



РОСАТОМ

27 июня 2019, Обнинск / Научная сессия «Наука для атомной
энергетики»

АЭС малой мощности, научные проблемы и пути их
решения.



Соловьев С. Л.

Федеральный проект 4

Технологии АЭС большой и малой мощности

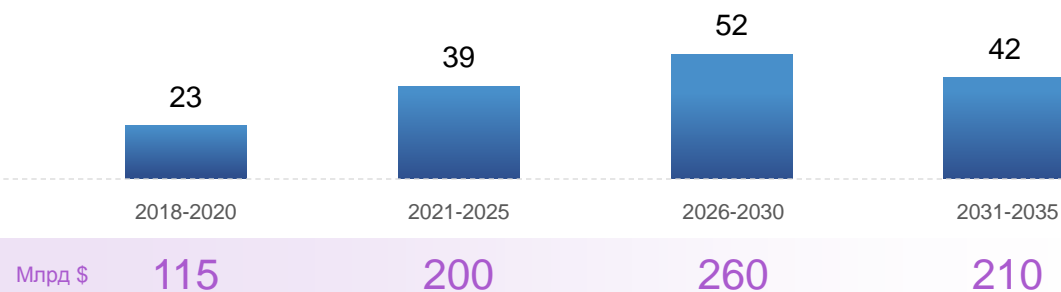


Ключевые результаты

- 2024** Завершение сооружения и физический пуск первого энергоблока Курской АЭС-2
- 2024** Начало сооружения пилотных атомных станций малой мощности в РФ
- 2027** Ввод в промышленную эксплуатацию пилотных атомных станций малой мощности в РФ
- +** Получение референтных образцов в активно развивающемся сегменте АСММ
- +** Прирост высокотехнологичного экспорта (новая АСММ будет более чем на 70% состоять из российских комплектующих)

Перспективные рынки

Спрос на реакторы III+ и выше, блоки



Установленная мощность АСММ в мире, ГВт



Расширение сфер применения атомной энергетики в мире. Обеспечение лидерства России по реакторным технологиям в сегментах большой и малой мощности

Перспективные области применения АСММ



Параметры проектов АСММ зарубежного дизайна

АСММ	Нэл. (МВт) / Нт. (МВт)	P1 (МПа) / T1 (°C)	P2 (МПа) / T2 (°C)	Рконт. (МПа)	CDF 1 / р.*год	LRF 1 / р.*год	Сейсмика	Циркул.
CAREM IPWR, Аргентина	~30 / 100	12,25 / 284-326	4.7 / -	0,5	10^{-7}	-	0,25 g	NC
Nu Scale IPWR, США	50 / 160	12,8 / - -302	-	-	10^{-8}	-	0,5 g	NC
АСР50S петлев. PWR, КНР	60 / 200	15,5 / 299-322	-	1,4	10^{-6}	10^{-8}	-	FC
АСР 100 IPWR, КНР	100 / 310	15.0 / 283-323	4.0 / 290 °C	-	10^{-7}	10^{-8}	0,3 g	FC
SMART IPWR, Корея	100 / 330	15,0 / 296-323	5,0 / -	0,34	2×10^{-7}	-	0,18 g	FC
CAP 150 IPWR, КНР	150 / 450	15.5 / 290-310	-	-	3.5×10^{-8}	10^{-9}	0,3 g	FC
SMR-160 PWR, США	160 / 525	15.5 / 196-316	2.26 / перегрев 77°C	-	-	-	-	NC
mPower IPWR, США	195 / 575	14.8 / 291-319	-	-	10^{-8}	-	-	FC
CAP 200 PWR, КНР	200 / 660	15,5 / 289-313	6,02 / -	-	10^{-6}	10^{-7}	-	FC
SMR IPWR, США	225 / 800	15,5 / 294-324	-	-	5×10^{-8}	-	-	FC
DMS BWR, Япония	300 / 840	7.17 / 186-287	-	-	5×10^{-8}	-	0,45 g	NC

