.

ВВЕДЕНИЕ

Более 300 предприятий входит в состав ГК. Каждая организация – уникальна и незаменима, а одним из основных ее ресурсов являются люди – специалисты, рабочие, ИТР, которые преданы своему делу и каждый день вносят свой вклад в развитие общих целей. Работа в команде единомышленников позволяет достигать уникальных результатов, поэтому социальная политика ГК должна постоянно совершенствоваться, удовлетворять потребностям коллег и соответствовать единым корпоративным отраслевым ценностям. Филиал АО «АЭМ-технологии» «ВФ» в г. Волгодонск (далее – ВФ) – крупнейшая в стране промышленная площадка атомного энергетического машиностроения, где изготавливают оборудование для российских и зарубежных проектов. Численность персонала компании – около 3,5 тысяч человек. С ростом объемов производства штат сотрудников постоянно

расширяется, в связи с чем становится необходимым реализовывать социальные программы, направленные на поддержку различных категорий работников, в том числе для привлечения и удержания молодежи, высокопрофессиональных специалистов, представителей редких специальностей. Так, с 2017 года на ВФ утвержден Российский профессиональный союз работников атомной энергетики и промышленности (далее – Профсоюз, рис. 1) – некоммерческая корпоративная организация, объединяющая на добровольной основе работников, имеющих общие профессиональные, трудовые, социально-экономические и иные интересы.

Кроме того, на заводе создан Совет молодежи ВФ (СМА, рис. 2) – добровольное объединение молодых инициативных и талантливых работников.

Профсоюз совместно со СМА и отделом по работе с персоналом реализуют в числе других одну из



Рис. 1. Представители Профсоюза ВФ

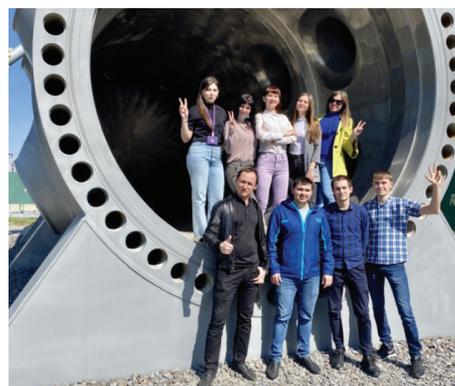


Рис. 2. Представители СМА ВФ



Рис. 3. Празднование дня добровольца

важнейших задач – проводят социально-культурную и культурно-воспитательную работу среди сотрудников завода, способствуют развитию культурных ценностей. Так, на заводе проходит более 20 культурных мероприятий в год (рис. 3). Среди них особо выделяются государственные и профессиональные праздники, которые обычно сопровождаются праздничными концертами с участием музыкальных и творческих коллективов, привлекаемых как из Волгодонска, так и из других городов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Организация праздничных и концертных мероприятий – трудоемкий и затратный процесс, включающий в себя как минимум следующие этапы:

- аренда нужной площади зала, включая и репетиции (≈ 75 000 р.);
- услуги координатора/сценариста (≈ 30 000 р.);
- подбор и обеспечение концертными номерами (1,5 часа выступления кавер-группы по области ≈ 80 000 р.);
- услуги ведущего (≈ 40 000 р.);
- услуги фотографа (≈ 30 000 р.);
- услуги видеографа (≈ 40 000 р.);
- аренда звукового, светового и сценического оборудования, а также услуги техника по ним (≈ 380 000 р.);
- оформление сцены (≈ 20 000 р.).

Если добавить к этому списку работу аниматоров, приобретение атрибутов для награждения работни-



Рис. 4. Празднование пятилетия Профсоюза

ков, организацию фейерверка, фуршет и т. п., то стоимость концерта, например, в День работника атомной промышленности в 2017 году составила 1 469 500 рублей. ВФ доказал, что указанные выше пункты способен выполнить самостоятельно с привлечением талантливых работников завода и проведением концерта в своем актовом зале с собственным оборудованием, как, например, праздник, посвященный пятилетию Профсоюза (рис. 4). Практика показала, что качество подобных концертов при определенной подготовке не уступает уровню городских, а местами и превосходит, ведь смотреть на своих коллег, раскрывших себя с другой, творческой, неофициальной стороны всегда приятно и интересно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный проект является внедренным всего лишь в одном из 300 предприятий ГК, но его можно применить в любой многочисленной организации, где есть самый главный ресурс – человеческий капитал. Проект может расти и расширять территорию культуры ГК, показывая всестороннее развитие и объединение наших инициативных и талантливых коллег.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт <https://aem.rosatom.ru>.
2. Сайт <https://sdelanounas.ru>.
3. Устав Профсоюза 2017, стр. 4.
4. Положение о СМА 2013, стр. 2.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОЛОДЕЖНОГО СОВЕТА В РАЗВИТИИ «НОВОВОРОНЕЖАТОМЭНЕРГОРЕМОНТ» – ФИЛИАЛА АО «АТОМЭНЕРГОРЕМОНТ»

В.А. Кубышкина¹

¹«Нововоронежатомэнергоремонт» – филиал АО «Атомэнергоремонт», г. Нововоронеж
email: vakubyshkina@rosatom.ru

Совет молодежи «Нововоронежатомэнергоремонт» – филиала АО «Атомэнергоремонт» стремительно развивается, на данный момент он состоит из 60 активистов организации. Активная молодежь организации (активисты) – молодые работники, реализующие собственные инициативы в интересах как организации, так и общества. Одной из основных целей Совета молодежи является привлечение большего количества единомышленников для участия в более масштабных проектах. Для реализации этой цели Совет молодежи НВАЭР организует мероприятия, направленные на знакомство детей и школьников с трудовой жизнью организации. Принимает участие в работе со студентами, проходящими производственную практику на нашем предприятии.

The Novovoronezhatomenergoremont Youth Council, a branch of Atomenergoremont JSC, is developing rapidly, at the moment it consists of 60 activists of the organization. The active young of the organization (activists) are young workers who implement their own initiatives in the interests of both the organization and society. One of the main goals of the Youth Council is attract more like-minded people to participate in larger-scale projects. To achieve this goal, the NVAER Youth Council organizes events aimed at familiarizing children and schoolchildren with the working life of the organization. Participates in work with students undergoing practical training at our company.

ВВЕДЕНИЕ

Молодежная политика современного предприятия, по моему мнению, должна быть ориентирована на:

- динамичное и успешное развитие предприятия;
- рост производительности труда и готовность персонала к эффективной работе;
- отождествление персонала со своим предприятием, формирование чувства приверженности предприятию;
- содействие и поддержание здорового образа жизни.

Для реализации вышеуказанных целей в июле 2022 года было принято решение о создании Совета молодежи в «Нововоронежатоэнергоремонте» – филиале АО «Атомэнергоремонт». За неполный год наши активисты стали неотъемлемой частью общественной жизни своей организации. Они занимаются благотворительностью, участвуют в экологических и спортивных мероприятиях города, принимают участие в конференциях как предприятия, так и на международном уровне, являются волонтерами в штабе по координации на предприятии.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Особенности современной социально-экономической реальности требуют от предприятия активного поиска новых резервов для решения задач успешного конкурентоспособного производства [1]. Наиболее важным в привлечении новых кадров в организацию является проведение дней профориентации как для детей, так и для студентов. В сентябре 2022 года молодежный комитет НВАЭР организовал интерактивную площадку для детей и их родителей в честь Дня

знаний. В игровой форме продемонстрировали молодому поколению деятельность предприятия и дали почувствовать себя настоящими ремонтниками. Также с целью повышения заинтересованности в «атомной» профессии для детей работников некоторых организаций проводилась экскурсия по охране труда на базе «Нововоронежатоэнергоремонта».

Кроме привлечения нового поколения в организацию, Совет молодежи старается повышать интерес сотрудников филиала к мероприятиям, проводимым организацией, администрацией города, предприятиями отрасли. Для этой цели были созданы группы в ВКонтакте (VK), Telegram-канал. На этом канале постоянно выкладывают информацию о предстоящих мероприятиях, помимо полезной информации есть и развлекательный контент для большей вовлеченности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ввиду наблюдающейся тенденции уменьшения интереса молодежи к рабочим профессиям Совет молодежи предпринимает шаги, направленные на повышение вовлеченности детей и школьников. Молодежная политика нашего предприятия позволяет сформировать положительный имидж филиала, создать условия, привлекающие профессионалов, снизить текучесть кадров, повысить мотивацию сотрудников, укрепить их командный дух.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлюк А.В. Опыт реализации молодежной политики в акционерных обществах // Российское государство в переходный период (проблемы и перспективы). – 2012. – С. 140-146.

ИННОВАЦИОННАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ПОЛИТИКА АО «ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ»

Н.Е. Лапшакова¹

¹АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», г. Москва
e-mail: Lapshakova.n.e@vnipipt.ru

Создание Молодежного совета на предприятии имеет очень важное значение и содержит множество функций. Выступая посредником между молодыми сотрудниками и руководством, актив позволяет оперативно доносить информацию от топ-лидеров отрасли до сотрудников предприятий, является кадровым «крюком» по удержанию сотрудников, большое влияние оказывает на вовлеченность, раскрытие потенциала, рекламу бренда работодателя.

Данная работа предлагает использовать при создании молодежных объединений алгоритм, который сфокусирован на трех основополагающих секциях – идентичности, опыте и структуре. При использовании этого системного подхода сообщество будет не только долгосрочным, но и наиболее эффективным.

The creation of a youth council at the enterprise is very important and carries many functions. Acting as an intermediary between young employees and management, the asset allows you to quickly convey information from top industry leaders to employees of enterprises, is a personnel «hook» for employee retention, has a great influence on engagement, potential disclosure, advertising of the employer's brand.

This paper suggests using an algorithm for creating youth associations that focuses on three fundamental sections – identity, experience and structure. When using a systematic approach, the community will not only be long-term, but also the most effective.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время есть миллионы сообществ, которые призывают вступить нас в свои ряды. Лидеры подобных объединений должны решить ряд основных задач – как правильно объединить людей, как их удержать или вернуть, за счет чего мотивировать, ну и самое главное – для какой цели.

Именно поэтому при создании своего Совета, мы в первую очередь разработали систему, которая основывается на трех секциях: идентичности, опыте и структуре.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим первую составляющую формирования сообщества, такую как «ИДЕНТИЧНОСТЬ». Начнем с основы – а именно, с постановки цели. Разделяются два вида целей, для которых создается сообщество, – внутренние и внешние. При создании Совета молодежи АО «ВНИПИПромтехнологии» были выделены две основные цели: внутренняя – это реализация каждого участника и его желаний, и внешняя – горизонтальное взаимодействие внутри института/дивизиона/между дивизионами/вне отрасли.

Определив идентичность участников, формирование совета сталкивается с понятием «ценности». Общий набор ценностей, несомненно, отображен и активно продвигается на всех предприятиях Госкорпорации «Росатом»:

- безопасность – наивысший приоритет, в ней нет мелочей, мы знаем правила безопасности и выполняем их, пресекая нарушения;
- единая команда – мы все являемся одним целым, работа единомышленников позволяет достигать уникальных результатов;
- эффективность – при выполнении поставленных целей мы максимально рационально используем ресурсы компании и постоянно совершенствуем процессы;
- на шаг впереди – мы предвидим, что будет завтра, и готовы к этому уже сегодня;
- уважение – мы слушаем и слышим друг друга, мы уважаем историю и традиции отрасли;
- ответственность за результат – в работе мы предъявляем к себе высокие требования, оцениваем не затраченные усилия, а достигнутый результат – основу для наших новых достижений;

Наряду с данными принципами Молодежный совет разработал для себя шесть принципов, проецирующих ценности госкорпорации на уровень молодежного актива – четкость протокола, максимальная включенность, общественное сотрудничество, искусство дарения, нахождение в моменте, вера в неограничен-

ные возможности, также агитируя участников соответствовать определенной активной позиции.

Для оценки успеха деятельности сообщества (его эффективности) измеряется уровень доверия, который виден по общению участников Совета в свободное от работы/молодежной активности время. Измерение активности достаточно просто отслеживается по результатам работы через равные промежутки времени (месяц/квартал). Обычно тенденция склонна идти на спад, очень важно поддерживать количество мероприятий на стабильном уровне или производить дифференциацию на более сложные проекты, захватывающие большой объем работы, и малые проекты, которые легко воплотить в жизнь. Критерии определения успеха включают в себя сбор статистики онлайн-активности, посещения мероприятий, количество публикаций и пресс-релизов, рост активистов/волонтеров (в том числе по карьерной лестнице), наличие обратной связи.

При рассмотрении второй составляющей «ОПЫТ» основной упор направлен на отбор участников в сообщество. В АО «ВНИПИПромтехнологии» открытый способ вхождения в Совет. Заполнив соответствующее заявление и ознакомившись с Положением, вступить в Совет может любой сотрудник (ввиду объединения Совета и Команды поддержки изменений – КПИ, возраст вступающего не имеет значения). Однако после трех месяцев с даты вступления происходит срез по оценке активности участника – по результатам которого выносится вердикт о нахождении его в СМ или о его исключении. Для комфорта новых участников широко распространена система адаптации, состоящая из 6 шагов. Выход из Совета оформляется соответствующим заявлением, сроки выхода не ограничены.

Для поддержания взаимодействия между участниками, повышения доверия и наработки совместного опыта на постоянной основе проводятся как культурно-развлекательные мероприятия (спортивные/интеллектуальные игры), так и проекты, имеющие социальный характер (выезд в детский дом/в приюты животных/фудшеринг) и т. д. Помимо общего опыта, мы стараемся заботиться друг о друге, помогать не только в рабочих моментах, но и в личных – в своей политике используем ритуалы для укрепления связей между участниками, например обязательные поздравления именинников с днями рождения (с шарами, песнями и тортом со свечами: «окружи себя людьми, которые будут рады твоему дню рождения больше, чем ты сам» – один из наших тезисов), совместные чаепития и дарение книг, празднование дня «неожиданных приятностей», совместные тренировки и посещения театров/кино. Одним из инструментов сплочения

и вовлечения является размещение контента на официальной странице в социальных сетях, Росатомлайф, стендах предприятия, газеты Дивизиона.

Третьей составляющей создания зрелого сообщества является «СТРУКТУРА». На самой вершине находится генеральный директор АО «ВНИПИПромтехнологии», который уделяет регулярное и персональное внимание Молодежному Совету и КПИ, ниже по структуре следуют лидер СМ и лидер КПИ, которые занимаются административной составляющей и являются коммуникаторами между молодежью и топ-менеджментом, запускают проекты и держат все на контроле. При создании долгосрочной стабильности сообщества важно понимать, что необходимо разделять повседневные оперативные и долгосрочные стратегические задачи, для чего мы разбили Совет на разные структуры и назначили по ним пять лидеров направлений.

Помимо позитивных моментов, существуют еще конфликтные ситуации, для которых разработана программа, предполагающая предотвращение и разрешение конфликта интересов, которая на первоначальной разработке проекта занимает важную позицию и просчитывается совместно с рисками.

Применение вышеописанного системного подхода, включающего три секции (идентичность, опыт и структуру), позволило увеличить количество проектов Совета молодежи в два раза – за II полугодие 2022 года было реализовано 50 мероприятий, за первый квартал 2023 года – около 40 проектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инновационная политика молодежного Совета заключается в системном подходе разработки молодежного сообщества, охватывает его полное функционирование от создания, управления данными и финансирования до размещения публикаций и развития бренда работодателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хинченс П. Как построить сообщество. Социальная архитектура». – М.: HabraHabr(PhilTech), 2007.– 98 с.

2. Практическое руководство по созданию значимых сообществ // The community canvas/ 2017. URL: <https://granny-center.org/uploads/files/CommunityCanvasGuidebook-Russian.pdf?ysclid=Ih0l5i4ify513869125>.

