



РОСАТОМ

Малые ядерные установки для внесетевого энергообеспечения

Совместное заседание ВГС и Комитета ТП РФ/ Горнодобывающие отрасли и ТЭК: приоритеты в эпоху трансформации, ресурсы и независимый аудит.

Адамов Евгений Олегович

Научный руководитель АО «НИКИЭТ»

Соловьев Сергей Леонидович

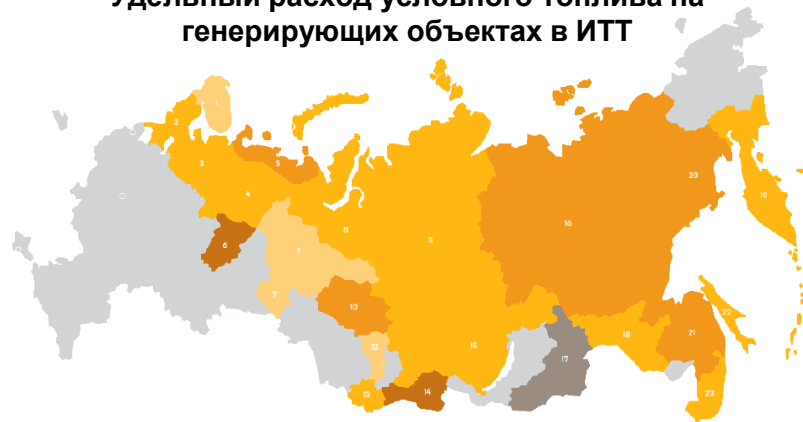
Научный руководитель АО «ВНИИАЭС»

Направления развития АСММ

Преимущества АСММ в изолированных и труднодоступных для органики территориях



Удельный расход условного топлива на генерирующих объектах в ИТТ



Средневзвешенный УРУТ на отпуск электроэнергии в России: ~300 г у.т./кВт*ч

Цель: Эффективный источник энергии для обслуживания/развития инфраструктуры Северного морского пути и нужд МО РФ, активных энергетических комплексов (вне структуры ЕЭС), развития труднодоступных регионов

Источники: Полезные ископаемые: Минприроды России, интерактивная карта
Энергообеспечение: НОЦ «ВИЭ» СППУ по материалам Российского энергетического агентства.
Данные по УРУТ на объектах в ИТТ получены по данным АЦ при Правительстве РФ

Основные требования к АСММ

- Конкуренентоспособность.
- Устойчивость работы в изолированных сетях на различных уровнях мощности.
- Полная или высокая степень заводской готовности к эксплуатации.
- Транспортабельность отдельных модулей или блоков.
- Минимизация объемов и стоимости строительно-монтажных работ.
- Автономность, надежность эксплуатации.
- Существенное снижение экологических последствий для окружающей среды.
- Возможность работы в режиме когенерации.

Перспективные проекты АСММ (Россия)