Параметры проектов АСММ зарубежного дизайна

АС ММ	Цена \$/КВт / с/КВтч	Срок строит. (мес.)	Срок службы (лет)	Топл. Цикл (мес.)	СБ	Автономн. при ЗПА (час)	Особенности
CAREM IPWR, Аргентина	-	36	60	14	2 канала пассив.	36	-
Nu Scale IPWR, США	5000 / -	36	60	24	2 канала пассив.	>72 при SBO - ∞	-
ACPR50S PWR, КНР	7900 / 19	36	40	30	2 канала пассив	>168	-
ACP 100 IPWR, КНР	5000*	36	60	24	2 канала пассив	от 72 до 336	РУ под землей
SMART IPWR, Корея	10000** / 4,5	36	60	36	4 канала пассив	>72 при SBO – 20 суток	Электричество и вода для города 105 человек
CAP 150 IPWR, КНР	-	36	80	36	4 канала пассив	> 168	РУ под землей
SMR-160 PWR, США	-		80	24	2 канала пассив.	В 30 воды на > 60сут	-
mPower IPWR, США	-	35	60	24	2 канала пассив	Зона 7-14 суток > 72 30	БВ под землей автономность 30 суток
CAP 200 PWR, КНР	-	36	60	24	пассив	от 168 до 336	Конт. под землей
SMR IPWR, США	-	18-24	60	24	3 канала пассив	>168	100% байпас турбины
DMS BWR, Япония	≈ как ABWR	24	60	24	3 актив. + 1 пассив.	>168	-

Основные тенденции развития АСММ за рубежом. Параметры конкурентоспособности.



01 Безопасность – существенное повышение

- Снижение CDF до 10^{-7} и LRF до 10^{-9}
- Автономность (включая БВ) при ЗПА неделя и более

02 Понижение параметров первого и второго контура – рост надежности, упрощение управляющей системы

03 Подземное расположение – защита от падения самолета, подпитка водой СБ

04 Применение естественной циркуляции для теплосъема в активной зоне

05 Продолжительность топливного цикла
24-36 месяцев

06 Срок строительства
24-36 месяцев

07 Пассивные системы безопасности
2-4 канала

08 Границы зоны отселения в пределах площадки

09 Требования к АСММ определяются потребителем, т.е. от системы выдачи мощности, тепловой энергии и т.д.

10 Использование цифровых двойников при проектировании и оптимизации АСММ

Повышение надежности и естественной безопасности при снижении параметров АСММ

01

Зависимость КТП от давления

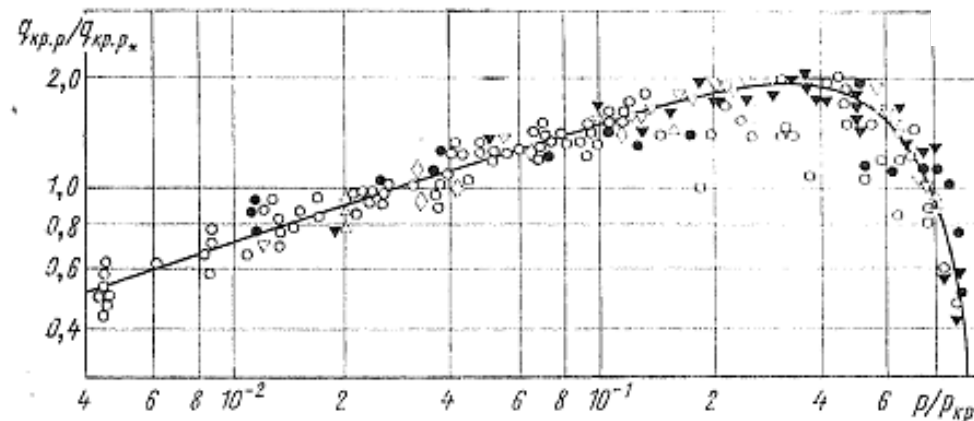


Рис. 12.16.

Зависимость первой критической плотности теплового потока от давления [5]:

- — этиловый спирт;
- △ — бензол;
- — гептан;
- ▽ — метиловый
- — вода;

02

Инверсия влажности при дросселировании пара

Турбина	Давление пара, МПа		Энтальпия пара, кДж/кг		Теплота парообразования для давления перед турбиной, кДж/кг	Рост влажности пара при дросселировании $\Delta\omega$, %
	в парогенераторе	перед турбиной	в парогенераторе	перед турбиной		
К-70-29	3,2	2,9	2801,8	2801,8	1802,3	0
К-220-44	4,6	4,3	2795,2	2797,2	1681,7	+0,119
К-1000-60/1500	6,26	5,88	2778,8	2783,3	1569,4	+0,285

Перспективные проекты АСММ (Россия). Есть отличия по параметрам. Требуется дополнительный анализ.



Отработка и анализ проектов с помощью ВЦ АСММ. Имеющиеся компетенции. Приложение сил молодежи.



ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ВИРТУАЛЬНО-ЦИФРОВАЯ АЭС С ВВЭР»

01

Инженерная поддержка
кризисного центра
АО «КОНЦЕРН РОСЭНЕРГОАТОМ»



02

Верификация
проектных решений



03

Расчетное

обоснование безопасности



04

Повышение

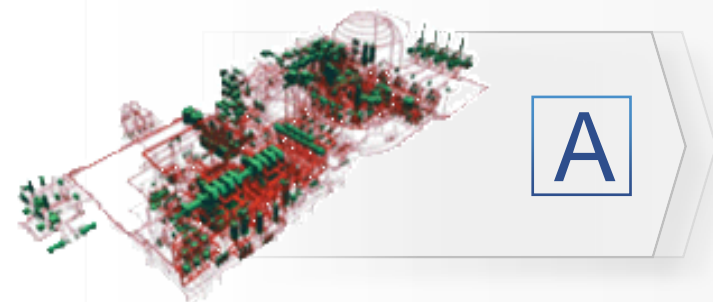
операционной эффективности



ВЦАЭС в качестве цифрового двойника энергоблока при анализе проекта. Комплексная верификация.

Цифровой двойник энергоблока

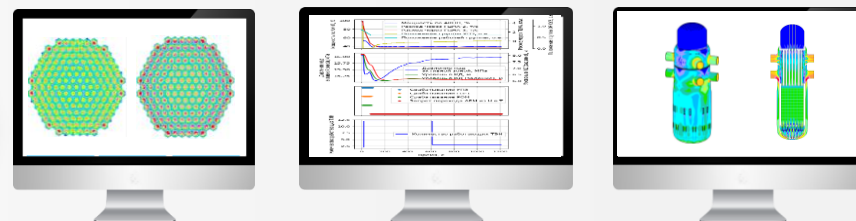
Информационно-проектная часть цифрового двойника энергоблока



A

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

B Расчетная часть цифрового двойника энергоблока



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

Основные требования к АСММ

01 Возможность серийного производства реакторных установок.

02 Модульный принцип компоновки при формировании необходимой мощности и возможность ее изменения в зависимости от потребностей целевой площадки.

03 Полная или высокая степень заводской готовности к эксплуатации.

04 Транспортабельность отдельных модулей или блоков.

05 Минимизация объемов и стоимости строительно-монтажных работ.

06 Автономность, надежность и устойчивость эксплуатации.

07 Упрощение процедур снятия с эксплуатации, вывоз ОЯТ и РАО вместе с энергоустановкой.

08 Существенное снижение экологических последствий для окружающей среды.

09 Возможность работы в режиме когенерации, опреснения воды, выработки водорода.

10 Значительный рост показателей безопасности по сравнению с энергоблоками большой мощности.

Проблемные вопросы



01 АСММ обладает всеми составляющими ядерной и радиационной опасности

- 02**
- Правовое и институциональное обеспечение сектора атомной энергетики на основе АСММ
 - Разработка основанных на принципах внутренней самозащитности и пассивных систем защиты РУ с повышенными стандартами безопасности
 - Минимизация обслуживающего персонала

03 Подготовка научно-производственной базы для проведения стендовых испытаний и создания головных образцов энергоустановок

04 Разработка цифровых двойников для оптимизации АСММ

05 Разработка оборудования устойчивого к изменению частоты сети

06 Разумное повышение автономности АСММ при аварийных процессах

07 Устойчивость работы АСММ (длительная работа турбины на собственные нужды, 100% байпас турбины и т.д.). Упрощение управляющей системы

08 Освоение технологий и мобилизация промышленных мощностей для серийного производства АСММ

09 Разработка и реализация технологий централизованного (на заводе-изготовителе) обращения с ОЯТ и РАО

10 Обеспечение физической защиты АСММ

01

Востребованность АСММ

и их конкурентоспособность во многих конкретных условиях их перспективного использования очевидны, о чем свидетельствует прогрессивно возрастающий интерес в мире к их разработке и применению. Необходимо тесная работа с надзорным органом по обоснованию новых норм и правил открывающих путь масштабному наращиванию строительства АСММ с опорой на значительный уровень референтности технологий АСММ в России.

02

Выявлено определенное расхождение

в тенденциях развития АСММ в России и за рубежом. Требуется провести анализ отличий с помощью цифровых моделей и по результатам анализа определить актуальные параметры конкурентоспособности АСММ.

03

Возникновение

по существу, нового направления развития атомной энергетики не означает лишь очередное наращивание доли ядерных энергоисточников в топливно-энергетическом балансе. Создание АСММ связано с качественно новой философией применения атомной энергии, и, прежде всего, с индустриализацией их производства, а также с разработкой технологии централизованного обращения с ОЯТ и РАО.

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**