МОЛОДЕЖНЫЙ СОВЕТ КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ФГУП «АТОМФЛОТ»

К.А. Матвишина¹

¹ФГУП «Атомфлот», г. Москва

e-mail: KAMatviishina@rosatomflot.ru

В статье рассмотрена роль молодежного совета ФГУП «Атомфлот» как одного из инструментов развития кадрового потенциала работников предприятия. Приведены приоритетные направления молодежной политики и описаны ключевые мероприятия Совета молодежи за 2022 год.

The article considers the role of Youth Council of the FSUE «Atomflot» as one of the tools for developing the personnel potential of the enterprise's employees. In the article the priority areas of youth policy are given and the key events of the Youth Council in 2022 are described.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегическая составляющая кадрового потенциала федерального государственного унитарного предприятия атомного флота – это молодежь: мотивированные, вовлеченные и высокоэффективные работники в возрасте до 35 лет. Молодые работники в возрасте до 35 лет составляют около 30% численности всего персонала предприятия. ФГУП «Атомфлот» стремится к тому, чтобы каждому молодому работнику были созданы все необходимые материальные, социальные и бытовые условия жизни для профессионального роста [1].

Руководство предприятия на регулярной основе проводит встречи с молодежью, на которых обсуждаются актуальные вопросы оплаты труда, карьерные возможности, программы индивидуального развития.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2014 году был образован Совет молодежи ФГУП «Атомфлот», за период с 2014 по 2023 год Совет моло-

дежи перешел из статуса организации, состоящей из молодежного актива, в статус партнера предприятия и лидера предприятий Дирекции Северного морского пути Госкорпорации «Росатом» в реализации молодежной политики.

Приоритетными направлениями молодежной политики ФГУП «Атомфлот» являются:

- привлечение молодых квалифицированных работников, разделяющих ценности предприятия и мотивированных на работу на предприятии;
- мотивация и вовлечение молодых работников;
- обучение и развитие молодых работников;
- продвижение бренда работодателя.

Целью молодежного Совета ФГУП «Атомфлот» является объединение молодежи Росатомфлота для достижения стратегических целей предприятия.

Основные направления деятельности Совета молодежи ФГУП «Атомфлот»: адаптация молодежи на предприятии; выявление скрытого потенциала ра-

ботников; продвижение бренда работодателя; поддержка инициатив молодежи; проведение интеллектуальных соревнований; развитие коммуникации с внешними, внутренними организациями; развитие корпоративной культуры; развитие научно-технической деятельности; развитие системы информирования работников; развитие системы по обмену опытом; развитие спортивного движения; создание единого информационного пространства; вовлеченность флота.

Совет молодежи ФГУП «Атомфлот» с каждым годом расширяет свое присутствие в береговых подразделениях и на судах предприятия. В составе Совета молодежи на начало 2023 года есть 21 молодой сотрудник предприятия: 11 членов Совета молодежи и 10 представителей на борту судов.

Совет молодежи ФГУП «Атомфлот» в соответствии с возложенными на него задачами выполняет следующие функции:

- участие в организации и проведении мероприятий, направленных на профессиональный рост молодых работников по ключевым для предприятия специальностям;

- участие в организации и проведении мероприятий, направленных на привлечение молодых работников к научно-исследовательской и инновационной деятельности, мероприятий культурно-массового и спортивного характера, а также мероприятий, направленных на формирование корпоративной культуры у молодых работников;

- реализация мер, направленных на адаптацию молодых работников на предприятии [2].

Ключевыми мероприятиями Совета молодежи ФГУП «Атомфлот» 2022 года стали:

- творческий конкурс «Мистер и мисс «Атомфлот» (3 этапа, 12 участников);

- слет работников ГК «Росатом» «Кислород» (5 предприятий, 66 участников);

- 5-й Юбилейный молодежный форум «Росатомфлота» (11 предприятий, более 100 участников);

- профориентационные мероприятия (18 мероприятий, более 1200 слушателей)

- Молодежные дни информирования (МДИ предприятия, 3 ДИ на судах, МДИ на ФГУП «Гидрографическое предприятие»);

- проект «Корпоративная адаптация. Новый уровень» (9 реализованных инициатив).

- разработан и запущен чат-бот для практикантов (подключены 428 курсантов).

Таким образом, в 2022 году молодежь предприятия приняла участие в большом количестве профориентационных мероприятий (18 мероприятий, более 1200 слушателей) в качестве экспертов по оценке работ школьников и студентов, разработчиков заданий для участников мероприятий, а также в качестве спикеров на различных площадках Мурманской области и регионов присутствия. На предприятии в результате внедрения новых подходов и дополнительных

инструментов корпоративной адаптации в рамках проекта «Корпоративная адаптация. Новый уровень» появились бадди-наставники (10 молодых сотрудников предприятия), которые помогают социально адаптироваться и ответить на вопросы сотрудника.

В конце сентября 2022 года прошел 5-й Юбилейный молодежный форум «Росатомфлота». В форуме приняло участие более 100 человек из 11 предприятий атомной отрасли. Основными целями форума были погружение в деятельность предприятия в виде квеста, в котором участники могли погрузиться в деятельность подразделений, выполнив задания, и погружение в отраслевую повестку по трем блокам – профориентация, где вырабатывались предложения по привлечению курсантов и студентов на работу, новая модель лидера, где участникам предстояло сформулировать понятия 6 качеств нового лидера атомной отрасли, и дебюрократизация, где участники сыграли в деловую игру «Найди бюрократу» и в ходе игры обнаружили проблемы в процессах предприятия и предложили решения по снижению бюрократии.

Также в 2022 году пополнился состав амбассадоров бренда «Росатома» (6 молодых сотрудников ФГУП «Атомфлот»), перед которыми стоит задача популяризировать предприятие и Госкорпорацию «Росатом» в целом.

В течение 2022 года пять сотрудников были награждены нагрудным знаком «Заслуженный молодой наставник» за большой вклад в профориентацию и популяризацию бренда «Росатома».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам работы Совета молодежи за 10 лет: сеть представителей Совета молодежи на борту увеличилась с 2 до 10 человек, Совет молодежи ФГУП «Атомфлот» является наставником молодежных сообществ ФГУП «Гидрографическое предприятие» АО «Чукотатомэнерго», ФГБУ «Главсевморпуть», участники интегрированы в дивизиональную и отраслевую повестку. Создан пул амбассадоров и экспертов федеральных, отраслевых и региональных проектов. На базе Совета молодежи сформировано волонтерское движение.

Атомный ледокольный флот – опора России в Арктике. Уже сегодня молодые профессионалы определяют будущее страны. В молодежном движении ФГУП «Атомфлот» важен каждый сотрудник!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФГУП «Атомфлот» [электронный ресурс]. URL: <http://www.rosatomflot.ru/>.

2. Положение о Совете молодежи ФГУП «Атомфлот» – г. Мурманск: ФГУП «Атомфлот». – Утверждено генеральным директором М.М. Кашкой, решением профсоюзного комитета ППО ФГУП «Атомфлот» РПРАЭП от 25.03.2020 (протокол №32/20) председателем ППО ФГУП «Атомфлот» РПРАЭП В.А. Зиминым, 2020 г. – 8 стр.

ФАКТОРЫ ГОТОВНОСТИ К НАПИСАНИЮ И ЗАЩИТЕ ДИССЕРТАЦИОННЫХ РАБОТ

А.А. Суворова¹, Т.В. Зайцева²

¹Частное учреждение «Наука и инновации», г. Москва

²МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

e-mail: AnnaSuvorova@rosatom.ru, zaytv@spa.msu.ru

Высокотехнологичная и наукоемкая атомная отрасль фактом существования способствует не только достижению своей прямой цели — производства электроэнергии, но и развитию научного знания, концентрации усилий на прорывных направлениях исследований в различных областях. Практический интерес представляет исследование по выявлению факторов, стимулирующих или тормозящих интерес к научной деятельности сотрудников научного дивизиона отрасли.

The functioning of the high-tech and science-intensive nuclear industry contributes not only to achieving its direct goal — the production of electricity, but also facilitates the development of scientific knowledge, concentration of efforts on breakthrough areas of research in various fields. Of practical interest to conduct a study to identify factors that stimulate or inhibit interest in scientific activity among employees of the science division of Rosatom State Corporation.

ВВЕДЕНИЕ

Очевидно, что без сильной науки и талантливых ученых сложно справиться с сегодняшними и будущими вызовами. Для того чтобы одаренная молодежь шла в науку и делала нашу страну лучше, нужно понимание причин интереса к научной деятельности, а также последующая адресная поддержка.

Сегодня любая корпорация, которая основывается на технологических решениях, поддерживает институты развития, главный ресурс которых — люди, а повышение престижа профессии ученого — ключевой ориентир.

Организации научного дивизиона Госкорпорации «Росатом» «Наука и инновации» не являются исключением и показывают, что молодые люди могут быть успешными в этой отрасли и как профессионалы, и как исследователи.

Современные условия предъявляют высокие требования к личностным и профессиональным качествам сотрудников. Несоответствие этих качеств тем задачам, которые стоят перед сотрудниками, влияет на эффективность выполнения профессиональной деятельности. Рост числа сотрудников на руководящих должностях без соответствующей ученой степени может привести к неуккомплектованности штатов и другим системным проблемам. Кроме того, сегодня достаточно много девушек и женщин работают в атомной отрасли наравне с мужчинами, успешно выполняют свои обязанности. Однако при приеме женщин на работу возникают вопросы относительно их готовности к научной деятельности в естественнонаучных областях.

Целью данной работы является выявление факторов, стимулирующих или блокирующих деятельность сотрудников научного дивизиона Госкорпорации по атомной энергии «Росатом» разного пола и разного возраста по написанию и защите диссертаций на соискание степеней кандидата или доктора наук.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Ученые выделяют следующие факторы, влияющие на предрасположенность к научной деятельно-

сти: творческую направленность личности; интерес к определенной науке; желание понять некоторое явление самому и объяснить его сущность другим; желание принести пользу обществу; желание «оставить свой след в истории», стремление достичь определенного социального статуса; желание реализовать собственный потенциал; материальное благополучие [1, 2].

Среди преимуществ аспирантуры и соискательства выделяют свободу выбора направлений исследований и самого рода занятий, постоянную работу над собой с целью увеличения инвестиций в человеческий капитал, потребность постоянного развития, расширение среды коммуникации за счет академической мобильности (участие в конференциях, научных школах, сообществах), ценность управления профессиональным и личным временем [3]. Особенности мотивации к научной деятельности сотрудников научного дивизиона были выявлены и обобщены с применением методов анкетирования и углубленных интервью, что позволит сформулировать рекомендации, расширяющие арсенал применяемых стимулов и устранить искусственные барьеры на данном пути. Анкетный опрос проходил в режиме полной анонимности и носил добровольный характер. Ответы были получены от 79 респондентов (из них 48 мужчин и 31 женщина), что составляет 4% от общего списочного состава сотрудников категории «научный персонал» и 13% от общего количества сотрудников, имеющих степень. Самой многочисленной (36%) оказалась группа 29–35 лет, на втором месте (29%) — группа сотрудников в возрасте 22–28. Согласно ответам, почти к половине опрошиваемых решение получить степень пришло во время обучения в институте. Интересно, что мужчины чаще проявляют прагматичность, намереваясь оформлять результаты своих работ по основному виду деятельности в виде диссертации. Результаты ответов на вопросы о мотивах респондентов к защите диссертаций подтверждают тезис других исследователей о том, что научная работа может выступать источником радости сама по себе, предоставляя возможность

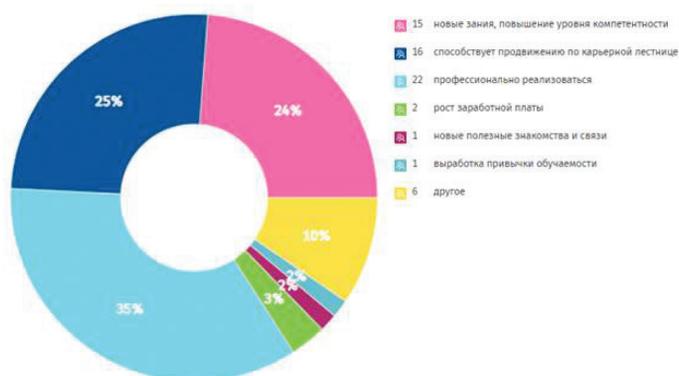


Рис. 1. Распределение ответов респондентов на вопрос «Какую пользу Вы ожидаете или уже получили от ученой степени?»

наслаждаться самим научно-исследовательским процессом. И хотя число тех, кто рассматривает научную деятельность как средство достижения цели, преобладает, разница не является существенной.

Обращает на себя внимание также тот факт, что респонденты, которые находятся в процессе написания диссертационной работы, более склонны воспринимать научно-исследовательскую деятельность как источник удовольствия, чем те, кто уже защитил диссертацию.

Ответы на вопрос «Назовите, пожалуйста, Ваш основной стимул к получению ученой степени» показывают, что большинством сотрудников движет внутренняя мотивация. Однако малые веса фактора материального вознаграждения, престижа, гарантий косвенно указывают на их малую задействованность в структуре мотивации.

Подобный результат демонстрируют и ответы на вопрос: «Какую пользу Вы ожидаете или уже получили от ученой степени?».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывают, что наиболее перспективной стратегией подготовки и защиты научно-исследовательских работ среди действующих сотрудников научного дивизиона является оформление результатов своей повседневной работы в виде диссертации. Количество защищаемых диссертаций можно увеличить, обеспечив сотрудникам методическую (курсы повышения квалификации по подготовке и написанию диссертационных работ, методические семинары и т. п.) и организационную поддержку (помощь в подготовке документов к защите) по основному виду работы. Можно также рекомендовать разработать руководство по накоплению, обобщению и оформлению результатов ежедневной профессиональной деятельности в виде продуктов научно-исследовательского труда с использованием доступных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабынцева И.С. Особенности мотивации научной деятельности современных аспирантов // Вопросы педагогики. 2021. № 6-1. С. 210-216.
2. Патутина С.Ю. Формирование мотивации к научно-исследовательской деятельности у студентов вузов // Кадровик. 2021. №12. С. 117-124.
3. Михалкина Е.В., Скачкова Л.С. Почему выпускники аспирантуры не выбирают работу в университетах? // Terra Economicus. 2018. Т. 16. № 4. С. 116-129. DOI: 10.23683/2073-6606-2018-16-4-116-129.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЛИТИКИ МОЛОДЕЖНОГО ОБЩЕСТВА АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» В ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ПРЕДПРИЯТИЙ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

А.Н. Сульдина¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Санкт-Петербург
e-mail: ANSuldina@atomproekt.com

Молодежное общество Санкт-Петербургского филиала АО «Атомэнергопроект» (далее – МО СПБАЭП) за короткий срок смогло реализовать накопленный опыт организации различных мероприятий и кардинально изменить свои основные направления работы. Трансформация деятельности произошла под влиянием внешних макроэкономических условий развития атомной отрасли и Российской Федерации в целом. Данная работа – пример использования базовых организаторских навыков для реализации образовательных, социальных и благотворительных направлений в работе общественных организаций в атомной отрасли.

The Youth society of St. Petersburg branch of JSC «Atomenergoproekt» (hereinafter - YS SPbAEP) in a short time was able to implement the accumulated experience in organizing various events and dramatically changed its main areas of work. The transformation of activities occurred under the influence of external macroeconomic conditions in the development of the nuclear industry and development of Russian Federation in general. This work is an example of the usage of fundamental organizational skills for the implementation of educational, social and charitable areas in the work of public organizations in nuclear industry.

