

АКМЭ ИНЖИНИРИНГ

АТОМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ПРОЕКТ СВБР-100: ТЕКУЩИЙ СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ

Доклад на конференции по реакторам малой и средней мощности

20 июля 2017 года

г. Астана, Республика Казахстан

*) Данные материалы подготовлены для презентации на конференции по реакторам малой и средней мощности (20.07.2017 г. Астана). Они не должны рассматриваться в качестве оферты и не ведут к возникновению каких-либо обязательств со стороны АО «АКМЭ-инжиниринг»

СТАТУС ПРОЕКТА

ПЕРВЫЙ РОССИЙСКИЙ ПРОЕКТ РАЗРАБОТКИ И СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС РЕАЛИЗУЕМЫЙ В ФОРМАТЕ ЧАСТНО-ГОСУДАРСТВЕННОГО ПАРТНЕРСТВА



РОСАТОМ

Государственная
корпорация
Росатом

50%

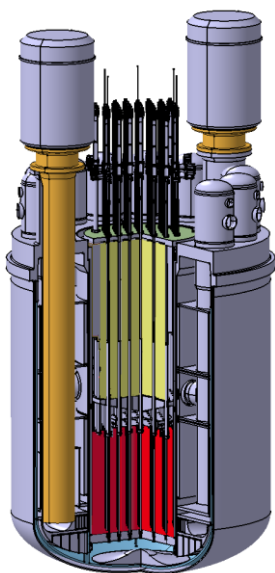
АКМЭ АТОМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ИНЖИНИРИНГ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Основана в 2009 году, частно-государственное
партнерство



Диверсифицированная
промышленная группа,
объединяющая около 100 российских
и международных предприятий

50%



Мощность	100 МВ-э, 280 МВ-т
Теплофикационная мощность (опция)	70-100 Гкал/ч
Параметры пара	Насыщенный пар, $p=6.7\text{МПа}$, $T\sim 282.9^\circ\text{C}$
Топливная кампания	7-8 лет (стандартное топливо UO_2 обогащения 16.3%) Возможно использование других видов топлива и работа в замкнутом топливом цикле.
Вес реакторной установки	~280 тонн
Размеры реакторной установки	4.5 / 8.2 метр (диаметр/высота)
Срок эксплуатации	60 лет

ЦЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТА

Цели реализации

- Разработка и коммерциализация «компактного» многофункционального реакторного модуля, пригодного для размещения в удаленных труднодоступных районах (единичная мощность – 100 МВт, производство электроэнергии, тепла, промышленного пара (ко- и тригенерация), опреснение)

Уникальная российская реакторная технология – инновационный реактор (поколения IV) на быстрых нейтронах с теплоносителем свинец-висмут и свойствами внутренней самозащитенности

Ключевой продукт

- Готовый к установке реакторный модуль заводского изготовления транспортируемый железнодорожным, водным или автотранспортом, который за счет уровня безопасности может размещаться вблизи населенных пунктов и производственных комплексов
- АЭС с учетом локальных потребностей в мощности (100-200-300-400 и т.д. МВт (э)) и возможностью работы в маневренном режиме

Основные этапы

- 2022 -2025 – завершение основных НИОКР, разработка проектной/рабочей документации и получение необходимых лицензий для сооружения опытного промышленного энергоблока (ОПЭБ)
- 2025 – ввод в эксплуатацию ОПЭБ (Ульяновская область, Димитровград)
- 2026-2027 – получение первых референций промышленной эксплуатации
- 2028-2029 – серийные поставки РУ / АС

АЭС НА БАЗЕ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ СВБР-100

**АЭС на базе опытного энергоблока РУ СВБР-100 в г. Димитровград,
Ульяновской обл. вблизи с НИИАР**



КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ АЭС



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:

- Завершены общественные слушания
- Получена лицензия Ростехнадзора на размещение
- Подписан договор аренды земли
- Подписано соглашение о сотрудничестве с администрацией г. Димитровград