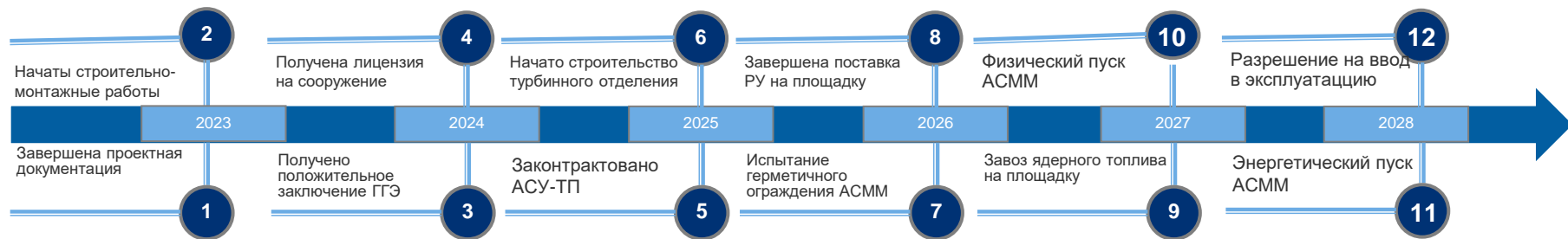


* - отпуск тепла до 5 МВт

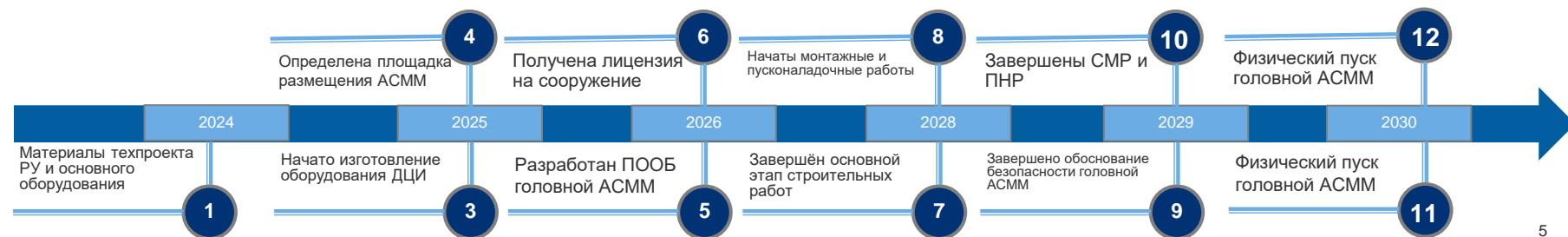
Федеральный проект: новая атомная энергетика, в том числе малые атомные реакторы для удалённых территорий



1. АСММ с РУ РИТМ 200Н Электрическая мощность 55 МВт

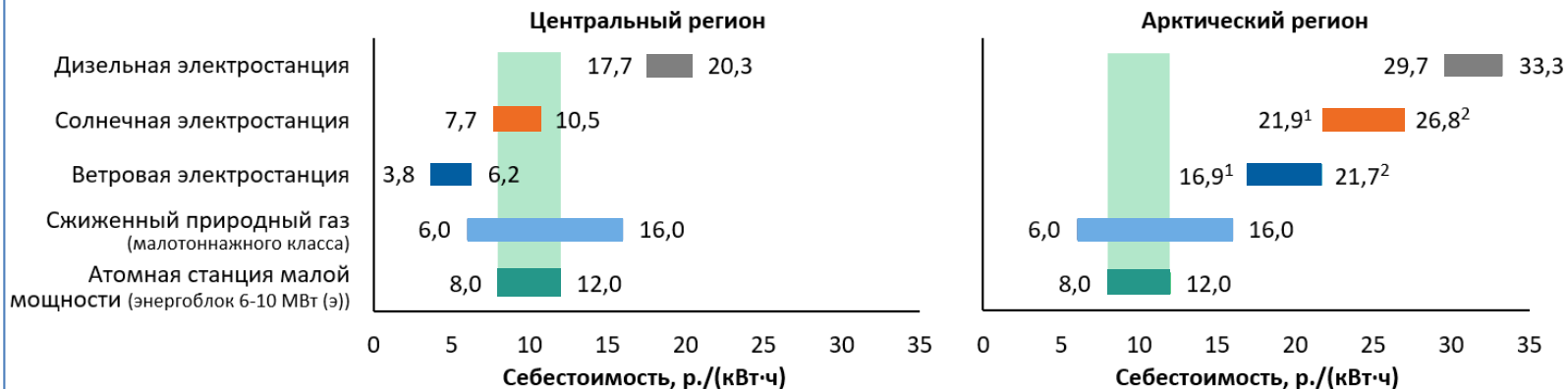


2. АСММ с РУ «Шельф-М» Электрическая мощность 10 МВт



Оценка конкурентоспособности АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М. Сравнение с ДЭС, ВИЭ, СПГ

Себестоимость электроэнергии (средняя) для локального потребления с учетом условий размещения