ВВЕДЕНИЕ

Молодежные организации атомной отрасли особенно активно развиваются в последние годы, становясь значимой структурной единицей в социальных и культурных проектах атомщиков. МО СПБАЭП принимает активное участие в любой междивизионной работе, быстро реагируя на любые предложения корпорации по организации акций и участию в мероприятиях: будь то помощь Энергодару или же международный форум гражданского участия «Мы вместе». Но при этом МО СПБАЭП удалось сохранить индивидуальность, воплощая новаторские идеи активистов, которые не имеют аналогов в атомной отрасли. Прогресс в любой сфере достигается при наличии конкуренции, это применимо и к деятельности любых организаций, в нашем случае – Молодежных обществ корпорации. Но вопреки или благодаря международным событиям последних лет вектор деятельности МО СПБАЭП взял курс на совершенно новый виток развития. За полгода до пандемии 2020 года президент МО СПБАЭП Андрей Семенов объединил многочисленные благотворительные проекты в Благотворительное направление. Пандемия 2020 года наложила запрет на любые массовые мероприятия, но для МО СПБАЭП это лишь послужило толчком для начала новых проектов, имеющих уже не столько развлекательную составляющую, сколько социальные и научные течения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Весь накопленный опыт мы вложили в повзрослевшие проекты: серьезные, востребованные и актуальные в наше беспокойное время.

1. Велопплоггинг.

Уникальность проекта МО СПБАЭП в том, что мы соединили спорт и благотворительный порыв, смогли привлечь спортивные секции АО «Атомэнергопроект», проведя забег и заезд велоспортсменов и любителей погулять по заповеднику в Лебяжье, при этом проведя уборку леса с одновременной сортировкой собранного мусора и отправкой его на пункты сбора раздельного мусора (рис. 1). Благодаря уникальности проекта он стал фирменным проектом МО СПБАЭП.

2. Акция Памяти.

Это уникальное мероприятие, которое проводится с 2021 года, уже стало визитной карточкой МО СПБАЭП. Оно проводится совместно с ППО «Атомпроект». При этом в акции принимают участие сотрудники всех возрастов и члены их семей, друзья и знакомые (рис. 2).

Организаторы акции каждый год разрабатывают новый маршрут, по которому проводится автопробег с остановками в исторически значимых местах. Мы подготавливаем исторические справки о страшных страницах истории нашей страны, рассказываем интересные факты о проходивших сражениях во время Великой Отечественной войны. Маршрут составляется по тем местам, которые не очень известны широкому кругу.

3. Акции помощи животным.

МО СПБАЭП регулярно оказывает помощь животным: это традиционные поездки в приюты, доставка кормов и лекарств, прогулки с животными. Но в этом году состоялась беспрецедентная акция. В Ленинградской области сгорел небольшой домашний приют для кошек и собак, эта новость моментально облетела местные СМИ. В рекордно короткий срок было собрано более 240 кг корма, закуплены баки для его хранения, все это было доставлено в поселок Мучихино (рис. 3).

Это позволило продержаться уцелевшим питомцам приюта в самое трудное время после пожара, а мы приобрели опыт проведения подобных акций в максимально сжатые сроки.

4. Центр содействия семейному воспитанию № 5.

Для проведения акций в детских домах требуется высокая квалификация и ответственность организаторского состава. Мы долгое время вынашивали идеи помощи детям. Самое простое велопплоггинг – купить подарки и отвезти. Но детям, которые находятся в детских домах, наиболее важно общение и социализация, развитие бытовых навыков. Мы смогли договориться с администрацией детского дома, и нам доверили проведение праздника для воспитанников (рис. 4).



Рис. 1. Велопплоггинг



Рис. 2. Акция Памяти



Рис. 3. Доставка помощи в сгоревший приют



Рис. 4. Игра по станциям в Центре содействия семейному воспитанию № 5



Рис. 5. Рогейн

Весь опыт, который был накоплен при проведении культурно-массовых мероприятий, мы смогли реализовать при подготовке игры-квеста для детей. Вторым этапом стало сотрудничество с Центром после проведения Благотворительной ярмарки отделом Социальной политики нашего предприятия. Мы продолжаем сотрудничество с этим Центром и разрабатываем новые проекты в этом направлении.

5. Проект Адаптация.

Уникальный проект, подготовленный совместно с администрацией АО СПБАЭП и направленный на адаптацию в рабочей среде новых сотрудников. Серия доступных лекций по нескольким тематикам, которые помогают им быстрее сориентироваться в рабочем процессе.

6. Большой Атомный Рогейн

Для сплочения всего коллектива, популяризации спорта среди всех сотрудников мы искали новую и яркую идею, не похожую ни на одну до этого. Именно поэтому был задуман и воплощен в жизнь Большой Атомный Рогейн. Рогейн – это симбиоз бывшего некогда популярного спортивного ориентирования и командообразования, сочетающего в себе стратегию и тактику, навигацию на пересеченной местности, а также требующего от участников физической выносливости. Рогейн основан на легендах и загадках, которые выдаются участникам совместно с картой местности. Мы намеренно хотели привлечь к участию не только молодых сотрудников, но и детей, а также более взрослых участников, организовать спортивное семейное событие с элементами квеста на природе (рис. 5).

И это мероприятие уже стало одной из визитных карточек МО СПБАЭП.

7. Сотрудничество с отделом социальной политики и ППО «Атомпроект».

МО СПБАЭП параллельно со своими проектами продолжает реализовывать и другие социальные направления, ежегодно принимая участие в доставке подарков и помощи ветеранам атомной отрасли, организации дней донора, которые проходят уже более 10 лет и собирает до 90 доноров из числа сотрудников за один день приема крови. Эти все проекты проходят на постоянной основе и являются неотъемлемой частью работы МО СПБАЭП уже несколько лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уникальность МО СПБАЭП в том, что мы реализуем идеи талантливых активистов, заручаясь поддержкой руководства. Мы изменили курс, сделав акцент при организации мероприятий на образовательное, благотворительное и спортивное направление, объединяя сотрудников всех возрастов. При этом смогли найти новые решения при подготовке уникальных проектов в эпоху становления экономического суверенитета предприятий отрасли.

ШКОЛА КОРПОРАТИВНОГО РАЗВИТИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ АДАПТАЦИИ МОЛОДЫХ СОТРУДНИКОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

А.А. Сычева¹

¹АО «СХК», г. Северск

e-mail: anasycheva@rosatom.ru

Производство АО «СХК» является уникальным, обладает своей спецификой, высокими требованиями к охране труда и безопасности. В условиях крупного режимного предприятия вновь принятым сотрудникам достаточно сложно сразу адаптироваться на рабочем месте, что создает дополнительную эмоциональную нагрузку и препятствует профессиональному развитию. Проект направлен как на адаптацию, так и на знакомство с основными ценностями, принципами и направлениями деятельности комбината и ГК «Росатом».

Production of JSC «SCP» is unique, has the specifics, high requirements to labor protection and to safety. In the conditions of the large regime enterprise, it is rather difficult to again accepted employees to adapt in a workplace at once that creates additional emotional loading and interferes with professional development. The project is directed both to adaptation, and to acquaintance to core values, the principles and activities of plant and «Rosatom» State Corporation.

ВВЕДЕНИЕ

Общественным молодежным объединением АО «СХК» начиная с 2012 года проводится проект «Школа корпоративного развития» (далее – ШКР), основной целью которого является адаптация молодежи в направлениях деятельности АО «СХК» и ГК «Росатом».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основными задачами при реализации ШКР являются: раскрытие потенциала молодых сотрудников, развитие лидерских компетенций, навыков создания и управления командой; вовлечение молодежи в развитие стратегически важных направлений деятельности АО «СХК» и ГК «Росатом»; формирование команды молодых работников, замотивированных к реализации социальных и производственных проектов, развитие корпоративных ценностей молодых работников предприятия; взаимодействие с вузами Томской области в целях популяризации имиджа ГК «Росатом».

Целевой аудиторией являются молодые сотрудники АО «СХК» (до 35 лет включительно), студенты вузов Томской области, представители работающей молодежи Томской области и предприятий-партнеров.

Школа корпоративного развития – это интенсив продолжительностью три дня, включающий в себя комплекс образовательных и развивающих семинаров и тренингов, спортивно-развлекательных и командообразующих мероприятий, а также встреч с топ-менеджерами предприятия. Первый день организован для молодежных лидеров структурных подразделений комбината. В последующие дни ШКР выполняет ряд задач:

- знакомство с деятельностью предприятия, технологией и технологическими процессами производственных линий, актуальными проектами, перспективами развития предприятия;
- практические семинары – тренинги, деловые игры, командное взаимодействие;
- встречи с топ-менеджерами предприятия и АО «ТВЭЛ» в рамках беседы «История успеха».

Организаторами и спикерами школы корпоративного развития являются работники предприятия, руководители и работники ключевых отделов, внутренние тренеры, представители молодежного объединения, представители лаборатории обеспечения надежности персонала и приглашенные эксперты из вузов и СУЗов.

Важным и мотивирующим элементом ШКР является рейтинговая система участников. Самые активные ученики (15-20 человек) получают при завершении мероприятия благодарственные письма и ценные памятные подарки. Количественными показателями реализации проекта является увеличение уровня вовлеченности молодых сотрудников в направлениях деятельности АО «СХК» и Госкорпорации «Росатом»:

- более 50% участников вступили в Профсоюз и ОМО;
- 100% участников прошли адаптационный тренинг;
- 100% участников приняли участие в открытой беседе с топ-менеджерами АО «СХК»;
- 100% участников прошли тренинг по конфликтологии;

- 15% участников прошли тренинги по управлению сопротивлением;

- 20% участников отмечены благодарственными письмами и памятными подарками руководством АО «СХК»;
- 100% участников ШКР получили сертификаты участия.

Качественными показателями реализации проекта стали:

- формирование у участников общего представления о деятельности АО «СХК», его специфике, понимание личного вклада в достижение целей предприятия;
- знакомство с системой ПСР, стратегией развития предприятия, дивизиона и отрасли, основными правилами и требованиями охраны труда, культуры безопасности и культуры безопасного поведения;
- снижение эмоциональной напряженности в условиях адаптации на новом рабочем месте;
- формирование новых межличностных взаимодействий и коммуникаций;
- развитие личностных компетенций участников мероприятия;
- формирование фундамента знаний, который позволит развиваться самому и приносить пользу предприятию.
- выявление лидеров среди участников в рамках формирования кадрового потенциала;
- привлечение студентов к участию в проектах ГК «Росатом» с целью дальнейшего профессионального сотрудничества.

Одним из способов оценки результативности проекта является обратная связь от участников (опрос через систему «Мой голос Росатома») и внутренняя рефлексия группы с кураторами в творческой форме.

Организация тимбилдинговых мероприятий, командные тренинги, коллективная разработка нормативных документов, внутренняя и личностная мотивация, индивидуальная коммуникация руководителей с сотрудниками, сервис для интерактивных онлайн-опросов «Мой голос Росатома», онлайн-встреча через Skype с молодежным лидером АО «ТВЭЛ», использование единой информационной системы. Уникальностью ШКР 2022 года является то, что 80% мероприятий – это авторские разработки организаторов (сотрудников АО «СХК»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для каждой организации важно видеть проблемы, возникающие у молодых сотрудников. В целях развития и улучшения проекта планируется актуализация программы согласно запросам ГК «Росатом», проведение мероприятий в рамках Молодежного движения топливной компании, взаимодействие с работающей молодежью Томской области, проведение ШКР в формате нескольких сессий (в реализации проектов по устойчивому развитию, школы волонтеров, команды поддержки изменений, ПСР-проектов, совместной форсайт-сессий с «Иннохабом Росатома» по развитию новых бизнес-проектов, патриотическому воспитанию молодежи), проведение инженерных конкурсов со школьниками и студентами.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВЕТА МОЛОДЕЖИ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» И АО АСЭ В Г. НИЖНИЙ НОВГОРОД

М.С. Турыгина¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Нижний Новгород
e-mail: M.Turygina@ase-ec.ru

**Пинки, ты думаешь о том же, о чем и я?
(Брейн)**

Совет молодежи – группа активных, инициативных, амбициозных, творчески молодых единомышленников. Только так и только вместе мы сможем завоевать этот скучный рабочий мир!

**Pinky, are you thinking the same thing as me?
(Brain).**

The Youth Council is a group of active, enterprising, ambitious, creative and young like-minded people. Only in this way and only together we can conquer this boring working world!

ВВЕДЕНИЕ

Нижегородский Совет молодежи (далее – СМ) образовался в 2013 году и существует по сей день. И не просто существует, а активно развивается! Количество и качество (здесь – относительно беспристрастная оценка автора) проводимых мероприятий растет с каждым годом.

Так как наш СМ – сообщество серьезное, у нас есть Положение, согласно которому «Совет молодежи – добровольное, самоуправляемое, некоммерческое сообщество молодых работников, которое создано с целью реализации молодежной политики компании, повышения эффективности работы с молодежью, привлечения и закрепления молодых специалистов, формирования активной жизненной позиции работающей молодежи».

Деятельность СМ основывается на принципах добровольности, равноправия и самоуправления.

Работой Совета руководит председатель СМ. Ему помогает его заместитель. Далее – руководители различных направлений (подробнее о направлениях еще пойдет речь).

Состав Совета обновляется регулярно. Особенно приятно, когда молодые сотрудники обращаются к нам с заявками на вступление после наших мероприятий. Есть и те, что уходят из Совета по тем или иным причинам. Но это естественно. СМ – живой организм!

И мне очень приятно немного познакомить вас с этим живым организмом.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Далее речь пойдет об основных направлениях деятельности Совета молодежи в г. Нижний Новгород.

Адаптационно-образовательное. Организация эффективного взаимодействия молодых работников, координация усилий и обмен опытом для достижения целей компании.

Научно-производственное. Организация и проведение научно-практических конференций с участием молодых работников компании, дивизиона и отрасли.

Спортивное. Организация и проведение спортивных и культурно-массовых мероприятий.

Социальное. Организация и проведение социально-благотворительных мероприятий.

Кадровое. Выявление лучших молодых специалистов, работа с учебными заведениями.

Информационное. Продвижение бренда компании как привлекательного работодателя.

И немного об организационных достижениях нашего Совета за последнее время, которые хотелось бы отметить.

Первое и близкое лично мне – это инициативы извне. О чем идет речь? Сотрудник не из состава СМ выступает с инициативой или предложением по проведению какого-то мероприятия. Мы оказываем этому сотруднику информационную и общую организационную поддержку. В остальном – сотрудник сам налаживает внутренние процессы, как считает нужным. Мне кажется, это прорыв!

И второе глобальное новшество конкретно для нашего СМ – обучение ответственных, «Организация и проведение мероприятия под ключ» (название авторское). Более опытные в организации члены СМ передают накопленные знания назначенным ответственным за мероприятие. Цель – передача бесценных знаний (научение всем территориальным тонкостям), вовлечение членов СМ именно в организацию мероприятий.

Считаю, что это мудрый управленческий шаг руководства нашего СМ.

Закончить хотелось бы следующим. Как говорилось ранее, Совет молодежи – живой организм. Он развивается, обновляется, иногда с ним что-то происходит внутри, постоянно какие-то воздействия извне. Мне кажется, очень важно отвечать себе на вопрос «Зачем мы все это делаем?» и, конечно же, отвечать на него вместе со своими единомышленниками.

10 лет – полет нормальный!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ратц Е.М. Презентация «Деятельность Совета молодежи г. Нижний Новгород».

СОЗДАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ТЕМАТИЧЕСКОГО НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ МОЛОДЕЖИ В СФЕРУ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

М.Г. Афанасьева¹, С.С. Целищева¹, О.А. Терехина¹, И.В. Шмелев¹

¹АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород

e-mail: afanasyeva@okbm.nnov.ru

В настоящей работе представлены сведения о предпосылках и истории создания научного сообщества на базе АО «ОКБМ Африкантов». Рассказано о предварительных исследованиях вопроса, представлены цели и задачи научного объединения, а также кратко приведены промежуточные результаты работы.

This paper presents information about the background and history of creation of the scientific community on the basis of Afrikantov OKBM, JSC. It describes the preliminary studies of the issue. The goals and objectives of the scientific community are presented, and the intermediate results of the work are summarized.