- 1 энергоблок
- Режим когенерации
- Установленная мощность: 100 МВт(э)
- Теплофикационная мощность: 100 Гкал/ч
- КПД: ~36%
- Срок работы: 50 лет
- КИУМ: ~90%

СТАТУС РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА РУ

- Документация технических проектов элементов активной зоны (ТВЭЛ, пэл, РИН, активная часть ПИН), ГЦНА, НМПЦ, СТТ и перегрузочного оборудования в объеме соответствующих ведомостей технических проектов выпущена.
- Документация технического проекта РУ в объеме ведомости выполнена в объеме достаточном для получения лицензии на размещение. Для завершения технического проекта РУ в объеме, необходимом для получения лицензии на сооружение (ЛнС), необходимо разработать расчеты прочности и расчеты в обоснование безопасности, а также провести необходимые экспериментальные работы в обоснование конструкции РУ.
- Выполнен значительный объем материаловедческих исследований и обоснований, включая отработку технологии изготовления крупногабаритных заготовок для корпуса РУ, отработку технологий сварки



Поковки кольца и патрубка (на 2 детали) из слитка ЭШП массой 18,0 т



**Готовые заготовки колец
Ø2540/Ø2200×142 мм и
Ø2530/Ø2210×510 мм**

СТАТУС РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА ОПЭБ

Завершены работы:

- по разработке проектной документации ОПЭБ в объеме постановления Правительства от 16.02.2008 № 87, которая является первой сборкой технологических решений на базе РУ СВБР-100 и, соответственно, первой оценкой сметной стоимости строительства ОПЭБ
- по рассмотрению экспертами Ростехнадзора и НТЦ ЯРБ достаточности нормативной базы для реализации Проекта, выданы рекомендации и согласована программа работ по дополнению нормативной базы.
- по проведению отраслевой экспертизы Госкорпорации «Росатом» и рассмотрению ее результатов и материалов Проекта в целом на НТС № 8 от 15.09.2015 года (отмечено отсутствие факторов, препятствующих завершению проектных и конструкторских работ и подготовке материалов по обоснованию лицензии на сооружение).

Планируется:

- Корректировка проектной документации в части оптимизации принятых технических решений по замечаниям отраслевых экспертов и подготовка для направления в ФАУ «Главгосэкспертиза России».
- Разработка ПООБ и ВАБ в составе материалов по обоснованию лицензии на сооружение ОПЭБ с РУ СВБР-100.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СВБР

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РЕАКТОРАХ

- В начале 1950-х годов в СССР была начата разработка РУ с теплоносителем свинец-висмут (СВТ) для АПЛ.
- До начала работ по РУ для АПЛ, А.И. Лейпунский выбрал эвтектический сплав Pb-Bi в качестве теплоносителя для быстрых реакторов-размножителей (однако позднее в качестве основного варианта был выбран натриевый теплоноситель).
- В СССР было построено восемь АПЛ с РУ с СВТ.
- Были построены и прошли успешную эксплуатацию два полномасштабных наземных стенда прототипа РУ АПЛ с СВТ.
- Общее время работы РУ с СВТ на мощности составило 80 реакторо-лет.



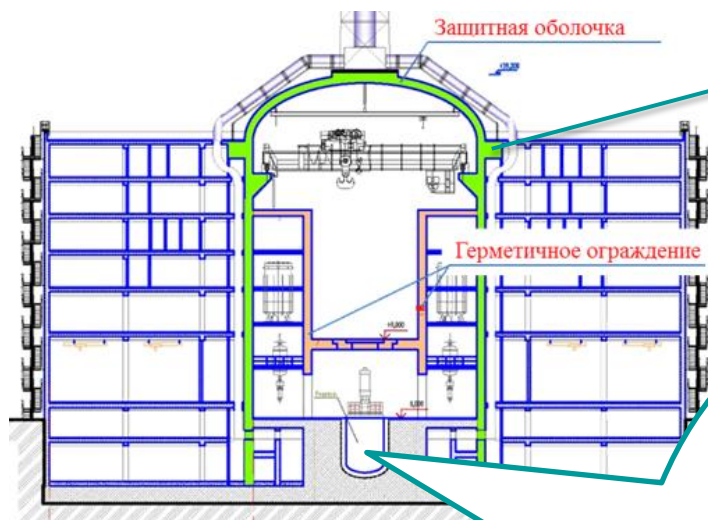
Было успешно продемонстрировано в промышленном масштабе применение СВТ для ядерной энергетической технологии. До настоящего времени в мировой практике аналогичные применения отсутствуют.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ. СВОЙСТВА СВТ