С резервированием электроэнергии ДЭС: ¹40 %, ²50 % выработки

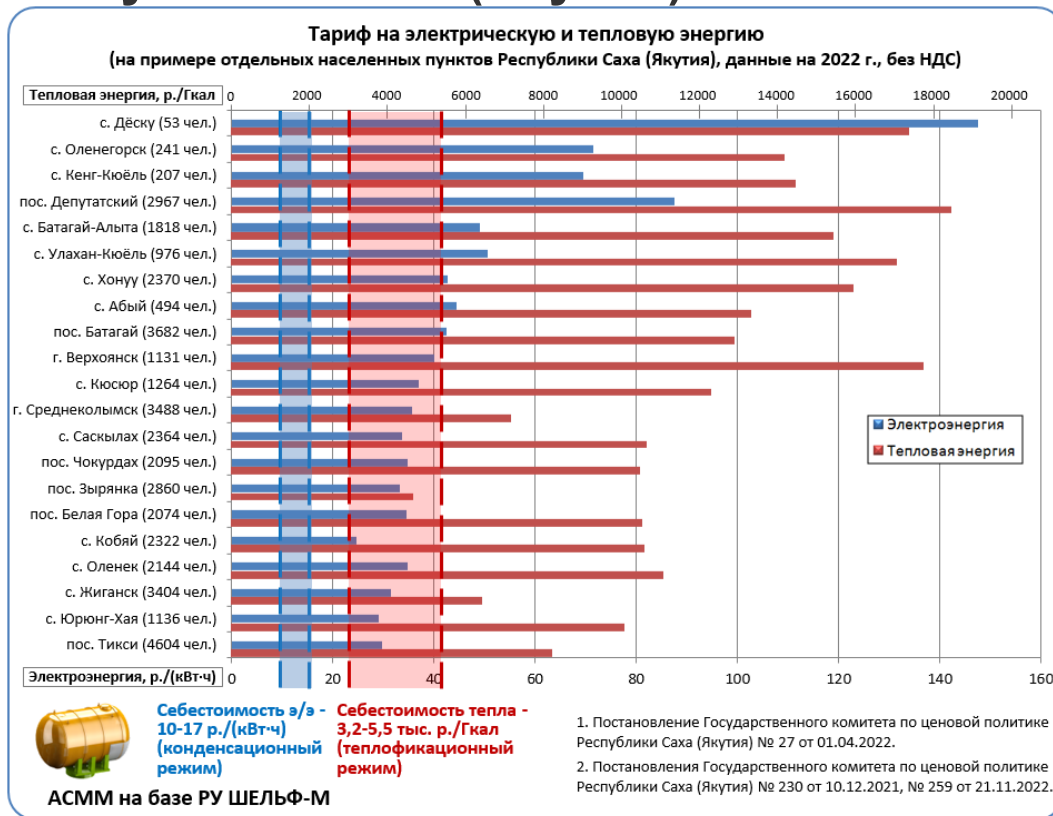
Расчеты на основе источников:

- Постановления Правительства Российской Федерации, данные Ассоциации «НП Совет рынка», АО «АТС»;
- письмо Дирекции по управлению ЖЦ ЯТЦ и АЭС Госкорпорации «Росатом» № 1-8.13/1740 от 18.01.2019;
- аналитические обзоры Всемирного фонда дикой природы (WWF);
- исследования Центра энергетики Московской школы управления Сколково и др.

АСММ обеспечивают значительно более низкую себестоимость электроэнергии по сравнению с дизельными, ветровыми и солнечными электростанциями на технологически изолированных территориях с децентрализованным энергоснабжением и дальнепривозным топливом при соблюдении высокой надежности и экологичности.

АСММ способны конкурировать со сжиженным природным газом (СПГ) в зависимости от факторов (технических и логистических решений), влияющих на показатели проектов.

Оценка конкурентоспособности АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М. Сравнение с дизельными электростанциями Республики Саха (Якутия)



В населенных пунктах Республики Саха (Якутия) с численностью населения более 2000 чел., в изолированных энергосистемах с дизельными электростанциями **экономически обоснованный тариф:**

- электрическая энергия – **30-50 p./кВт·ч),**
- тепловая энергия – **5-16 тыс. p./Гкал.**

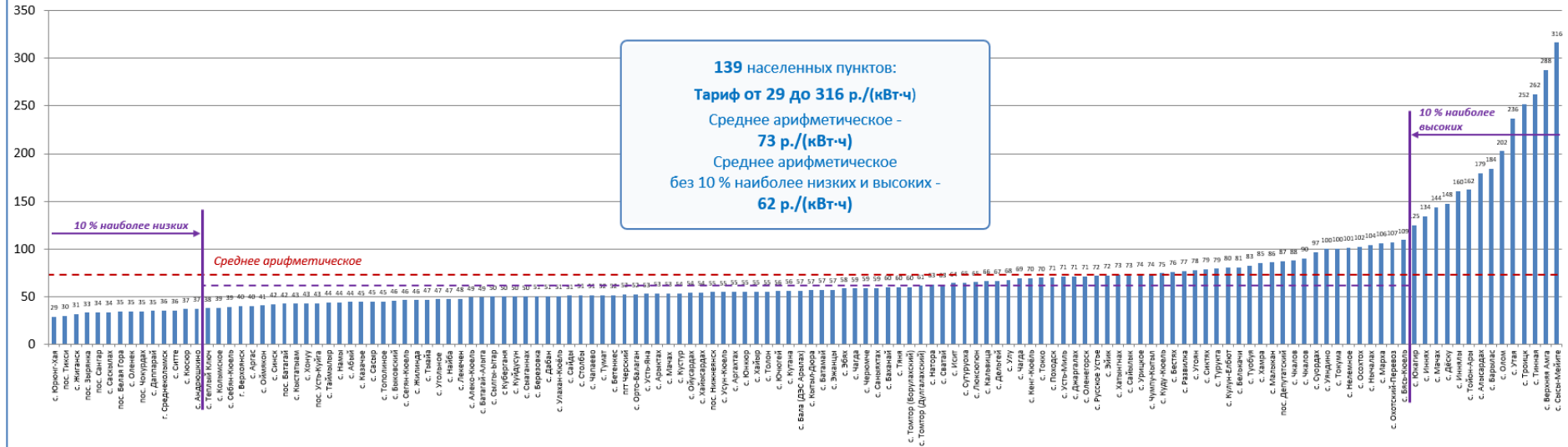
Себестоимость продукции АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М значительно ниже:

- электрическая энергия – **10-17 p./кВт·ч),**
- тепловая энергия – **3-6 тыс. p./Гкал.**

Тариф на электроэнергию в Республике Саха (Якутия) на территориях, технологически не связанных с Единой энергетической системой России

Тариф на электрическую энергию, р./кВт·ч
(на примере населенных пунктов Республики Саха (Якутия) в 2022 г., без НДС)

139 населенных пунктов:
Тариф от 29 до 316 р./кВт·ч
Среднее арифметическое - 73 р./кВт·ч
Среднее арифметическое без 10 % наиболее низких и высоких - 62 р./кВт·ч



Постановление Государственного комитета по ценовой политике Республики Саха (Якутия) № 27 от 01.04.2022

Цены (тарифы) на электрическую энергию (мощность), вырабатываемую АО «Сахаэнерго» на территориях, технологически не связанных с Единой энергетической системой России и технологически изолированными территориальными электроэнергетическими системами на 2022 год без дифференциации по уровням напряжения

Билибинская АЭС с реактором ЭГП-6. Опыт эксплуатации

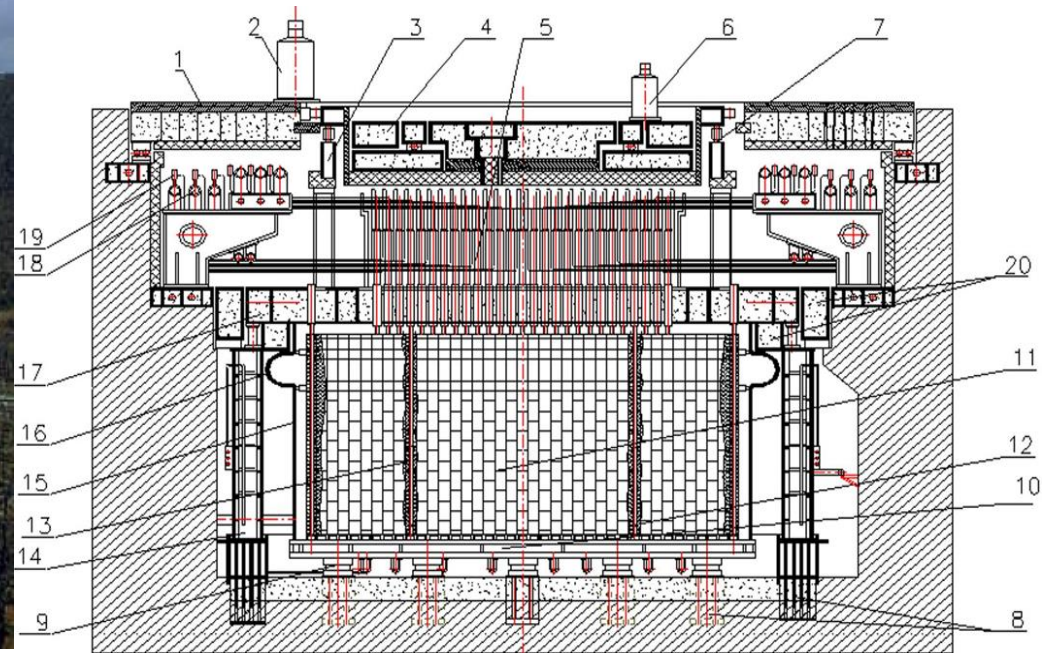
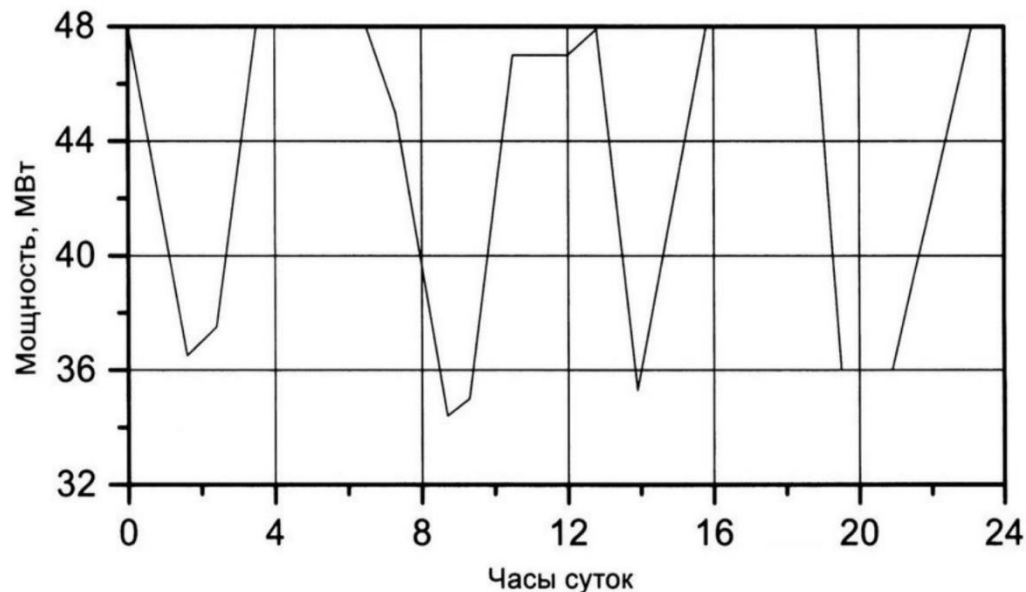