ВВЕДЕНИЕ

Десятилетие с 2022 по 2031 год объявлено Правительством России Десятилетием науки и технологий. Его основные цели – привлечение молодежи в сферу науки и технологий, вовлечение исследователей и разработчиков в решение важных задач для страны и общества и популяризация достижений российской науки.

В Госкорпорации «Росатом» и ее организациях в настоящее время большое внимание уделяется формированию эффективной системы коммуникации в области науки, технологий и инноваций, в связи с чем руководством было дано указание организовать мероприятия по популяризации научной, научно-технической и инновационной деятельности.

АО «ОКБМ Африкантов» является научно-производственным центром, и научная и инновационная деятельность играет существенную роль в реализации проектов и развитии предприятия. Руководство придает большое значение заинтересованности и активному участию специалистов в научно-технической деятельности и поддерживает инициативы и проекты в данной сфере.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

С 2019 года в АО «ОКБМ Африкантов» реализуется проект Команды поддержки изменений (КПИ) по совершенствованию организации научно-технической деятельности. Предпосылками формирования команды послужили два фактора: во-первых, научно-техническая деятельность – это один из ключевых элементов системы сохранения и передачи знаний, во-вторых, она является необходимым условием для обеспечения технологического лидерства.

Перед КПИ были поставлены следующие основные задачи:

- повышение информированности сотрудников предприятия о возможностях участия в научно-технической деятельности;
- оптимизация и упрощение процессов, связанных с научно-технической деятельностью;
- расширение научной коммуникации сотрудников предприятия.

Для решения последней из перечисленных задач было предложено создать сообщество ученых

и специалистов, объединенных по региональному принципу и тематике научных исследований.

Созданию данного научного сообщества предшествовал анализ некоторых существующих научных и экспертных объединений с целью принятия решения о подходящем формате организации сообщества.

Также была разработана концепция объединения, определены ключевые цели и задачи.

По итогам проведенной аналитической работы было принято решение о создании отдельного тематического направления на базе Совета молодых ученых и специалистов Нижегородской области (СМУиС).

СМУиС – добровольное общественное объединение молодых ученых и специалистов Нижегородской области, призванное содействовать профессиональному становлению, накоплению опыта, научному и карьерному росту молодых ученых и специалистов и максимальному использованию научного потенциала молодежи Нижегородской области.

В числе прочих представителей вузов и предприятий региона в состав СМУиС вошел представитель АО «ОКБМ Африкантов», который выступил с предложением выделить в составе СМУиС отдельные научно-технические направления по областям деятельности научных и промышленных организаций и соответствующих тематик научных исследований молодых ученых и специалистов-членов СМУиС, в частности направление «Энергетика, энергетическое машиностроение и исследования термоядерной плазмы». Предложение было поддержано председателем и участниками СМУиС.

Для вновь созданного регионального тематического научного сообщества были определены следующие цели и задачи.

Цели:

- (глобально) обеспечить взаимодействие фундаментальной науки и технических специалистов для сокращения сроков протекания процессов трансформации научной идеи в инженерный продукт;
- (для ОКБМ) обеспечить поддержание в активном состоянии научной деятельности молодых специалистов предприятия.

Задачи:

- объединить ресурсы молодых ученых предприятий Нижегородской области, обеспечить комплекс-

ный подход и быстрый поиск эффективного решения приоритетных научных задач;

- наладить интенсивный информационный обмен между членами сообщества для ознакомления с лучшими мировыми практиками решения приоритетных научных задач;
- координировать совместные опытные разработки, осуществлять организационную поддержку получения целевых субсидий, грантов, премий для членов сообщества;
- обеспечивать популяризацию науки и всестороннюю поддержку интереса к научной деятельности;
- создать условия для взаимодействия диссертационных советов и редакционных коллегий научных журналов для проведения предварительной неформальной научной экспертизы диссертационных работ и публикаций, поиска оппонентов и рецензентов,

консультаций и обмена опытом в области написания научных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день можно отметить следующие ключевые результаты.

1. Создано телеграм-сообщество для обмена информацией между участниками.
2. Разработан план мероприятий научного сообщества на 2022-2023 годы.
3. Проведено мероприятие в формате встречи с молодым ученым – грантополучателем, руководителем стартапа.

На ближайшее будущее запланировано расширение круга участников научного сообщества, издание информационных материалов и проведение мероприятий в очном и дистанционном формате.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ОЦЕНКЕ И РАЗВИТИЮ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ФБУ «НТЦ ЯРБ»

А.А. Вон¹

¹ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва

e-mail: von@secnrs.ru

В докладе раскрывается актуальность вопросов по культуре безопасности (КБ) в сфере использования атомной энергии. Рассмотрена практика оценки и развития КБ в регулирующем органе. Особое внимание уделено инструментам и методам проведения оценки культуры безопасности предприятия на примере ФБУ «НТЦ ЯРБ», анализу результатов оценки, а также мероприятиям по развитию общего уровня КБ.

The relevance of the problem of safety culture in the field of atomic use is revealed; the practice of assessing and developing safety culture in the regulatory body are considered. Particular attention is paid to the tools and methods for assessing the safety culture of an enterprise using the example of the SEC NRS, analysis of the assessment results, as well as measures to develop the overall level of safety culture.

ВВЕДЕНИЕ

Культура безопасности регулирующего органа является предметом публикации АЯЭ ОЭСР – так называемого «зеленого буклета», выпущенного в 2016 году [1]. Зеленый буклет содержит пять принципов здоровой культуры безопасности.

С учетом этих принципов в 2019 году было разработано Заявление о политике по культуре безопасности в области государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии (далее – Заявление о политике) [2]. В Заявлении о политике определено понятие КБ, цели и задачи Ростехнадзора в области КБ, а также принципы, которыми руководствуется Ростехнадзор при реализации мероприятий по совершенствованию собственной КБ.

В соответствии с Заявлением о политике [2] одной из первоочередных задач Ростехнадзор считает проведение самооценки КБ и определение на ее основе приоритетных направлений поддержания и развития КБ в области государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

В рамках подготовки к проведению самооценки КБ Ростехнадзора была организована разработка подхо-

дов к проведению самооценки КБ. С целью апробации разработанного подхода была сформирована рабочая группа, проведена пилотная и повторная самооценка КБ в ФБУ «НТЦ ЯРБ».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве основного подхода к проведению самооценки было выбрано проведение анкетирования. С учетом подходов МАГАТЭ и АЭЯ ОЭСР к формированию, поддержанию и проведению оценки КБ, изложенных в публикациях [1], [3, 4, 5], был разработан перечень вопросов для проведения самооценки КБ.

Самооценка КБ в ФБУ «НТЦ ЯРБ» проводилась дважды: в 2019 (пилотная самооценка) и в 2022 годах (повторная самооценка).

Во время повторной самооценки было разработано 105 вопросов с развернутыми вариантами ответов, ранжированных по их вкладу в итоговое значение. Все вопросы принимались как равновесные, то есть вносящие равный вклад в оценку КБ. Для каждого вопроса были разработаны пять стандартных ответов. Самооценка КБ учреждения в форме анкетирования и дальнейшей обработки данных проводилась в течение двух календарных месяцев.

Первоначально была определена рабочая группа по проведению самооценки КБ. Методом случайной выборки из персонала, присутствующего на рабочих местах, рабочей группой была сформирована представительная группа работников в количестве 67 человек. Представительная группа составила порядка 20% от штатной численности персонала учреждения на момент проведения анкетирования. В число опрашиваемых вошли сотрудники учреждения, чья профессиональная деятельность связана с научной работой, а также специалисты и инженеры.

В ходе проведения оценки КБ каждому из участников представительной группы по электронной почте была направлена подготовленная анкета. Рассылка всем участникам производилась в один и тот же день, с краткими комментариями по порядку заполнения и представления анкеты. На ответы на вопросы и представление анкеты было отведено 7 рабочих дней.

Таблица 1. Примеры вопросов анкеты

Номера вопросов	Вопросы	Оцените соответствие вопросу по шкале от 1 до 5, где 5 – наибольшее соответствие, 1 – наименьшее соответствие										
1	Понятно ли вам назначение «Заявления о политике Ростехнадзора по культуре безопасности в области государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии» (далее – Заявление КБ)?	<table style="display: inline-table; border: none;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">1</td> <td style="padding: 0 10px;">2</td> <td style="padding: 0 10px;">3</td> <td style="padding: 0 10px;">4</td> <td style="padding: 0 10px;">5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	<input type="checkbox"/>				
1	2	3	4	5								
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								

По итогам повторной самооценки КБ в ФБУ «НТЦ ЯРБ» проведен сравнительный анализ с результатами пилотной самооценки. Во всех принципах наблюдается заметный рост средних значений оценки, что привело к повышению итогового значения уровня КБ с 3,94 (удовлетворительно) до 4,12 (хорошо).

С учетом анализа результатов проведения повторной самооценки, а также обратной связи от ре-

Таблица 2. Сравнение результатов самооценок

	Пилотная самооценка (2019 г.)	Повторная самооценка (2022 г.)
Количество вопросов	168 вопросов	105 вопросов
Опрошено респондентов	58 человек	65 человек
Количество признаков «удовлетворительно»	16 признаков	3 признака
Количество признаков «хорошо»	5 признаков	18 признаков
Общая оценка КБ	3,94 – удовлетворительно	4,12 – хорошо

спондентов был определен план мероприятий и ряд рекомендаций, направленных на совершенствование КБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение самооценки КБ способствует выявлению «сильных» и «слабых» признаков и принципов КБ предприятия. На основании ее результатов целесообразным является разработка плана мероприятий, способствующих вовлечению персонала в вопросы КБ, что в свою очередь несет за собой повышение общего уровня КБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Safety Culture of an Effective Nuclear Regulatory Body, OECD 2016, NEA No. 7247, nuclear energy agency organisation for economic cooperation and development.
2. Заявление о политике по культуре безопасности в области государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии, 2017, Ростехнадзор.
3. Leadership and Management for Safety, No. GSR Part 2, 2016, IAEA.
4. Use of a Graded Approach in the Application of the Management System Requirements for Facilities and Activities, IAEA-TECDOC-1740, 2014, IAEA.
5. Key Practical Issues in Strengthening Safety Culture, INSAG-15, 2002, IAEA.

ВОВЛЕЧЕНИЕ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ АО «ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ» В ПРОЦЕСС НЕПРЕРЫВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

И.А. Захарова¹

¹АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии», г. Москва
e-mail: Zakharova.I.A@vnipt.ru

Вовлечение молодых специалистов в развитие компании имеет важное значение как для самой организации, так и для сотрудников. Молодые специалисты, заинтересованные в собственном развитии, проявляют инициативу, которую поддерживает руководство. Производственная система «Росатома» нацелена на развитие культуры непрерывного совершенствования и оказывает непосредственное влияние на сотрудников в части развития творческих подходов и нестандартного мышления для решения производственных задач. Данная работа описывает практический опыт использования инструментов производственной системы для вовлечения молодых специалистов в процесс совершенствования организации.

The involvement of young professionals in the development of the company is important, both for the organization itself and for employees. Young professionals interested in their own development take the initiative, which is supported by the management. The production system of Rosatom is aimed at developing a culture of continuous improvement and has a direct impact on employees in terms of developing creative approaches and out-of-the-box thinking to solve production problems. This paper describes the practical experience of using the tools of the production system to involve young professionals in the process of improving the organization.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уже подтвержден значительный эффект от внедрения бережливого производства. Бережливое производство, lean-производство, производственная система – названия разные, но цель одна – системное сокращение потерь, которые присутствуют на каждом рабочем месте.

Крупные компании, такие как «Росатом», «КАМАЗ», РЖД и многие другие, также применяют подходы бережливого производства у себя. Госкорпорация «Росатом» адаптировала под атомную отрасль опыт лучших производственных систем, успешно развивает свою производственную систему и делится опытом с другими.

Основная цель Производственной системы Росатома (ПСР) – создать культуру бережливого производства и систему непрерывного совершенствования процессов для обеспечения конкурентного преимущества на мировом уровне.

Для этого необходимо вовлечь как можно больше людей, в особенности молодых специалистов, которые поверят в возможность достижения мирового технического лидерства, станут эффективно реагировать на вызовы и бороться с потерями, применяя нестандартные решения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В АО «ВНИПИпромтехнологии» системное развертывание ПСР началось в 2021 году. Развертывание включало в себя реализацию ПСР-проектов и предложений по улучшениям (ППУ). За 3-й кв. 2021 года и 2-й кв. 2022 года было реализовано три ПСР-проекта, в которых 40% участников рабочих групп стали молодые специалисты. Это специалисты, работающие на предприятии несколько лет.

Основная проблема низкой вовлеченности – отсутствие знаний о ПСР.

У поколения миллениалов (поколение Y, родившиеся с 1984 по 2000 г.) наблюдается предрасположенность к геймификации, так как они с детства играли в компьютерные игры. Суть применения данной методики сводится к внедрению игрового инструмента в процесс обучения.

Для обучения производственной системе «Росатом» таким инструментом мы выбрали проведение Фабрик процессов.

Фабрика процессов – это площадка практического обучения навыкам применения методик и инструментов ПСР. Во время обучения участники «примеряют» на себя роли, предусмотренные сценарием обучения, и таким образом погружаются в реальный производственный процесс, который необходимо улучшить.

Первое обучение наших сотрудников на Фабрике процессов состоялось в ноябре 2022 года на базе АО «МСЗ». Получили хороший отклик, но так как наше предприятие осуществляет проектирование объектов и основные процессы – офисные, от участников поступил запрос на организацию Фабрики офисных процессов.

В 1-м квартале 2023 года было проведено два таких тренинга, направленных на оптимизацию офисных процессов. Важно отметить, что на второй тренинг специалисты инициировали участие сами. Таким образом, нами было подтверждено, что механизм геймификации хорошо вовлекает молодых специалистов.

По итогу квартала на предприятии открыто 10 ПСР-проектов, участниками которых являются молодые специалисты (50-55% от общего числа).

Кроме того, увеличилось количество поданных ППУ от молодых специалистов.

Проведя опрос участников на предмет необходимости проведения Фабрики процессов, получили запрос на адаптированную Фабрику процессов под

проектную деятельность института.

В настоящее время идет разработка проекта по созданию Фабрики процессов проектирования. Это один из проектов Совета молодежи и КПИ АО «ВНИ-ПИпромтехнологии», который в дальнейшем будет использоваться в проектах по работе со школьниками и студентами для формирования стратегического кадрового резерва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производственная система «Росатома» позволяет не только сокращать потери и оптимизировать производство. Она помогает вовлекать специалистов

в стратегическое развитие компании и учит развивать нестандартное мышление по решению производственных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 56404 «Бережливое производство. Требования к системам менеджмента». – 2021.
2. Обозов С.А. В поисках идеального потока. История Производственной системы «Росатома». – М. 2020.
3. Обозов С.А. Производственная система России – полный вперед! – М. 2022.

ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»

А.С. Карасева¹

¹АО «Атомэнергoproект», г. Санкт-Петербург
e-mail: ASKaraseva@atomproekt.com

В данной статье рассматриваются методы и инструменты бережливого производства в проектном производстве на основе информационной системы Planner. В рамках растущего импортозамещения возникает необходимость развития отечественных систем собственного производства. В АО «Атомэнергoproект» разработана информационная система Planner.

Представлены отличительные преимущества системы, а также рассмотрены решения возможных проблем, связанных с планированием проектного производства. Обозначены основные функции и инструменты системы.

This article discusses the methods and tools of lean manufacturing in project manufacturing based on the Planner information system. As part of the growing import substitution, there is a need to develop domestic systems of own production. JSC Atomenergoproekt has developed the Planner information system.

The distinctive advantages of the system are presented, as well as solutions to possible problems associated with the planning of project production. The main functions and tools of the system are indicated.