Потенциальная запасенная энергия в теплоносителе влияет на количество и сложность систем безопасности и может проявляться в случае аварийных ситуаций (особенно тяжелых)

Параметры/Тип теплоносителя	Вода	Натрий	Pb / Pb-Bi
Температура	P = 16 МПа T = 300 °C	T = 500 °C	T = 490 °C
Максимальная потенциальная энергия, ГДж/м3, вкл.:	~ 21,9	~ 10	~ 1,09
Тепловая энергия / вкл. потенциальную энергию сжатия	~ 0,90/~ 0,15	~ 0,6/Нет	~ 1,09/Нет
Потенциальная химическая энергия взаимодействия	С цирконием ~11,4	С водой 5,1 С воздухом 9,3	Нет
Потенциальная энергия взаимодействия выделяющегося водорода с воздухом	~ 9,6	~ 4,3	Нет

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ (БАРЬЕРЫ) БЕЗОПАСНОСТИ.

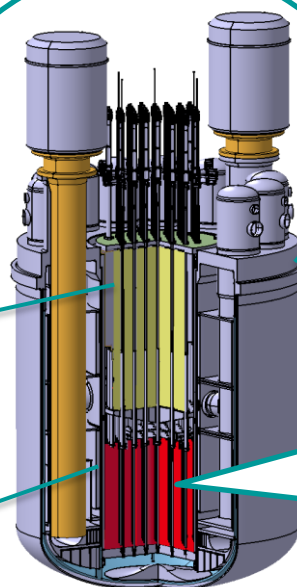


Система герметичных ограждений бокса РУ (локализуящая арматура, фильтры, бетонная шахта с верхним перекрытием).

Граница контура СВТ (корпус, защитный кожух, трубопроводы газовой системы).