Рисунок 1. Конструкция реактора ЭГП-6

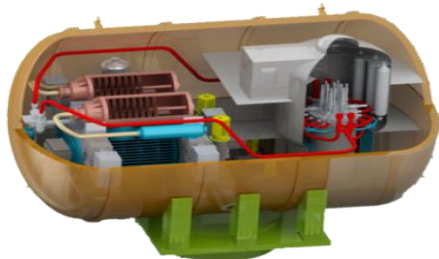
- 1.Верхнее боковое перекрытие; 2.привод большого вращающегося перекрытия; 3.центральная рама с опорами;
- 4.центральное вращающееся перекрытие; 5.стояки; 6.привод малого вращающегося перекрытия; 7.опора катковая;
- 8.закладные части; 9.опорные узлы; 10.нижняя плита; 11.графитовая кладка; 12.канал СУЗ; 13.ТВС; 14.бак биологической защиты; 15.кожух кладки; 16.компенсатор кожуха; 17.верхняя плита; 18.групповые коллекторы с рабочими трубопроводами; 19.вентили запорные; 20.нижний слой защитного перекрытия.

Характерный летний график электрических нагрузок Билибинской АЭС

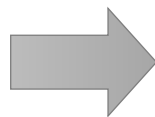
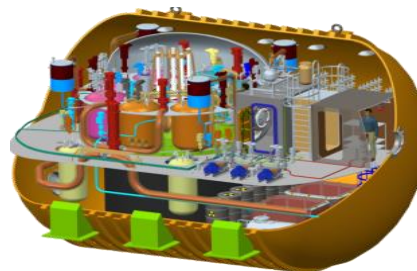


Ключевые (целевые) характеристики ЭБ АСММ с РУ ШЕЛЬФ-М

Референтный ЭБ АСММ на базе РУ «Шельф»



ЭБ АСММ на базе РУ «ШЕЛЬФ-М»



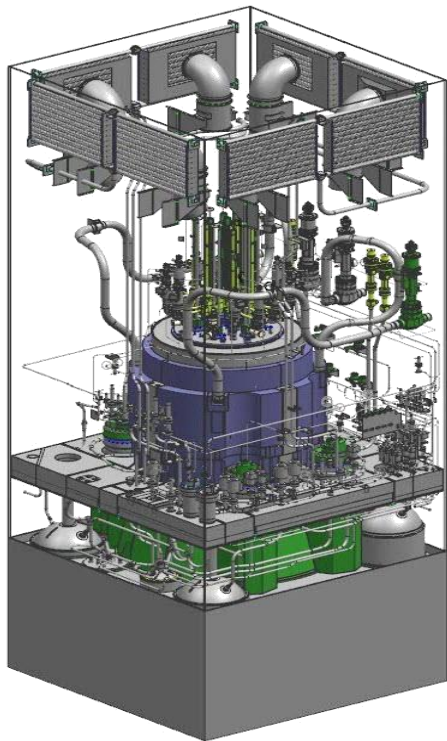
Параметр	ШЕЛЬФ	ШЕЛЬФ-М
Тепловая мощность реактора	28,4 МВт	до 32 МВт
Электрическая (отпускная тепловая) мощность блока АСММ в конденсационном режиме в когенерационном режиме в теплофикационном режиме	6 МВт 3,5 МВт (8,5 Гкал/час) 0,0 МВт (20 Гкал/час)	до 10 МВт 6 МВт (15 Гкал/час) 0 МВт (35 Гкал/час)
Кампания активной зоны, эффективных часов	40 000	до 80 000
Периодичность перезагрузки, лет	6	8 .. 12
Топливная композиция (обогащение по U235)	~ 20%	до 20%
Коэффициент технической готовности	0,8	0,9
Срок службы заменяемого оборудования, лет	6 (12)	10 (12)
Срок службы незаменимого оборудования (РУ), лет	60	60
Год ввода в эксплуатацию* (физический пуск)	2024	2028

АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М. Обликовые решения*

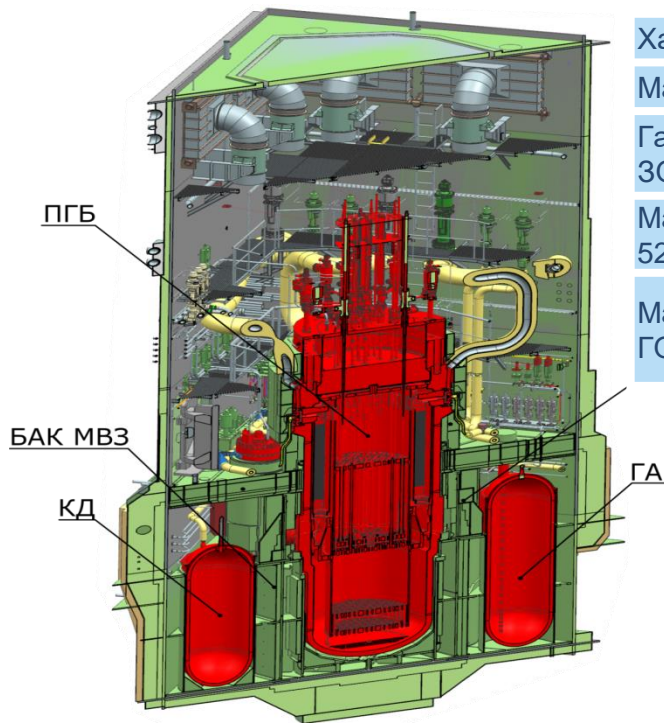


Площадь земельного участка в ограждении, м ²	Площадь застройки, м ²	Длина охраняемого периметра, м	Протяженность дорог, м	Площадь автодорожного покрытия, м ²	Плотность застройки, %	Удельная площадь промплощадки, Га/МВт
16 823	3852	588	690	1808	23	0,21