ВВЕДЕНИЕ

Производственная система (ПСР) ГК «Росатом» – культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов для обеспечения конкурентного преимущества на мировом рынке, включающую в себя следующие направления (рис. 1).

В АО «Атомэнергoproект» в качестве такой системы используется Информационная система (ИС)

Planner, ее разработка началась в начале 2018 года. На данный момент система охватывает полный жизненный цикл проектирования с момента заключения договора до его закрытия.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ИС Planner включает в себя следующие методы бережливого производства (рис. 2).



Рис. 1. Методы и инструменты бережливого производства в проектном производстве



Рис. 2. Методы и инструменты бережливого производства в проектном производстве

1. Непрерывное улучшение (Kaizen) на примере развития ИС Planner (рис. 3).



Рис. 3. Непрерывное улучшение (Kaizen)

2. Визуальное управление проектами.

1. Система ИС Planner (система НСП) (рис. 4) помогает руководителям:

- планировать (понимать нагрузку и видеть задействованность сотрудников на проектах);
- контролировать выполнение; исполнительам:
- четко понимать поставленные задачи и их сроки;
- фиксировать затраченное время и сообщать руководителю о возможных проблемах.



Рис. 4. Интерфейс ИС Planner

II. В качестве расширенного инструмента визуализации используется Информационная панель проектного блока на базе ИС Planner (рис. 5).

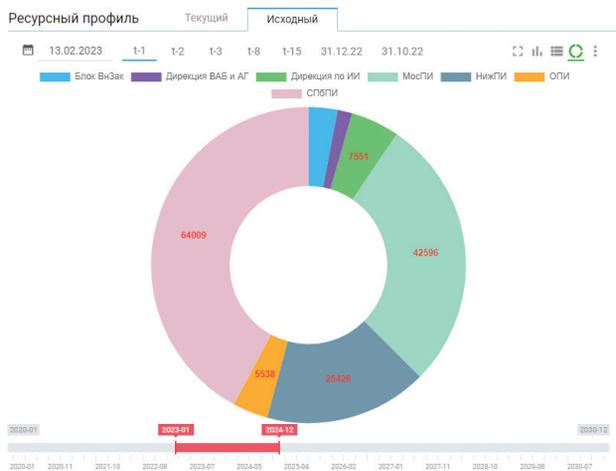


Рис. 5. Диаграмма «Ресурсный профиль» Информационной панели проектного блока

- III. Система КСП позволяет:
- создавать структуру проектов;
 - создавать работы графика;
 - строить диаграмму Ганта;
 - осуществлять экспорт в MS Excel.

3. Производственный контроль и анализ как система мониторинга показателей.

Информационная панель имеет ряд существенных преимуществ.

1. Данные в режиме реального времени. Происходит ежедневная синхронизация с базами данных и интегрированными системами, что позволяет быстро получить актуальную информацию на текущую дату и принять управленческие решения.

2. Срез данных. Система позволяет получить данные на дату прошлого периода, а также сделать сравнительную аналитику за любые периоды, используя графическое или табличное представление данных (рис. 6).

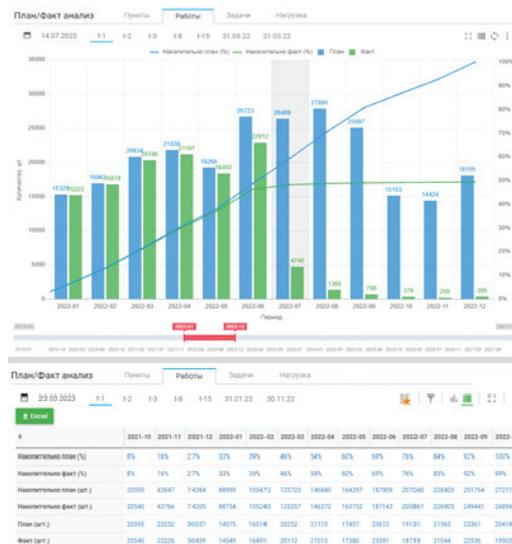


Рис. 6. Графическое и табличное представление данных Информационной панели проектного блока

3. Технология «drill – down». При формировании различных многоуровневых отчетов есть возможность отследить всю цепочку данных от договора до исполнителя.

4. Способность создавать набор отчетов под себя для быстрого доступа с учетом необходимых фильтров и разрезов на различных уровнях.

5. Решение проблем.

ИС Planner позволяет:

- выявлять проблемы;
- определять причины возникновения проблем;
- разрабатывать компенсирующие действия (объяснения).

6. Система 5С. В ИС Planner используются все 5 принципов системы 5С:

- сортировка;
- соблюдение порядка;
- содержание в чистоте;
- стандартизация;
- совершенствование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие информационной системы Planner способствовало переходу от сухих строчек данных в простое и понятное отображение с четкими результатами и определением текущих проблем.

Охват всех уровней сотрудников компании в ИС Planner позволяет принимать мгновенные решения, сокращает время на обработку данных и дает необходимую прозрачность процессов.

Стабильность графиков в Объединенном проектом институте с начала 2021 по конец 2022 года увеличилась с 20% до 75%

ИС Planner – это инструмент бережливого производства и управления процессами проектирования. Информационная система направлена на постоянное повышение качества продукции компании.

УПРАВЛЕНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТЬЮ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ LEAN SMART ПРОЕКТА

Е.В. Кузьмина¹

¹АО «ЦКБМ», г. Санкт-Петербург

e-mail: ElVaKuzmina@ckbm.ru

В данной статье представлены способ замера вовлеченности, инструменты управления сотрудниками улучшаемого процесса на разных фазах реализации Lean Smart проекта, позволяющие упрочнить новые организационные и цифровые практики после завершения проекта.

This article presents a method for measuring engagement, tools for managing employees of the process being improved at different phases of the Lean Smart project implementation, which allow strengthening new organizational and digital practices after the completion of the project.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевой успех реализации Lean Smart проекта зависит от степени вовлеченности сотрудников подразделений, через которые протекает процесс. Ослабление контроля со стороны руководства за текущим состоянием процесса после завершения проекта при низкой вовлеченности сотрудников приводит к незакреплению положительных изменений, результаты проекта превращаются в показуху. Чтобы улучшаемый процесс достиг целевого состояния, сотрудники тоже должны перейти из текущего состояния в целевое.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При открытии Lean Smart проекта особую актуальность приобретает разработка программы вовлеченности, которая предусматривает мероприятия по формированию бережливого и цифрового мышления и поведения сотрудников улучшаемых процессов. В основе структуры программы заложены жизненные циклы ПСР-проекта и командообразования Брюса Такмана.

На этапах открытия и подготовки проекта у сотрудников улучшаемого процесса возникают такие вопросы, как: «Что происходит? Куда мы движемся и почему? Зачем я здесь? Что представляют собой другие члены команды? Каков объем предстоящей работы?» [1]. Чтобы сориентировать сотрудников, руководителю проекта необходимо выполнить следующие шаги: определить состав рабочей группы и закрепить функции каждого члена команды, которые он будет исполнять в процессе реализации и завершения проекта в виде матрицы ответственности RACIS; определить роли в рабочей группе проекта по тесту Белбина и возместить недостающие роли; определить состав рабочей группы по теории поколений с описанием

характерных черт, чего они хотят от работы, что их мотивирует и как заслужить их лояльность, возместить недостающие функции в матрице RACIS; провести стартовое совещание с определением целей, задач команды, объяснением необходимости улучшения процесса, его автоматизации или цифровизации и с согласованием матрицы ответственности.

На этапах диагностики и целевого состояния между сотрудниками начинают проявляться разногласия и конфликты. У рабочей группы возникают вопросы: «Как мы будем разрешать разногласия? Как мы будем сообщать друг другу негативную информацию? Можно ли изменить состав команды? Хочу ли я оставаться членом этой команды? Каковы принятые нормы и правила работы в команде? Насколько я должен подчиняться принятым нормам и правилам?» [1]. Чтобы не допустить неэффективного взаимодействия, руководителю проекта при формировании программы необходимо выполнить следующие шаги: оценить уровень удовлетворенности каждого сотрудника процессом; сформировать график отсутствия членов рабочей группы с его последующей актуализацией; сформировать матрицу замещений в случае отсутствия членов рабочей группы; оценить возможные конфликты интересов, степень влияния на проект и выработать корректирующие меры; разработать план коммуникаций по эффективному взаимодействию; разработать правила и нормы поведения и общения при реализации проекта, визуализировать правила на рабочих местах; провести работу по диагностике и целевому состоянию процесса в формате мозгового штурма; определить роли в рабочей группе проекта – «двигатели», «последователи», «оппозиционеры» «наблюдатели» – и выработать тактики взаимодействия.

На этапах внедрения улучшения появляются вопросы: «Какие усовершенствования могут быть привнесены в процессы нашей командной работы? Как мы можем использовать наши ключевые навыки?» [1]. Чтобы рабочая группа эффективно функционировала, руководителю проекта необходимо: подготовить и ознакомить рабочую группу с презентацией лучших практик по улучшаемому процессу на других предприятиях; провести совещания по защите предлагаемых решений; оценить знания и навыки сотрудников, необходимых для улучшения процесса, сформировать программу и график подготовки; провести периодические обходы рабочих мест улучшаемого процесса и рефлексии с сотрудниками (что сделано, как этого удалось добиться или не удалось, чему научились, какие шишки набили, что надо делать по-другому) с оформлением протокола обхода; закрепить улучшения в стандарте предприятия с обозначением сроков и ответственности.

На этапах закрепления результатов проекта сотрудников интересует: «Что дальше?» [1]. Руководителю проекта необходимо: сформировать и реализовать программу материальной и нематериальной

мотивации; оценить удовлетворенность процессом после улучшений; провести завершающее совещание с определением дальнейших шагов по взаимодействию по улучшаемому процессу.

Чтобы оценить качество и детальность проработки программы, определить сильные и слабые стороны взаимодействия сотрудников при реализации изменений и при необходимости предложить корректирующие мероприятия, следует проводить замер вовлеченности на каждой фазе проекта.

Периодический замер вовлеченности следует использовать следующим образом: каждый сотрудник улучшаемого процесса оценивает работу в проекте по критериям, приведенным в таблицах 1–5; результаты оценки участников заносятся по количеству сотрудников, поставивших оценку от 1 до 5 (где 5 – абсолютно согласен, 4 – скорее согласен, 3 – сомневаюсь, 2 – скорее не согласен, 1 – абсолютно не согласен), далее рассчитывается средняя оценка по каждому критерию. Результаты оценки следует представить в виде диаграммы. Это даст понимание, как выглядит текущая оценка по сравнению с предыдущей.

Таблица 1. Критерии замера вовлеченности на понимание изменений (А)

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ
Наш план работ четко определен и является достижимым
Наша работа сконцентрирована на основных проблемах
Мы заботимся о том, чтобы наша работа помогала всей компании достигать стратегических целей
Мы учитываем, как наши действия повлияют на другие процессы, когда принимаем решение, что делать. Цели нашего проекта поддерживают цели других проектов
Проект движется вперед уверенными темпами с максимальным воздействием на выбранную для проекта зону
Команда демонстрирует хорошую динамику работы, и используемые нами методы дают результат

Таблица 2. Критерии замера вовлеченности, направленные на желание изменений (D)

РОЛИ
Роль каждого участника проекта четко структурирована и понятна другим
Я понимаю свою роль в проекте и то, как она связана с остальным проектом
Мне нравится работать в данном проекте

Таблица 3. Критерии замера вовлеченности, направленные на знания и умения (К)

НАВЫКИ И ОБУЧЕНИЕ
Я узнаю новые вещи и приобретаю новые навыки
У нас есть навыки, необходимые для эффективного выполнения нашей работы
Члены нашей команды обладают компетенцией активного слушания
Мы всегда спрашиваем себя: «Как мы можем завтра сделать лучше то, что сделали сегодня?»
Мы рассматриваем все (даже ошибки) как возможности для обучения и роста
Мы используем различные формы обучения, чтобы поддерживать наши навыки в актуальном состоянии
Мы работают над тем, чтобы убедиться, что мы используем передовые методы
Сотрудники отдела ПСР оказывают нам достаточную поддержку в рамках развертывания данного преобразования

Таблица 4. Критерии замера вовлеченности, направленные на возможности (А)

СПОСОБНОСТИ
Я доволен количеством часов, отработанных в данном проекте в этом месяце
Ключевые лица проекта проводят с нами достаточно времени
Мы уделяем достаточно времени решению вопросов в команде
Мы тратим очень мало времени на то, чтобы жаловаться на что-то, что мы не можем контролировать
Мы стремимся расставить наши приоритеты проекта в соответствии с другими потребностями
Мы работаем над интеграцией наших планов с планами других рабочих групп
Мы ценим уникальные возможности друг друга
Как команда мы работаем над привлечением и удержанием лучших исполнителей
Остальные участники проектной команды дают мне обратную связь и помогают мне добиваться успеха
Мы способны преодолевать разногласия, не нанося ущерба отношениям
Когда мы выбираем консенсусное принятие решений, мы делаем это эффективно и без «продавливания» несогласных
Мы быстро мобилизуемся и решаем проблемы
Мы придерживаемся подхода: «Это возможно, нужно только найти способ решения», когда сталкиваемся с неприятными ситуациями
Наше сотрудничество с другими подразделениями продуктивно, полезно и дает хорошие результаты
Мы используем все доступные нам ресурсы оптимальным образом

Таблица 5. Критерии замера вовлеченности, направленные на поддержание изменений (R)

СТРАСТЬ И ЦЕЛЕУСТРЕМЛЕННОСТЬ
Работа в нашей команде вдохновляет людей на то, чтобы делать все возможное
Моя команда испытывает сильное чувство долга по отношению к нашей работе
Мы часто выходим за рамки того, что требуется, не стесняясь проявлять инициативу
Как команда мы работаем над привлечением и удержанием лучших исполнителей
Наша команда в восторге от того вклада, который она вносит в конкурентоспособность организации
Моя команда гордится своими достижениями и с оптимизмом смотрит в будущее
Мы воспринимаем постоянное совершенствование как образ жизни
Я горжусь тем, что являюсь частью нашей команды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешная реализация Lean Smart проекта требует учета как технической, так и человеческой стороны изменений. Человеческая сторона изменений в Lean Smart проекте – физическое, эмоциональное и интеллектуальное состояние сотрудников улучшаемого процесса, которое проявляется в переходе от состояния непонимания, страха, сопротивления до состояния принятия организационных изменений и цифровых решений в своих рабочих процессах, участия в реализации проекта, готовности раскрывать творческий потенциал в повышении эффективности своей работы. Систематизировав большое количество моделей и инструментов управления вовлеченностью, изменений и командообразования проекта [2] [3] и сопоставив их с жизненным циклом реализации Lean Smart проекта, в данной статье для руководителя проекта представлен набор технических и инфор-

мационных средств для задач управления человеческой стороной изменений. Инструменты технической стороны изменений описаны в методических рекомендациях по реализации ПСР-проекта Госкорпорации «Росатом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кустова М.В. Командная работа: ключ к успеху // Портал «Управление производством» – 23.01.2017. URL: <https://up-pro.ru> (дата обращения: 02.04.2023).
2. Милинис М.Ю. Справочник командного лидера. Команда, способная воплотить мечту // Электронная библиотека консалтинговой компании BITOBE – 13.10.2021. URL: <https://books.bitobe.ru> (дата обращения: 06.04.2023).
3. Челидзе Д.Б. Внедрение изменений // Портал «Chelidge Partners» – 13.10.2021. URL: <https://www.chelidze-d.com> (дата обращения: 07.04.2023).