Свинцово-висмутовый теплоноситель (СВТ) первого контура

Радиационная защита внутри корпуса моноблока реакторного



Оболочка ТВЭЛ

Топливо, UO_2

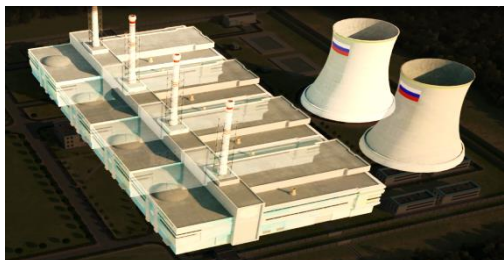
СВОЙСТВА ВНУТРЕННЕЙ САМОЗАЩИЩЕННОСТИ

Разгон на мгновенных нейтронах	Реактор обладает отрицательным эффектом реактивности при осушении активной зоны и отрицательными температурными коэффициентами реактивности. В дополнение к стержням АЗ, которые срабатывают после прохождения электрических сигналов реактор оборудован стержнями дополнительной аварийной защиты, которые срабатывают по повышению температуры теплоносителя (используются плавкие замки).
LOCA (потеря теплоносителя)	Реакторный моноблок имеет защитный кожух. В первом контуре отсутствуют трубопроводы и клапаны. Свойства теплоносителя (отсутствие избыточного давления и химическая инертность при контактах с водой и воздухом) исключают возможность потери теплоносителя.
LOHS (потеря теплоотвода)	Уровень естественной циркуляции в 1-ом и 2-ом контурах достаточен для отвода остаточного тепловыделения. Теплоотвод через парогенератор осуществляется четырьмя независимыми каналами системы пассивного отвода тепла (СПОТ) посредством испарения воды в баках СПОТ (пар удаляется в атмосферу). Период невмешательства составляет 72 часа.
REA (самоход стержня)	Реактор оборудован стержнями дополнительной аварийной защиты, которые срабатывают по повышению температуры теплоносителя (используются плавкие замки).
SGTR (разрыв трубки парогенератора)	В первый контур включен паровой конденсатор. В случае их недостаточности избыток пароводяной смеси сбрасывается через разрывную мембрану в барботер. Схема циркуляции теплоносителя обеспечивает эффективную его сепарацию от парагазовой смеси.
LOFA, LOFC, заклинивание вала насоса, потеря циркуляции	В реакторе установлены два ГЦНА. При отказе одного из ГЦНА, второй ГЦНА имеет выбег для развития такого уровня циркуляции, который будет достаточен для отвода остаточных тепловыделений.

Пассивные системы безопасности	Наиболее тяжелая проектная авария	Наиболее тяжелая запроектная гипотетическая авария	Регуляторные вопросы
<ul style="list-style-type: none"> Стержни АЗ с плавкими замками СПОТ (через парогенератор) Система выбега ГЦНА Разрывные мембраны (для отвода пароводяной смеси) Защитный кожух корпуса реактора Газовая система 1-го контура (защитная и локализирующая система при межконтурных течах) СПОТ МБР (корпус реактора в водяном баке шахты реактора) 	<p>При отказе всех систем расхолаживания через парогенераторы и полном обесточивании АС (постулированная авария)</p> <ul style="list-style-type: none"> - плавления аз не происходит, и - целостность корпуса реактора обеспечивается аккумулярованием тепла в материалах реактора и пассивной работой СПОТ МБР. <p>Период невмешательства 4 дня. Не требуются защитные действия за пределами площадки АС.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Внешнее разрушение контайнмента АС. Разрушение газовой системы первого контура с прямым контактом атмосферного воздуха с теплоносителем реактора. ГЦНА и насосы КМПЦ обесточены. Активные системы аварийного отвода тепла не работают. Теплоноситель нагрет до температуры ~600 С. Аварийная ситуация длится 24 часа. <p>Индивидуальная доза облучения не превышает 20 мЗв. Не требуются защитные действия за пределами площадки АС.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Новый проект (отсутствует опыт гражданского применения). Детерминистическое исключение возможностей ряда аварий (разгон на мгновенных нейтронах; LOCA; извлечение всех стержней СУЗ, разрыв корпуса реактора). СЗЗ совпадает с площадкой АС Отсутствие проектных аварий

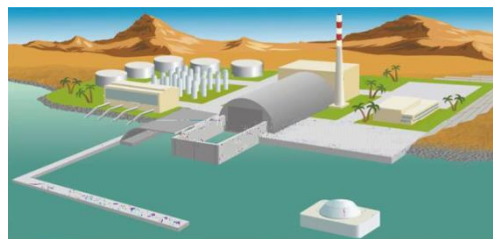
ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОЦЕЛЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

ПОСТЕПЕННОЕ НАРАЩИВАНИЕ МОЩНОСТИ



Сооружение энергоблоков малой и средней мощности, обеспечивающих э/э и теплом удаленные районы и региональные энергосистемы

ОПРЕСНЕНИЕ



Выработка пресной воды:
200 000 – 350 000 м³/в день

Береговой ядерный опреснительный энергетический комплекс с использованием опреснительных установок двух типов (многоступенчатая дистилляция и обратный осмос).