Компоновка РУ РИТМ-200



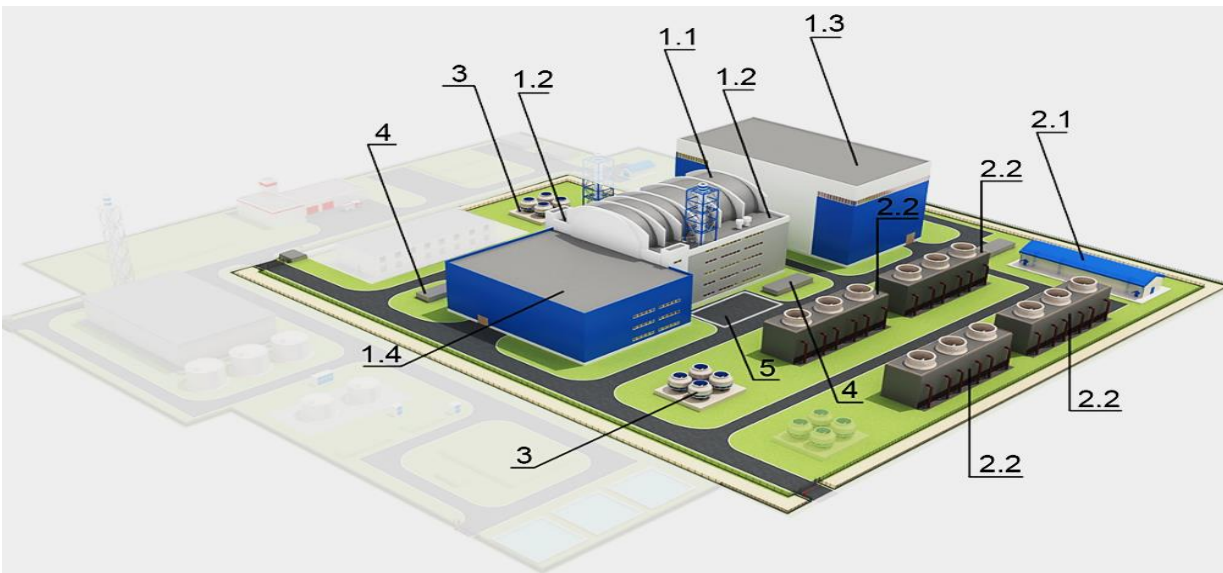
Общий вид РУ РИТМ-200 в 3О



Размещение оборудования и трубопроводов внутри 3О РУ РИТМ-200

Характеристика	Значение
Масса РУ в 3О, т	1 100
Габаритные размеры РУ в 3О, м	6 x 6 x 15,5
Материалы 3О (по ГОСТ 52927-2015)	E36Z35
Материалы бака МВЗ (по ГОСТ 7350-77)	08X18H10T

АСММ на базе РУ РИТМ-200. Генеральный план площадки. Участки и комплексы



Участок выдачи мощности (неизменяемая часть, с возможностью масштабирования до 300 МВт):

1 Главный корпус в составе:

- 1.1 Реакторное отделение
- 1.2 Блок инженерных систем (2 шт.)
- 1.3 Турбинное отделение
- 1.4 Спецкорпус
- 1.5 ЗРУ

2 Комплекс охлаждения циркуляционной воды в составе:

- 2.1 Насосная станция технического водоснабжения
- 2.2 Вентиляторная градирня (4 шт.)

3 Градирня ответственных потребителей (2 шт.)

4 Аварийный дизель-генератор (2 шт.)

5 Площадка временного хранения ТУК с ОЯТ

Проектными решениями генерального плана АСММ предусматривается размещение 17 типов основных и вспомогательных зданий и сооружений (всего 37 единиц)

Цифровые двойники АСММ с РУ РИТМ-200 и ШЕЛЬФ-М.

Поддержка и верификация проекта

Цифровой двойник – БД + модели + инструменты визуализации в 3D + программные продукты + получаемые в онлайн режиме эксплуатационные данные. **Цифровой двойник** позволяет моделировать работу объекта в НУЭ, при ННУЭ и при авариях. **Цифровой двойник** служит для оптимизации проектных, конструкторских, технологических решений, создания тренажёров, сопровождения эксплуатации и вывода из эксплуатации.

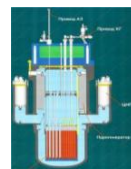
Цифровые двойники АЭС в мире:

- Франция (EDF) разработка виртуального реактора в рамках проекта «АЭС будущего» + независимое подразделение в EDF для верификации проектов



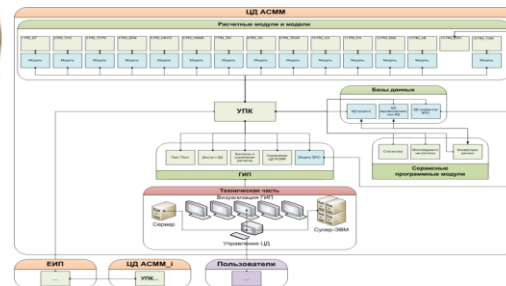
- В 2020 году начата работа по разработке цифровых двойников АСММ с РУ РИТМ-200 и с РУ ШЕЛЬФ.
- Сохраняется референтность решений принятых в проекте ПТК ВЦАЭС, расширяются возможности исследовательской версии.

АСММ с РУ «Шельф»

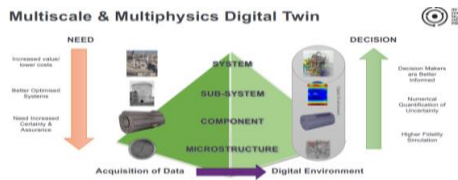


АСММ с РУ РИТМ-200

Структура ЦД АСММ



- проект «Интегрированная ядерная цифровая среда» INDE (Integrated Nuclear Digital Environment), Великобритания.



- Участники проекта: АО «ВНИИАЭС», АО «ОКБМ Африкантов», АО «НИКИЭТ», АО «Гринатом», ВШЭ, МИФИ, МЭИ. МГТУ, ИБРАЭ РАН, ИВТ РАН и др.

ВЦАЭС - расчетная часть ЦД энергоблока. Комплексная верификация проекта (ВНИИАЭС, ИБРАЭ, МГУ).