МОТИВАЦИЯ ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ НИОКР, СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛУЖЕБНЫХ РИД В АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»

Е.В. Тутунина¹, А.А. Левин¹

¹АО «Атомэнергопроект», г. Москва

e-mail: Levin_AA@aep.ru, e.tutunina@ase-ec.ru

В статье рассмотрены основные теории мотивации, приведены результаты исследования методов мотивации для «творческих» и «нетворческих» профессий, рассмотрены основные методы мотивации сотрудников АО «Атомэнергопроект» и даны предложения для совершенствования методов мотивации персонала в АО «Атомэнергопроект».

The article discusses the main theories of motivation, presents the results of a study of motivation methods for «creative» and «uncreative» professions, discusses the main methods of motivation of employees of JSC Atomenergoproekt and offers suggestions for improving the methods of motivation of personnel in JSC Atomenergoproekt.

ВВЕДЕНИЕ

Стать лидером технологий, повысить конкурентоспособность товаров и услуг, освоить новые рынки – именно такие стратегические задачи, стоящие перед Госкорпорацией «Росатом» на ближайшие годы, были озвучены Генеральным директором Госкорпорации «Росатом» Алексеем Лихачевым на ежегодной конференции топ-менеджеров 2023 году [1]. Источником инновационных преобразований для достижения заявленных целей должны выступить непосредственно работники организаций «Росатома». При этом, по мнению авторов данной статьи, спрос на кадры приобретает не столько численный характер, сколько качественные индивидуальные характеристики кадров, такие как креативный потенциал и вовлеченность в работу.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основные теории мотивации известны с середины 20-го века, они условно разделяются на содержательные и процессуальные. К содержательным теориям относят теории Абрахама Маслоу, Дэвида МакКлелланда, Фредерика Герцберга, основанные на объяснении человеческого поведения его потребностями и необходимостью их удовлетворения [2].

К процессуальным теориям относятся теория ожиданий В. Врума, теория справедливости С. Адамса, модель Портера-Лоулера. Процессуальные теории мотивации, не отрицая существование и влияние на человека его потребностей, указывают на то, что поведение людей формируется не только под их воздействием, а также определяется восприятием, ожиданиями, связанными с конкретной ситуацией и возможными последствиями выбранного ими типа поведения [3]. В процессуальных теориях мотивации анализируется распределение человеческих усилий для достижения различных целей и выбора конкретного вида поведения. То есть в процессуальных теориях в отличие от содержательных акцент делается не на содержании потребности человека, а на процессе ее удовлетворения.

Таким образом, вопрос мотивации кадров осложнен множеством теорий и подходов. Для целей

эффективного управления персоналом и запуска процесса, направленного на рост конкурентного преимущества компании (рис. 1), необходимо комплексное применение мотивационных теорий.



Рис. 1. Процесс организации роста конкурентного преимущества компании через удовлетворенность сотрудников

В соответствии с данными научной электронной библиотеки «Elibrary.RU» на апрель 2023 года, подавляющее большинство статей по мотивации творческой активности персонала посвящено мотивации учащихся, что говорит о дефиците отечественных исследований.

В статье ученого А.В. Попова [4] приведены результаты исследований стимулов к творчеству и рационализаторству у «творческих» и «нетворческих» профессий населения Вологодской области, проведенных в 2018 году.

Анализ ответов на опрос в рамках подачи рационализаторских предложений населением был связан с такими аспектами, как заинтересованность в результатах своей работы, справедливость начисления заработной платы, желание добиться успеха, возможность роста, возможность заработать премию, стремление к профессиональной самореализации, благоприятный психологический климат в коллективе, моральное поощрение творчества, сохранение здоровья, прозрачность системы продвижения по карьере, объем соцпакета, желание получить выгоду от реализации новых идей, демократичность стиля управления руководства.

Результаты опроса показали, что общим стимулом, который присущ исключительно всем работникам, является справедливость в начислении заработной платы, а также возможность получить премию или бонус.

Работники «творческих» профессий более выделяют признание и успех, возможность профессионального роста, а также отличаются высокой степенью заинтересованности в творческом подходе к труду и профессиональной самореализации. Иными словами, ими движет более стремление к достижениям.

У работников «нетворческих» профессий в фокусе внимания достойные условия труда, благоприятный психологический климат в коллективе. Иными словами, ими движет более комфорт.

Также в статье ученого А.В. Попова [4] предложена универсальная модель мотивационно-стимулирующего механизма творческой трудовой активности работников (рис. 2).

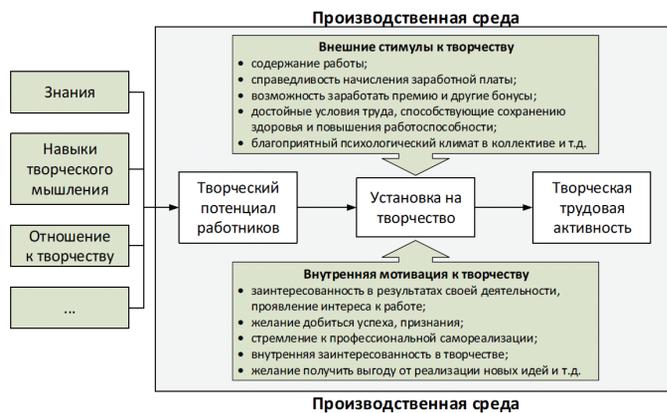


Рис. 2. Мотивационно-стимулирующий механизм творческой трудовой активности работников [4]

Ниже рассмотрим, какая мотивация к созданию и внедрению инноваций предусмотрена для работников АО «Атомэнергопроект». В соответствии с определением, инновации – (innovation) любой новый подход к конструированию, производству или сбыту товара, в результате чего инноватор и его компания получают преимущества перед конкурентами. Используя патенты (документы на охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (далее – РИД)), добившийся успеха новатор может обеспечить временную монополию, хотя впоследствии конкуренты могут найти способы выхода на выгодный рынок. Некоторые компании начинают выпуск новой продукции, ориентированной на сформировавшийся спрос, другие разрабатывают технологические новшества, создающие новые рынки [5].

Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности появляются в результате выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, инвестиционных мероприятий, а также в результате решения нестандартных задач в рамках выполнения подрядных договоров. Большинство научных разработок АО «Атомэнергопроект» направлено на совершенствование технологий АЭС с РУ ВВЭР и развитие новых типов реакторов, однако есть

результаты и вне основного ядра бизнеса, такие как разработка импортонезависимых программных продуктов и информационных систем.

Инструментами, действующими в АО «Атомэнергопроект» для целей мотивации работников, ведущих научную деятельность, являются: разовая премия до шести окладов; оперативная премия работников Проектного блока, занятых в реализации проектов НИО-КР; признание в рамках Инжинирингового дивизиона или Госкорпорации «Росатом»; изменение в должности или пересмотр размера ежемесячной надбавки (ИСН); вознаграждение за создание и использование служебных РИД. Процессы по материальным доплатам работникам и их основаниям регламентированы, предоставляя возможность работнику оценить, пускай и субъективно, справедливость вознаграждения за затраченные им усилия.

Подробнее останавливаясь на вознаграждениях за РИД, в соответствии действующим в АО «Атомэнергопроект» ЛНА по выплатам вознаграждений за создание и использование служебных РИД, максимальную денежную выплату автор получит за такие РИД, которые используются либо для собственных нужд организации, либо третьими лицами на основании возмездных лицензионных соглашений. Например, за создание изобретения автор получает 30% от средней заработной платы в организации, за создание программы для ЭВМ получает 20% от средней заработной платы в организации, за использование ПЭВМ в АО «Атомэнергопроект» в течении 12 месяцев – 1 средняя заработная плата за последние 12 месяцев. В случае заключения между АО «Атомэнергопроект» и третьим лицом лицензионного соглашения на право использования изобретения/программы для ЭВМ коллектив авторов получает до 10% от суммы лицензионного договора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях изменившегося мира для целей технологического лидерства требуется использование кадрового интеллектуального потенциала на пределе возможностей. Движками этого процесса являются денежная и безденежная мотивация персонала, четкая регламентация процессов для целей понимания и возможности оценки работником своих выгод в условиях отсутствия демотивирующих факторов, приводящих к неудовлетворенности работников. Зоной роста в вопросе мотивации кадров к творческой деятельности в АО «Атомэнергопроект» является развитие безденежной мотивации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галиева Ю., Дитрих А. «Как раньше – не будет»: руководители «Росатома» обсудили развитие до 2045 года // Газета «Страна Росатом», Апрель. – 2023. URL: <https://strana-rosatom.ru/2023/04/13/kak-ranshe-ne-budet-na-konferenci.ru> (дата обращения: 27.04.2023).
2. Старков Е.А., Коротаяева Т.В. Характеристика и взаимосвязь основных теорий мотивации // Вопросы студенческой науки № 1 (77). – 2023. – С. 560-564.

3. Цыпленкова М.В., Моисеенко И.В., Гуремина Н.В., Бондарь Ю.А. // Основы менеджмента. – 2013. URL: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=6583#:~:text=Процессуальные%20теории%20мотивации%2C%20не%20отрица%20последствиями%20выбранного%20ими%20типа%20поведения.ru> (дата обращения: 27.04.2023).

4. Попов А.В., Проблемы и перспективы развития мотивации творческой трудовой активности российских работников // Экономика труда, том 6, № 1. – 2019.

5. Толковый словарь. — М.: «ИНФРА-М», Издательство «Весь Мир». Грехэм Бетс, Барри Брайндли, С. Уильямс и др. Общая редакция: д.э.н. Осадчая И.М.. 1998.

РАБОТА С ВЫСОКОЙ ВОВЛЕЧЕННОСТЬЮ. ЭФФЕКТИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

О.М. Набатчикова¹

¹АО «Атомэнергоремонт», г. Москва
e-mail: OMNabatchikova@rosatom.ru

За двумя зайцами: раскрываем человеческий потенциал и повышаем вовлеченность работников. Опыт АО «Атомэнергоремонт».

For two birds with one stone: we develop human potential and increase the involvement of employees. Experience of JSC Atomenergoremont.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование уровня вовлеченности сотрудников — важный инструмент в работе руководителя. С помощью результатов исследования руководитель может своевременно выявить и устранить проблемные зоны в своей системе управления командой. Но что делать, если результаты исследования показывают, что вовлеченность на высоком уровне? Как работать с высокой вовлеченностью персонала? Этот вопрос волнует многих эйчаров, вовлеченность работников предприятий которых находится в пределах зоны результативности.

Актуальность темы заключается в том, что часто руководители не видят смысла в дальнейшей работе с персоналом, а специалисты по управлению персоналом не ставят приоритетной задачей реализацию мероприятий, направленных на поддержание высокого уровня вовлеченности.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

АО «Атомэнергоремонт» (дочернее общество АО «Концерн Росэнергоатом») — головная ремонтная организация атомной отрасли, имеет развитую филиальную сеть и насчитывает более 9500 работников.

В АО «Атомэнергоремонт» работе с вовлеченностью уделяется должное внимание. Вовлеченность работников по итогам исследований 2020, 2021, 2022 годов — 87%, 85%, 87% соответственно. Ежегодно формируется план мероприятий, нацеленных на поддержание и повышение уровня вовлеченности работников.

Основной упор мероприятий в минувшем году был сделан на раскрытие человеческого потенциала с помощью самих же работников организации. Кроме традиционных мероприятий «Атомэнергоремонт» реализовал мероприятия, которые решали следующие задачи.

1. Привлечь к отраслевым проектам с помощью работников компании.

2. Раскрыть таланты работников компании и рассказать о них.

3. Сделать работников компании амбассадорами бренда.

Что сделали в 2022-2023 годах.

1. В еженедельную рассылку включили рубрику «Рекомендовано к прочтению», где коллеги смогли поделиться понравившимися электронными курсами, книгами. Результат — увеличение количества пройденных электронных курсов.

2. В коммуникации о переходе на электронные трудовые книжки (ЭТК) использовали фото работников, уже использующих ЭТК (с согласия работников). Итог — 82 % работников перешли на ЭТК (план — 55 %).

3. При оформлении имиджевых календарей использовали фотографии, сделанные работниками «Атомэнергоремонта». Результат — рассказали о талантах работников «Атомэнергоремонта».

4. Подготовили обои на рабочие столы на основе фотографий, сделанных работниками. Привлечение к системе 5С и ПСР в целом.

Общий результат по факторам: +3% по фактору «Бренд работодателя», +4 % — по фактору «Признание».

Кроме того, молодые сотрудники выступают «инструментом» в раскрытии потенциала работников организации, одновременно совершенствуя свои профессиональные качества. Молодые работники в АО «Атомэнергоремонт» — проводники изменений, а также инициаторы многих мероприятий, нацеленных на поддержание о повышение уровня вовлеченности персонала.

Так, в 2022-2023 годах увеличился актив молодежного совета. Молодежь организовала мероприятия для работников АО «Атомэнергоремонт»: онлайн-квиз по безопасности, турнир по киберспорту, проводят welcome-тренинги для новых работников, тем самым «прокачивая» свои ораторские навыки и организаторские способности.

Эффективность использования в качестве инструмента работы с вовлеченностью потенциала самих же работников подтверждается и высказываниями работников-участников фокус-групп в рамках последнего исследования вовлеченности.

– Я хочу изменить активность молодежи, хочу создать какой-то конкурс для молодежи в филиале. («Смоленскатомэнергоремонт»)

– Стало развиваться молодежное движение в филиале. Было достаточно много совместных меро-

приятий с молодыми атомщиками Ростовской АЭС. Впервые ходили в поход на байдарках, участвовали в спортивных мероприятиях города. («Волгодонскатомэнергоремонт»)

– Я работаю в организации и очень рада, что здесь есть молодежное движение, фестивали работающей молодежи, это такое подспорье, новые эмоции, новые знакомства, иногда ради этого хочется идти на работу, это дает эмоциональный подъем, который помогает и в работе. («Курскатомэнергоремонт»).

МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА «НОВОВОРОНЕЖАТОМЭНЕРГОРЕМОЕНТ», ФИЛИАЛА АО «АТОМЭНЕРГОРЕМОЕНТ»

О.С. Нестеренко¹

¹«Нововоронежатомэнергоремонт» филиал АО «Атомэнергоремонт», г. Нововоронеж
email: OSNesterenko@rosatom.ru

Вовлеченность персонала «Нововоронежатомэнергоремонта», филиала АО «Атомэнергоремонт», в работу представляется важнейшим условием эффективного функционирования различных видов деятельности сотрудников и организации в целом. Утверждение о том, что высококвалифицированный специалист в своей области является важнейшим активом организации, не вызывает сомнения. Результативность труда сотрудника зависит от множества факторов: его заинтересованности работать эффективно, осознания своей ценности в организации, степени удовлетворенности содержанием труда, социально-психологического климата на предприятии, перспектив личного и профессионального роста, наличия условий труда, позволяющих раскрыть трудовой потенциал работников, и других факторов. Поэтому повышение вовлеченности в работу предприятия и становится важнейшей задачей любого руководителя.

The involvement of Novovoronezhatomenergoremont personnel – the branch of Atomenergoremont JSC – in the work seems to be the most important condition for the effective functioning of various types of activities of employees and the organization as a whole. The statement that a highly qualified specialist in his field is the most important asset of the organization is beyond doubt. The effectiveness of an employee's work depends on many factors: his interest in working effectively, awareness of his value in the organization, the degree of satisfaction with the content of work, the socio-psychological climate at the enterprise, prospects for personal and professional growth, the availability of working conditions that allow employees to unlock their labor potential, and many other factors. Therefore, increasing the involvement in the work of the enterprise becomes the most important task of any manager.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования подтверждается неустанным поиском новых форм и способов повышения эффективности и результативности труда, а также перевода потенциала сотрудников организаций в плоскость реализации конкретных инициатив на благо развития бизнеса. Роль человека в набирающей обороты цифровой трансформации все так же остается ключевой. Человек с его знаниями, навыками, умениями и потенциалом – ценный актив организации и носитель интеллектуальных ресурсов. Выстраивание партнерских отношений с персоналом, создание атмосферы и культуры доверия и заинтересованности работника в успехе предприятия как в своем собственном направлении на более продуктивное взаимодействие с целью получения конкурентных преимуществ за счет способности, желаний и возможности создавать новое.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Высокая скорость смены технологий, увеличение объема информации за последние пять-десять лет

в несколько раз, потребность реализации молодежи в существующих условиях, а также необходимость наличия возможностей для реализации своих идей, требует применения новых подходов к управлению персоналом.