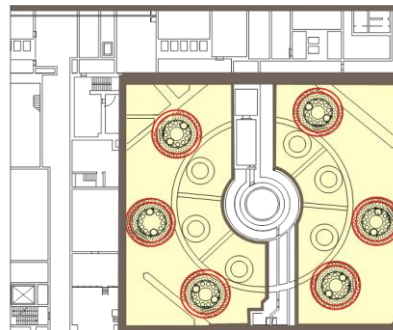
ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА

Пример возможного размещения	Отрасль
Нефтегазохимический комплекс (Приморский кр.)	Нефтегазовая промышленность
Железорудный ГОК (Бурятия)	Металлургия
Разработка месторождения золота "Песчанка" (Чукотский АО)	Горнодобывающая промышленность

Сооружение многофункциональных комплексов для промышленных предприятий

Пар: 580 тонн/ч, насыщенный пар, $p=6.7\text{Мпа}$, $T\sim 282.9^\circ\text{C}$

РЕНОВАЦИЯ



Осуществление **реновации** в два раза снижает удельные капитальные затраты в сравнении со строительством новых замещающих мощностей*

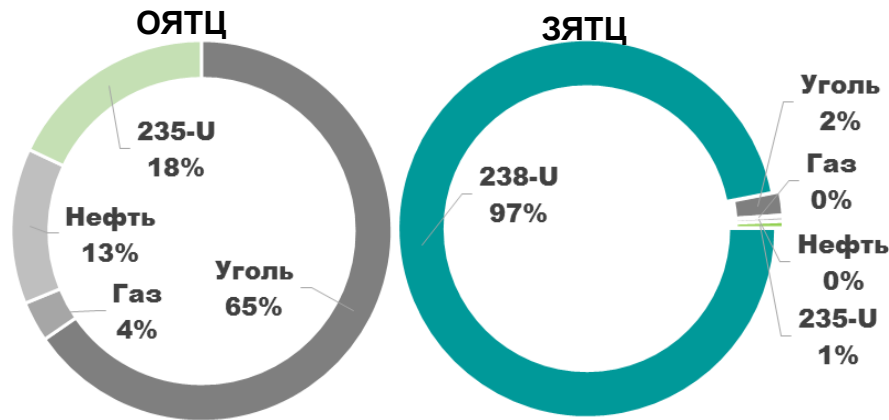
**) Результаты технико-эконом. исследований технической возможности и экономической целесообразности реновации 2-го, 3-го и 4-го блоков Нововоронежской АЭС на базе СВБР*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ. РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

АККУМУЛИРОВАННАЯ ЭНЕРГИЯ

Ресурсы урана – 600 000 т

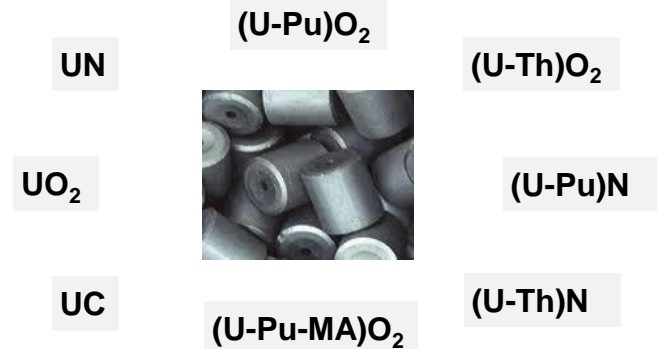
Ископаемые ресурсы
(KAZENERGY National Energy Report, 2013)



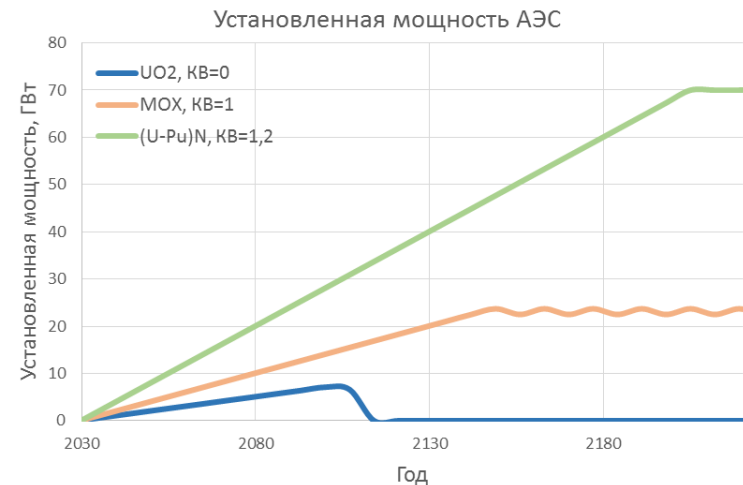
Потенциал установленной мощности
для различных энергоисточников