Цифровой двойник энергоблока

Информационно-проектная часть цифрового двойника энергоблока

Конструкторская модель на базе SmartPlant, ПТК «Виртуальный энергоблок» для поддержки проектирования, модель сооружения энергоблока Multi-D

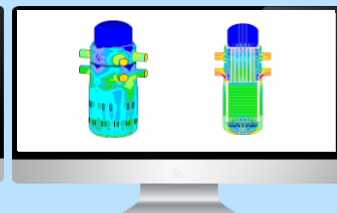
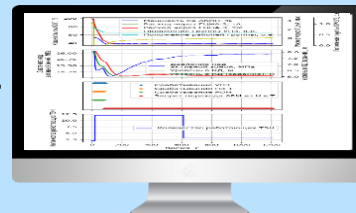
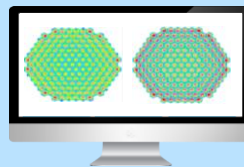


A

Расчетная часть цифрового двойника энергоблока

B

Модели, созданные средствами ВЦАЭС, для комплексного тестирования проектов строительства/ модернизации энергоблоков и тренажеров и поддержки эксплуатации энергоблока



C

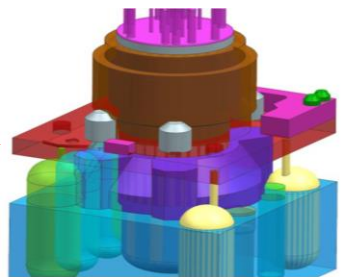
Строительство и ввод в эксплуатацию энергоблока



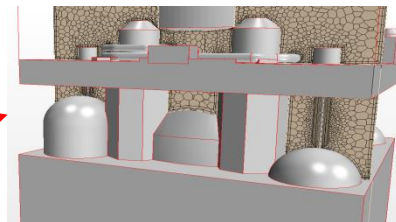
- A – Автоматизированная разработка расчетной части цифрового двойника энергоблока
- A + B – Анализ проектного решения с использованием расчетной части цифрового двойника
- C – В случае успешной проверки – применение проектного решения на блоке

Обоснование водородной взрывобезопасности на примере расчетной части цифрового двойника АСММ с РУ РИТМ-200

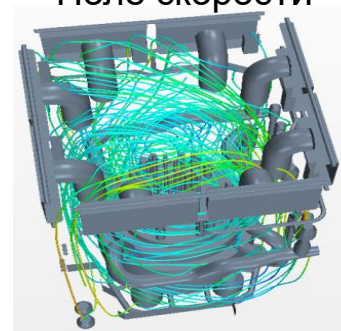
Геометрия



Расчетная сетка



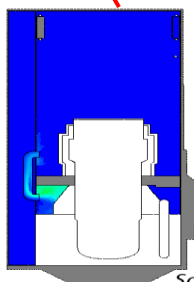
Поле скорости



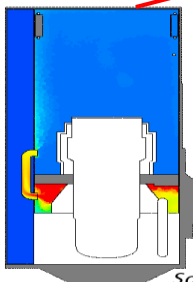
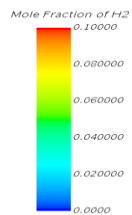
Водород из реактора



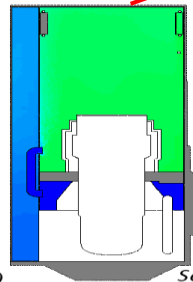
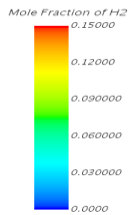
Сценарий аварии



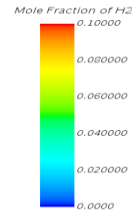
Solution Time 20 (s)



Solution Time 23440 (s)



Solution Time 36240 (s)



Распределение водорода в 3О

Факторы снижения стоимости АСММ*



Конкурентный блок АСММ – массовый промышленный, платформенный продукт с высокой степенью модульности, адаптируемый под конкретный заказ: если серийность крупных блоков АЭС сопоставима с серийностью ракет-носителей (единицы в год), то серийность блоков АСММ может быть сопоставима с серийностью авиалайнеров (десятки в год)

Основные выводы

1. Разработанные в РФ проекты АСММ конкурентоспособны для изолированных от сетей и труднодоступных для завоза органики территориях.
2. При серийном изготовлении преимущественно заводскими модулями экономика АСММ существенно улучшается.
3. Дальнейшее повышение конкурентоспособности АСММ возможно через работу в режиме когенерации и внедрение технологий XXI века (аддитивные, цифровые, ИНС, и др). Успешное развитие и внедрение перспективных технологий требует тесной научной-технической кооперации.

Спасибо за внимание

Соловьев Сергей Леонидович
Научный руководитель

Тел.: +7 (495) 376 12 87,
Моб. тел.: +7 (910) 451 92 37
E-mail: SLSoloviev@vniiaes.ru
www.rosatom.ru

12.04.2023