Созданный Совет молодежи в «Нововоронежатомэнергоремонт» положительно влияет на вовлеченность персонала в социальную жизнь предприятия.

Существует ряд причин, вызывающих сложности во взаимодействии руководителей и сотрудников.

Главная причина – резкое сокращение качественного предложения квалифицированных специалистов на рынке труда.

Сегодня для оценки психологического состояния сотрудников конкурируют десятки решений: от простых опросников до комплексных систем диагностики поведения сотрудников на основе анализа корпоративных коммуникаций. И хотя споры об этичности и границах приватности сбора и анализа тех или иных данных все еще ведутся, можно сказать, что проблема измерения уровня вовлеченности решена. А вот

управление вовлеченностью ставит перед руководителем много вопросов:

- можно ли повысить вовлеченность сотрудника, или нужно нанимать на работу изначально вовлеченных сотрудников;
- повышение вовлеченности требует индивидуальной работы с сотрудниками, или речь идет о системных изменениях внутренних процессов предприятия;
- если вовлеченность зависит от ряда факторов, то какие из них наиболее важны, на какие из них легче всего повлиять;
- одинаковы ли рычаги управления вовлеченностью для всех сотрудников.

На эти вопросы нет однозначных ответов, так как состояние вовлеченности связано одновременно и со свойствами личности, и с характеристиками рабочей среды. Но важно то, что вовлеченность является проекцией этих двух факторов, результатом их соответствия. Ситуация тотального несовпадения гарантированно приведет к выгоранию и уходу сотрудника из организации. Корпоративная культура, рабочие процессы, должностные обязанности, благоприятные для одних сотрудников, могут оказаться неприемлемыми для других. В то же время нельзя отрицать существования токсичных рабочих условий и руководителей, а также сотрудников, склонных к выгоранию.

Организация предпринимает шаги по повышению вовлеченности не только среди работников, но

и среди детей и школьников, студентов СПО и вузов, а именно – регулярно проводятся мероприятия, которые направлены на повышение привлекательности работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вовлеченность персонала вполне поддается оценке и администрированию, но, чтобы успешно управлять вовлеченностью, нужно соблюдать несколько условий. Основное – повышать доверие к руководству и давать сотрудникам возможность понять направление и цели развития организации.

Управление вовлеченностью персонала является воздействием на эмоциональную связь между работником и работодателем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колисниченко Е.А., Сутягин В.Ю. Инструментарий диагностики и усиление вовлеченности персонала в управленческую деятельность организации // Лесотехнический журнал. – 2017. – № 4. – С. 245–256.

2. Александрова Н.А. Удовлетворенность трудом как фактор снижения кадровых рисков / Культура, личность, общество в современном мире: методология опыта эмпирического исследования. – Екатеринбург. Издательство Уральского государственного университета им М. Горького. – 2010. – С. 206–209.

ОПЫТ УСПЕШНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ МОЛОДЫХ СОТРУДНИКОВ НА ПРИМЕРЕ НИЖЕГОРОДСКОГО ПРОЕКТНОГО ИНСТИТУТА – ФИЛИАЛА АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»

Е.М. Ратц¹, К.Б. Фокин¹

¹АО «Атомэнергопроект», АО «Атомстройэкспорт», г. Нижний Новгород
e-mail: e.ratts@ase-ec.ru, fokin.kb@gmail.com

В условиях динамично изменяющейся внешней среды молодежь является тем ключевым драйвером изменений инжиниринговой компании, который обеспечит не только достижение стратегических целей бизнеса, но и стабильность его развития. Возможность быть услышанным руководством компании и открыто высказать предложения – ключевая ценность Молодежного дня директора проектного института, проводимого Советом молодежи с целью повышения вовлеченности сотрудников.

In a dynamically changing external environment, young people are the key driver of changes in an engineering company, which will ensure not only the achievement of the strategic goals of the business, but also ensure the stability of its development. The opportunity to be heard by the company's management and openly express proposals is the key value of the youth day of the director of the design institute, held by the Youth Council in order to increase the involvement of employees.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективное управление вовлеченностью персонала обеспечивает не только надежную основу для ответов на вызовы и высокоскоростные изменения турбулентной внешней среды, но достижение стратегических целей организации. В условиях долгосрочного планирования, необходимости перспективного развития кадрового потенциала и конкуренции за лучших профессионалов на первый план выходят во-

просы повышения эффективности управления вовлеченностью именно молодых сотрудников в возрасте до 35 лет.

Вопрос организации и системного управления вовлеченностью молодых сотрудников возник не случайно, что лишний раз подчеркивает актуальность повестки и фокуса работы с молодежью на современном этапе развития компании. Ведь именно сегодня в условиях динамично изменяющейся внешней среды

молодежь является тем ключевым драйвером изменений инжиниринговой компании, которая впоследствии обеспечит не только достижение стратегических целей бизнеса, но и стабильность развития дивизиона в горизонте 15–20 лет. Причина этого – способность современных молодых людей с высочайшей скоростью воспринимать новую информацию и анализировать ее, выдавая необходимый результат, а также умение адаптироваться под изменяющиеся внешние условия. Необходимо отметить, что предприятия инжинирингового дивизиона в рамках действующих в Госкорпорации «Росатом» политик и процедур проводят целенаправленную работу по управлению вовлеченностью персонала, делая акцент прежде всего на высокопотенциальную молодежь. Стабильно увеличивается доля молодых сотрудников в общей численности организаций и количество принятых молодых специалистов – выпускников профильных направлений подготовки со знанием английского языка на уровне не ниже Intermediate и средним баллом диплома более 4,5. На предприятиях дивизиона один из самых низких в отрасли уровень текучести молодых специалистов в стажевой группе до 1 года. Это лишь один раз подчеркивает не только открытость организаций инжинирингового дивизиона для способных ребят, которые умеют работать на результат и хотят развиваться, но и результативность используемых практик управления вовлеченностью.

При этом отличительной особенностью системы управления вовлеченностью в организациях инжинирингового дивизиона являются ее гибкость и способность быстро реагировать на изменения внутренней и внешней ситуации, а также сбои в работе ее составляющих. Пример оперативного реагирования на изменения ситуации с вовлеченностью молодых сотрудников описан далее.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Вопросы вовлеченности персонала в Госкорпорации «Росатом» традиционно находятся в фокусе внимания высшего руководства, потому что уровень вовлеченности показывает, насколько люди не просто хотят, но и действительно вкладываются в успех организации. Важно, что вовлеченность отличается от удовлетворенности и лояльности. Счастливым и удовлетворенным условиями труда человек совсем не обязательно будет хотеть работать на благо организации. Лояльный (приверженный) работник, в отличие от вовлеченного, не всегда будет готов прикладывать дополнительные усилия для достижения целей организации.

Под вовлеченностью понимается эмоциональное и интеллектуальное состояние, которое мотивирует работников выполнять их работу максимально эффективно.

Управление вовлеченностью – это целый цикл мероприятий. В отрасли он реализуется с 2012 года, при этом регулярно совершенствуется на основе опыта успешных организаций «Росатома», российских и зарубежных компаний. [1, 2]. Вовлеченный работник

положительно отзывается о компании при общении с коллегами, клиентами, друзьями, связывает свое будущее с этой компанией, мотивирован прикладывать дополнительные усилия, работая в компании.

Уровень вовлеченности оценивается путем проведения ежегодных опросов «Твое мнение важно Росатому», а также промежуточных замеров («Пульс-опросов»), позволяющих формировать оперативные мероприятия по управлению текущим состоянием работы с вовлеченностью персонала. Чтобы понять, в каком направлении работать для роста вовлеченности, было выделено 14 факторов вовлеченности. Степень удовлетворенности этими факторами непосредственно влияет на уровень вовлеченности в организации [1].

В рамках проведения «Пульс-опроса» осенью 2022 года произошло снижение уровня вовлеченности молодых сотрудников в Нижегородском проектно-институте. Для оперативного решения вопроса стабилизации уровня вовлеченности и разработки компенсирующих мероприятий были сначала проведены уточняющие опросы с охватом более 25% молодых сотрудников, а затем внеплановые фокус-группы (обычно фокус-группы для уточнения результатов проводят только по итогам исследования «Твое мнение важно Росатому») по изучению причин снижения уровня вовлеченности молодых сотрудников проектного блока. Помимо существующих 14 факторов удовлетворенности были детализированы и структурированы основные направления улучшений в области работы с молодыми сотрудниками.

В качестве одного из факторов успешности реализованных мероприятий необходимо отметить лидирующую позицию актива молодежной организации, инициативно включившегося в процесс организации и проведения исследований с целью дальнейшего улучшения ситуации. Именно благодаря вовлечению в исследование через информационные каналы Совета молодежи и индивидуальную работу с молодыми сотрудниками в проектно-институте были достигнуты результаты высокого охвата, обеспечившего репрезентативность исследования, а также высокий уровень открытости и достоверности результатов, что впоследствии обеспечило точность и результативность разработанных мероприятий.

Результаты исследования стали основой для определения конкретных целей, задач и программ в области работы с молодыми сотрудниками в проектно-институте и были представлены его руководству.

Следующей итерацией в процессе разработки мер по повышению вовлеченности молодых сотрудников стало проведение в рамках открытого диалога Молодежного дня директора (МДД) проектно-института. Для исключения рисков оставить неозвученными/невыявленными какие-либо из проблем, при подготовке к мероприятию с открытым доступом была сделана рассылка, где всем желающим была предоставлена возможность анонимно задать свой волнующий вопрос (рис. 1). При этом открытый сбор вопросов к МДД выявил не более 5% дополнительных, не выяв-

ленных в рамках первичного исследования вопросов для решения, что показывает высокий уровень достоверности и качества проведенных фокус-групп и опроса при первичном исследовании.



Рис. 1. Информационная рассылка Молодежный день директора

Проведение МДД является ярким примером открытого доверительного диалога между молодыми сотрудниками и руководством проектного блока. Личная вовлеченность руководства, демонстрация не просто «намерений» решать озвученные проблемы, а готовность и конкретные шаги по их решению позволили не только повысить уровень доверия молодежи к реализуемым мероприятиям, но и обеспечили успешность их реализации в целом. Важно отметить, что акцент при разработке и последующем выполнении мероприятий со стороны руководства сделан именно на включение молодых сотрудников в их реализацию. Это обеспечивает формирование и развитие эффективной команды молодых лидеров, способной успешно решать задачи бизнеса на основе корпоративной культуры результата и высокой вовлеченности.

По итогам МДД в проектом блоке разработан и утвержден план мероприятий для повышения уровня вовлеченности. Реализация плана позволила не

только стабилизировать уровень вовлеченности молодежи, но и стала основой для последующего стабильного роста уровня вовлеченности по итогам 2022 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный подход к оперативному и результативному использованию инструментов управления вовлеченностью молодых сотрудников подчеркивает важность постоянного мониторинга вовлеченности и анализ факторов удовлетворенности для эффективного управления персоналом. И особую роль здесь играет не только высокая скорость реакции на изменения, охват и глубина исследования, точность разработанных мероприятий, но прежде всего слаженность команды службы управления персоналом и молодежного актива, их стремление через реализацию практических мероприятий повысить уровень вовлеченности каждого молодого сотрудника. Одним из ключевых факторов успеха комплекса мероприятий стала готовность высших руководителей проектного института к открытому диалогу с молодыми сотрудниками, их личная вовлеченность в решение вопросов, снижающих вовлеченность, а также высокий уровень приоритизации вопросов работы с молодежью. В результате выполненных мероприятий уровень вовлеченности молодежи по итогам исследования «Твое мнение важно Росатому» 2021 году повысился на 19% пунктов и стал основой для повышения уровня вовлеченности молодежи на 8% пунктов в 2022 году.

Таким образом, способность системы управления работой с молодежью гибко и оперативно реагировать на колебания уровня вовлеченности и факторов удовлетворенности является не только отражением уровня развития процессов работы с молодыми сотрудниками и лидерской проактивной позиции молодежной организации, но и объединяющим фактором руководства и молодых сотрудников на пути достижения стратегических целей бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вовлеченность персонала https://strana.rosatom.local/People/Pages/StuffInvolvement_new.aspx.
2. Управление вовлеченностью персонала: методические рекомендации по реализации цикла управления вовлеченностью сотрудников организаций Госкорпорации «Росатом», <https://www.rosatom.ru>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ КАК ГАРАНТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС НА ОСНОВЕ ОЦЕНОЧНОГО ПОРТФОЛИО ВЫПУСКНИКА ЯДЕРНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

К. А. Хужажинова¹, В. В. Верхотурова¹

¹Томский политехнический университет, г. Томск
e-mail: kamilakhuzhazhinova@gmail.com

В статье рассматривается актуальная проблема атомной отрасли – влияние устойчивости кадрового резерва для обеспечения безопасности АЭС. Авторами предложено использовать разработанный социо-

логический опрос для выпускников ядерных образовательных программ по составлению персонального портфолио для модификации адаптационного процесса с учетом личных особенностей молодого специалиста.

The article deals with a topical problem of the nuclear industry - the impact of stability of personnel potential on ensuring the safety and security of nuclear power plants. The authors propose to use the developed sociological survey for graduates of nuclear educational programs to compile a personal portfolio to modify the adaptation process considering the personal characteristics of a young specialists.

ВВЕДЕНИЕ

Атомная промышленность в России – быстро развивающаяся отрасль с масштабными планами, реализация которых требует квалифицированных кадров. Однако в последние три года текучесть кадров в этой сфере составляет около 13%, что приводит к потере ядерных знаний и угрожает безопасности объектов. Цель данной работы – разработка рекомендаций по созданию устойчивого кадрового резерва и обеспечению безопасности на АЭС путем улучшения процесса адаптации молодых специалистов на основе оценочного портфолио выпускника ядерных образовательных программ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Приток молодых специалистов в отрасль зависит от многих факторов, включая мероприятия, направленные на формирование общественной приемлемости (ФОП). Зарубежные компании, такие как EDF и американское сообщество, активно работают над проектами, вовлекая детей в инженерные науки с раннего возраста и проводя просветительскую работу. Китайская национальная ядерная корпорация организует летние детские лагеря и проекты по борьбе с бедностью [1].

В России проекты ФОП несколько отличаются от зарубежных, и на рисунке 1 показано, как они влияют на приток специалистов в отрасль, с отметкой звездочкой (*) на тех проектах, которые были организованы Информационным центром по атомной энергии (ИЦАЭ).



Рис. 1. Проекты «Росатома» по ФОП ядерных технологий

После сравнительного анализа становится очевидным, что за рубежом осознают важность формирования элементов знаний о ядерной энергетике уже с детства, в то время как в России такие знания начинают получать в лучшем случае только в 10-11-м классах. Большинство проектов ГК «Росатом» направлено на старшеклассников и взрослых, а образовательный проект ИЦАЭ реализован только в 20 регионах России, что указывает на

низкий уровень общественной приемлемости ядерных технологий среди молодежи в России [2].

Кроме профессиональной подготовки, которая возлагается на университеты, также важно быть психофизически готовым к работе в атомной отрасли. Однако на данный момент результаты психологических тестов используются только для проверки годности сотрудника для дальнейшей работы, а не для индивидуальной корректировки адаптационного процесса. Поэтому в этой работе была выдвинута гипотеза о том, что для достижения данной цели можно использовать рекомендации, основанные на оценочном портфолио, для каждого выпускника вуза.