Энергетические ресурсы	АЭС-ЗЯТЦ	АЭС-ОЯТЦ	Газ	Уголь
КПД, %	35	35	60	60
Время использования, лет	1000	100	100	100
Установленная мощность, ГВт	>20-70	8	10	150

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА



ПОТЕНЦИАЛ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ

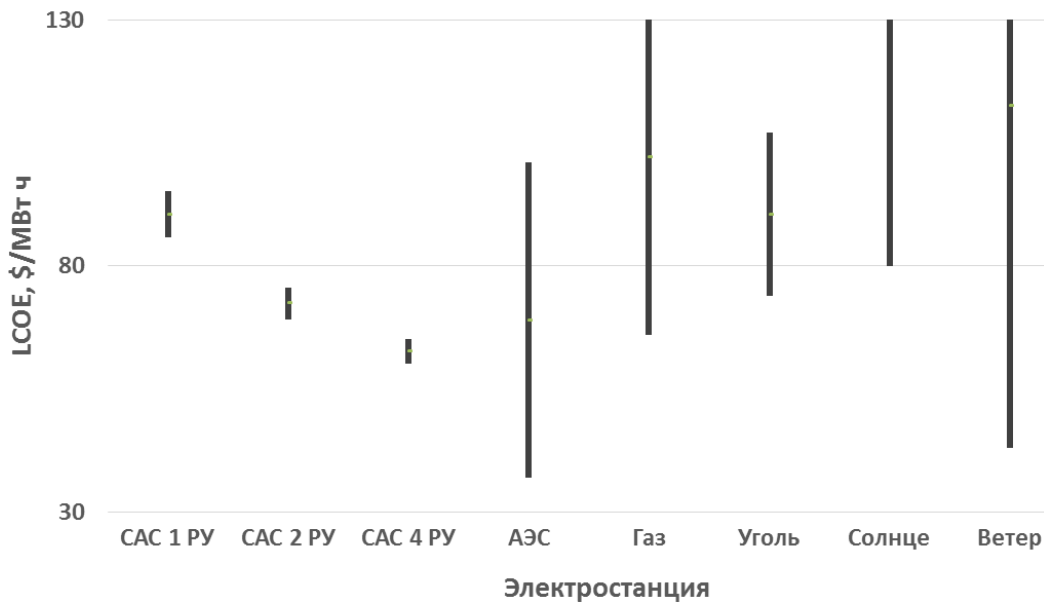


ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Мощность	100 МВ-э, 280 МВ-т
Выдача тепла	70-100 Гкал/ч
Параметры пара	Насыщенный пар, $p=6.7\text{МПа}$, $T\sim 282.9^\circ\text{C}$
Опресненная вода	200 000 – 350 000 м ³ /day
КПД	36%
КИУМ	90%
Топливная компания	7-8 лет (стандартное топливо UO_2 обогащения 16.3%) Возможно использование других видов топлива и работа в замкнутом топливном цикле.
Вес реакторной установки	~280 тонн
Размеры реакторной установки	4.5 / 8.2 метр (диаметр/высота)
Срок эксплуатации	60 лет
Маневренность	50-100%Nном со скоростью до 0,5-2%Nном в минуту
Проектное землетрясение Максимальное расчетное землетрясение	7 (максимальное горизонтальное ускорение 0,12g) 8 (максимальное горизонтальное ускорение 0,25g)
Вероятность разрушения	1×10^{-7} на РУ в год

КОНКУРЕНТНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ (ПО ОТЧЕТУ “PROJECTED COSTS OF GENERATING ELECTRICITY – 2015 EDITION”)

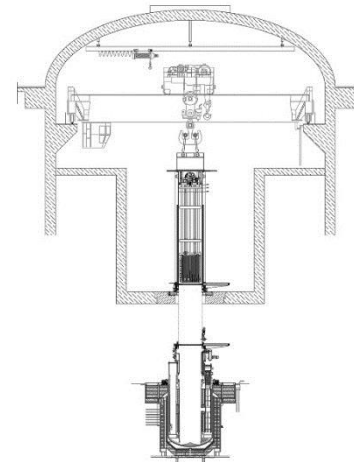
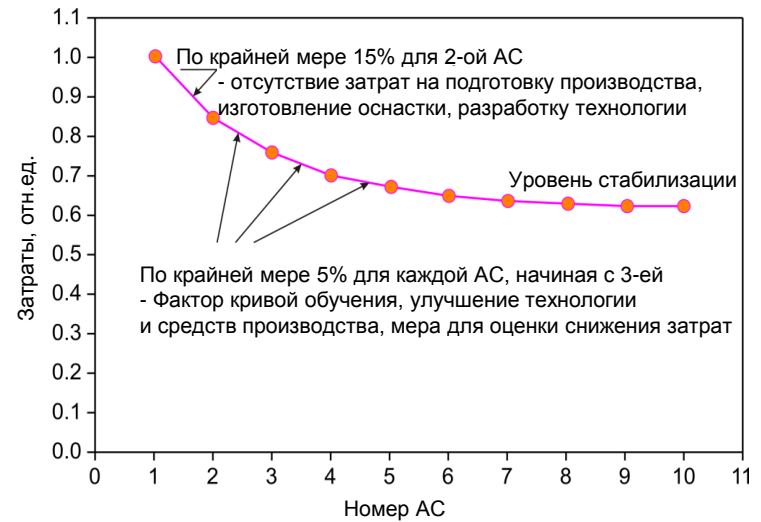
Значения LCOE для серийной АС с СВБР
(САС 1РУ, САС 2РУ и САС 4РУ; ставка дисконтирования 7%)



Также приведены значения LCOE для:

- АЭС большой мощности (подпись - «АЭС»),
- ветрогенерации (подпись - «Ветер»),
- ТЭС на угле (подпись - «Уголь»),
- ТЭС на природном газе (подпись - «Газ»),
- солнечной электростанции (фотоэлектрические элементы) (подпись - «Солнце»)

Площадка АР1000
Площадка ОПЭБ



Пути оптимизации ОПЭБ

- Снижение стоимости оборудования и СМР (эффект масштаба и кривая обучения)
- Снижение удельных затрат (эффект модульности)
- Оптимизированный состав персонала
- Снижение расходов на собственные нужды
- Увеличение мощности модуля РУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Успешно завершена стадия проекта по получению лицензии на размещение ОПЭБ. Проводится оптимизация технико-экономических параметров ОПЭБ для перехода ко второй стадии – подготовка документации на получение лицензии на сооружение.
2. АСММ с РУ СВБР по своим характеристикам безопасности, возможностям работы в замкнутом топливном цикле (без ограничений по сырьевой базе), возможностям многоцелевого использования, поддержки режима нераспространения и гибкости технических решений при внедрении в энергетику могут рассматриваться в качестве возможной опции для обеспечения энергией региональных потребителей для устойчивого развития.
3. Консервативные решения, примененные в ОПЭБ, позволяют рассчитывать на существенную оптимизацию технико-экономических характеристик как ОПЭБ, так и серийных АС.
4. Обоснованные масштабы оптимизации стоимости САС позволяют рассматривать в качестве достижимых целевые ТЭХ САС на уровне лучших альтернативных источников электроэнергии, включая тепловые электростанции на угле и газе (при условии налога на выбросы парниковых газов – 30\$/t CO₂), АЭС большой мощности и возобновляемые источники энергии.