Данные в портфолио собираются через опросник, включающий диагностику психологических характеристик респондента по «Пятифакторной модели личности» и утверждения на выявление радиофобных настроений у выпускников. Анкета была протестирована на 60 студентах бакалавриата, магистратуры и аспирантуры ТПУ. Результаты опроса представлены на рисунках 2-4 [3].

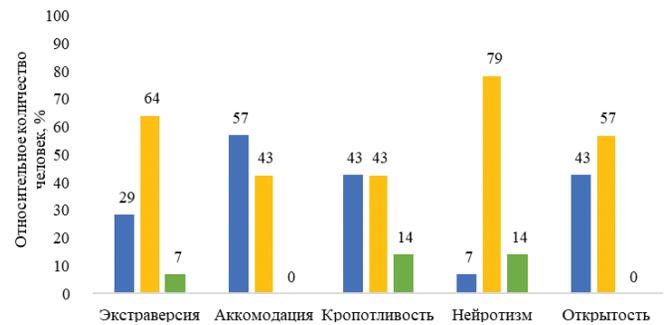


Рис. 2. Результаты опроса (бакалавры)

Экстраверсия была установлена у большинства студентов, которые заполнили опросник, с результатами в диапазоне от 36 до 64 баллов, кроме пяти респондентов, которые были интровертами. Среди аспирантов, заполнивших опросник, интровертов не выявлено. Выявлены 23 респондента с сильно проявленной аккомодацией, а у 21 – средний уровень. Только один респондент имеет низкую степень акко-

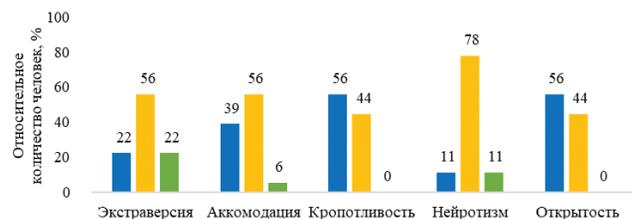


Рис. 3. Результаты опроса (магистры)

модации. Это может указывать на склонность этого выпускника к избеганию заданий и небрежному отношению к своим обязанностям.

Кропотливость увеличивается с уровнем образования, все аспиранты имеют высокую кропотливость. Нейротизм низкий у 6 респондентов, у остальных 86% – средний или высокий уровень.



Рис. 4. Результаты опроса (аспиранты)

Среди опрошенных отсутствуют выпускники с низким уровнем открытости. Однако негативным проявлением этого фактора может быть непостоянная концентрация внимания и потребность в новых впечатлениях. Исследование радиофобии среди студентов из России, СНГ и зарубежных стран (Египта, Нигерии, Судана и Ганы) показало, что тип радиофобии зависит от места происхождения респондентов. Студенты из дальнего зарубежья оказались наиболее осведомленными в области мирного атома.

Разработанные рекомендации. Для удержания молодых специалистов в отрасли акцентировать возможность реализации высших потребностей, проводить опросы с претендентами на целевое обучение. Комбинировать рабочие группы из людей с разным уровнем нейротизма. Планировать мероприятия по общественному признанию на основе возможностей ядерных технологий для решения проблем региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Российские школьники начинают получать ядерные знания лишь в 10-11-м классах, что увеличивает текучесть молодых специалистов. Проведен опрос 60 студентов ТПУ. Предложены рекомендации для национальных организаций, которые предоставляют образовательные ядерные программы по созданию и передаче оценочного портфолио выпускников предприятиям ядерной отрасли, чтобы формировать устойчивый кадровый резерв, который является гарантом безопасности АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EDF Inspire program // edfenergy URL: <https://goo-su/XxzzVx> (Дата обращения: 15.04.2022).
2. Итоги деятельности государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2021 // ГК «Росатом» – 2021. С. 200-201.
3. Хромов А.Б // Пятифакторный опросник личности: учебно-методическое пособие Курган: Изд-во Курганского гос. университета, 2000. – С. 23.

ВЛИЯНИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ЛИНЕЙНЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ НА ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОВЛЕЧЕННОСТИ

Е.В. Яговдик¹

¹АО «РАСУ», г. Москва

e-mail: EYagovdik@rasu.ru

В статье рассматривается и анализируется влияние вовлеченности линейных руководителей на удовлетворенность и лояльность подчиненного персонала, а также на уровень вовлеченности по предприятию в целом на примере компании АО «РАСУ». Выявлена зависимость по определенным факторам, которая позволяет сделать вывод о том, что большое влияние на вовлеченность предприятия оказывает удовлетворенность линейных руководителей. Очень важно уделять особое внимание работе с каждым линейным руководителем, вырабатывать мероприятия, позволяющие улучшить отношение руководителей к предприятию в целом, его руководству, условиям труда и повысить интерес к успехам предприятия.

The paper deals with the engagement of line managers and analyzes its impact on satisfaction and loyalty of subordinate personnel, as well as the overall engagement level in a company, using RASU JSC as an example. Dependency on certain factors has been identified, leading to a conclusion that the satisfaction of line managers has a major impact on engagement in the company. It is very important to give attention to the work with each line manager, and develop activities that improve the managers' attitude to the company in general, its management, working conditions, thus promoting their interest in the company's success.

ВВЕДЕНИЕ

Целью исследования является выявление зависимостей и степени воздействия на вовлеченность и удовлетворенность персонала в целом показателей вовлеченности линейных руководителей, их привер-

женности к деятельности и интересам предприятия. Анализ был выполнен на основании данных исследований по вовлеченности сотрудников АО «РАСУ», проводимых в период с 2020 по 2022 год.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследование вовлеченности персонала в АО «РАСУ» ведется по модели Aon Hewitt по трем поведенческим индикаторам «говорит», «остается», «стремится», с анализом 13 факторов (аспектов), влияющих на мотивацию и удовлетворенность всех категорий персонала [1]. Влияние на общий уровень вовлеченности сотрудников предприятия осуществляется путем измерения уровня удовлетворенности сотрудников факторами, а также работы по улучшению наиболее приоритетных направлений, занимающих в рейтинге первые места [2]. Исследование вовлеченности проводится ежегодно при помощи анонимного опроса сотрудников с ранжированием по возрасту, стажу работы на предприятии, подразделению, уровню должностей: руководитель среднего уровня (при наличии руководителей в подчинении), линейный руководитель (при наличии только прямых подчиненных), специалист/научный или технический работник, рабочий/служащий. Объектом исследования являются линейные руководители, в связи с тем, что именно они наиболее важное звено в цепи управления. По мнению Т.А. Терентьевой, заместителя генерального директора по персоналу Госкорпорации «Росатом», в нестабильные времена именно линейный руководитель должен уметь анализировать психологический климат в коллективе, улавливая настроение каждого сотрудника [3].

В 2020 году в анкетировании приняли участие 683 человека, из них 102 линейных руководителя, в 2021 году – 746 человек, из них 120 линейных руководителей, в 2022 году – 452 человека, из них 55 линейных руководителей. Средний процент участвующих в опросе линейных руководителей от общего количества сотрудников, участвующих в опросе, составляет 14,4% (табл. 1).

Среднее отклонение показателей вовлеченности линейных руководителей по отношению к общему показателю по вовлеченности в 2020–2022 годах составило 1%, 2%, 3% соответственно. Отклонение ана-

Таблица 1. Респонденты, принимавшие участие в опросах

Год	Количество респондентов	Количество линейных руководителей	% линейных руководителей в общем количестве респондентов
2020	683	102	14,93%
2021	746	120	16,09%
2022	452	55	12,17%
Среднее значение			14,40%

Таблица 2. Показатели вовлеченности

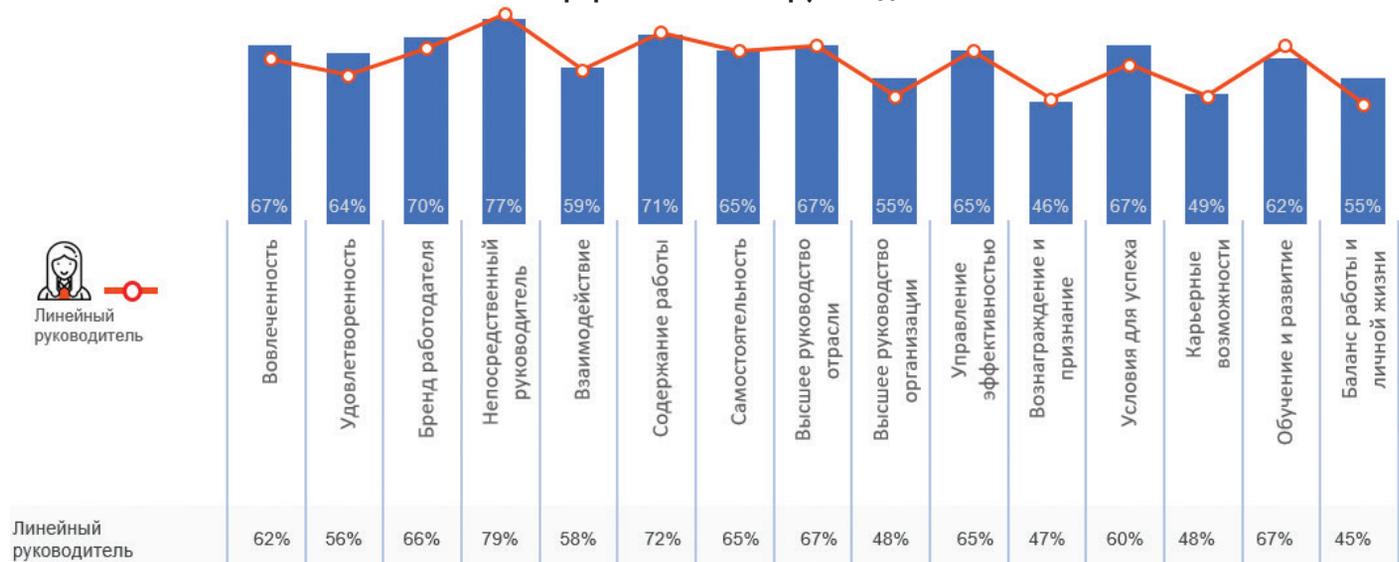
	Общий показатель вовлеченности	Вовлеченность линейных руководителей
2020	68% ↑	70%
2021	70% (+2%) ↓	66%
2022	67% (-3%) ↓	62%

логичных показателей рабочих/служащих и специалистов/научных и технических работников составило в среднем 4%. При этом не выявлено прямой зависимости повышения и снижения общего уровня вовлеченности от уровня вовлеченности руководителей (табл. 2).

По отдельным факторам «Вознаграждение и признание», «Обучение и развитие», «Управление эффективностью» отмечено отсутствие отклонений, что может говорить о том, что если линейные руководители удовлетворены системами мотивации, поощрения, условиями труда, подходами к развитию персонала, то с большой вероятностью такие же показатели будут у подчиненного персонала, что положительно отразится на уровне вовлеченности в целом.

Дополнительно проведен анализ ранжирования линейных руководителей на активно вовлеченных, вовлеченных в средней степени, пассивных и активно

Рис. 1. Портрет линейного руководителя



не вовлеченных, по результатам которого выявлено, что для увеличения общего уровня вовлеченности необходимо в первую очередь проводить работу с вовлеченными в средней степени руководителями в части перехода их в категорию активно вовлеченных, а также сокращения активно не вовлеченных руководителей в связи с тем, что такие линейные руководители напрямую воздействуют на подчиненный персонал, их уровень удовлетворенности, особенно влияют на индикатор «говорит» и «остается». Для анализа данных индикаторов рассмотрены основные срезы по задаваемым вопросам и подготовлен портрет линейного руководителя (рис. 1).

В результате выявлена прямая зависимость по уровню удовлетворенности линейных руководителей и подчиненного персонала по факторам «Бренд работодателя», «Содержание работы», «Высшее руководство организации», «Управление эффективностью», что свидетельствует о том, что, чем лучше руководитель отзывается о своем предприятии и его руководстве, рекомендует его как отличное место для работы своим друзьям и знакомым, четко понимает и транслирует цели и задачи, оценивает результат их выполнения, понимает, как цели его подразделения соотносятся с целями предприятия, получает удовольствие от результатов своей работы, тем выше удовлетворенность этими факторами у подчиненного персонала. По мнению многих исследователей, вовлеченность персонала во многом зависит от психологического климата в организации, а он, в свою очередь, напрямую зависит от непосредственного руководителя и его стиля управления [4]. Линейному руководителю важно уметь повышать мотивацию сотрудников и демонстрировать их значимость для предприятия. В связи с вышеизложенным, важно обратить внимание на обучение линейных руководителей повышению вовлеченности и мотивации своего персонала. Подтверждением того, что данные мероприятия оказывают положительный эффект, является то, что в АО «РАСУ» по результатам исследования вовлеченности в 2020 году было проведено такое обучение, целями которого являлись систематизация знаний руководителей о понятии и аспектах управления вовлеченности, знакомство с подходами и инструментами формирования вовлеченности, которые можно реализовать собственными силами, формирование пула приемов по вовлечению. К достоинствам такого обучения можно отнести не только распространение передового опыта эффективных руководителей, но и то, что такой опыт может стать «работой над

ошибками» и поможет избежать их в дальнейшем взаимодействии с подчиненными. Результаты данного мероприятия напрямую повлияли на показатель вовлеченности в целом по предприятию, уровень вырос на 2% в 2021 году относительно 2020-го. Такой результат был достигнут благодаря тому, что каждый линейный руководитель провел встречу с подчиненным персоналом на тему вовлеченности. Благодаря командной работе по каждому подразделению был разработан индивидуальный план, с учетом потребностей и идей каждого сотрудника, что позволило повысить качество выполняемой работы, достигнуть эмоционального комфорта на рабочих местах, внедрить культуру правды, увеличить заинтересованность работников выполнять задачи, не входящие в должностные инструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследование показало, что прослеживается взаимосвязь между вовлеченностью руководителей и подчиненного персонала, а именно чем выше вовлеченность руководителя, тем лояльнее его трудовой коллектив по отношению к своему предприятию. Поэтому очень важно повышать вовлеченность линейных руководителей, особенно работать с факторами «Бренд работодателя», «Содержание работы», «Управление эффективностью». В качестве одного из самых эффективных мероприятий предлагается обучение руководителей, организация совместных тренингов и встреч для обсуждения вопросов, которые волнуют каждого руководителя, и выработки решений, которые окажут максимальный положительный эффект на вовлеченность подчиненного персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семянистая Е.В. Ставка на вовлеченность // Штат. — 2012. — №9. — С.
2. Кулагина Е. Вовлеченность персонала: как оценить и повысить // Директор по персоналу. — 2022. URL: <https://www.hr-director.ru/article/67505-vo vlechennost-personala-kak-otsenit-i-povysit> (дата обращения: 20.04.2023).
3. Терентьева Т.А. О роли линейных руководителей в «Росатоме» // Блог Терентьевой Т.А. — 2022. URL: https://sps.rosatom.local/blogs/1_line/post/22041 (дата обращения: 20.04.2023).
4. Пушкина А.С. Исследование вовлеченности персонала на примере крупной телекоммуникационной компании: конкретизация понятия, взаимосвязь с удовлетворенностью и трудом // Молодой ученый. — 2016. — С. 923-927.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
«КОМАНДА»: СБОРНИК ТЕЗИСОВ. ЧАСТЬ 2

Главный редактор издательства *Е.И. Майкова*
Редактор *А.М. Мардюк*
Художественное оформление *В.А. Обрубова*
Переплет *Д.М. Стрепитова*
Верстка *В.А. Обрубова*
Корректор *К.Х. Махмудбекова*

Формат 60x90/8. Гарнитура Rosatom. 212 стр. Тираж 370 экз.
ООО «Издательский дом Недра»
117246, Москва, Научный проезд, д.19
E-mail: biblioteka@nedrainform.ru
www.nedrainform.ru

ISBN 978-5-8365-0512-7



9 785836 505127