



ОБЩЕСТВЕННЫЙ
СОВЕТ

Круглый стол Отечественного Ядерного общества
Малая ядерная энергетика

Обнинск, 13 октября 2022 г.

История, перспективы и проблемы малой ядерной энергетики

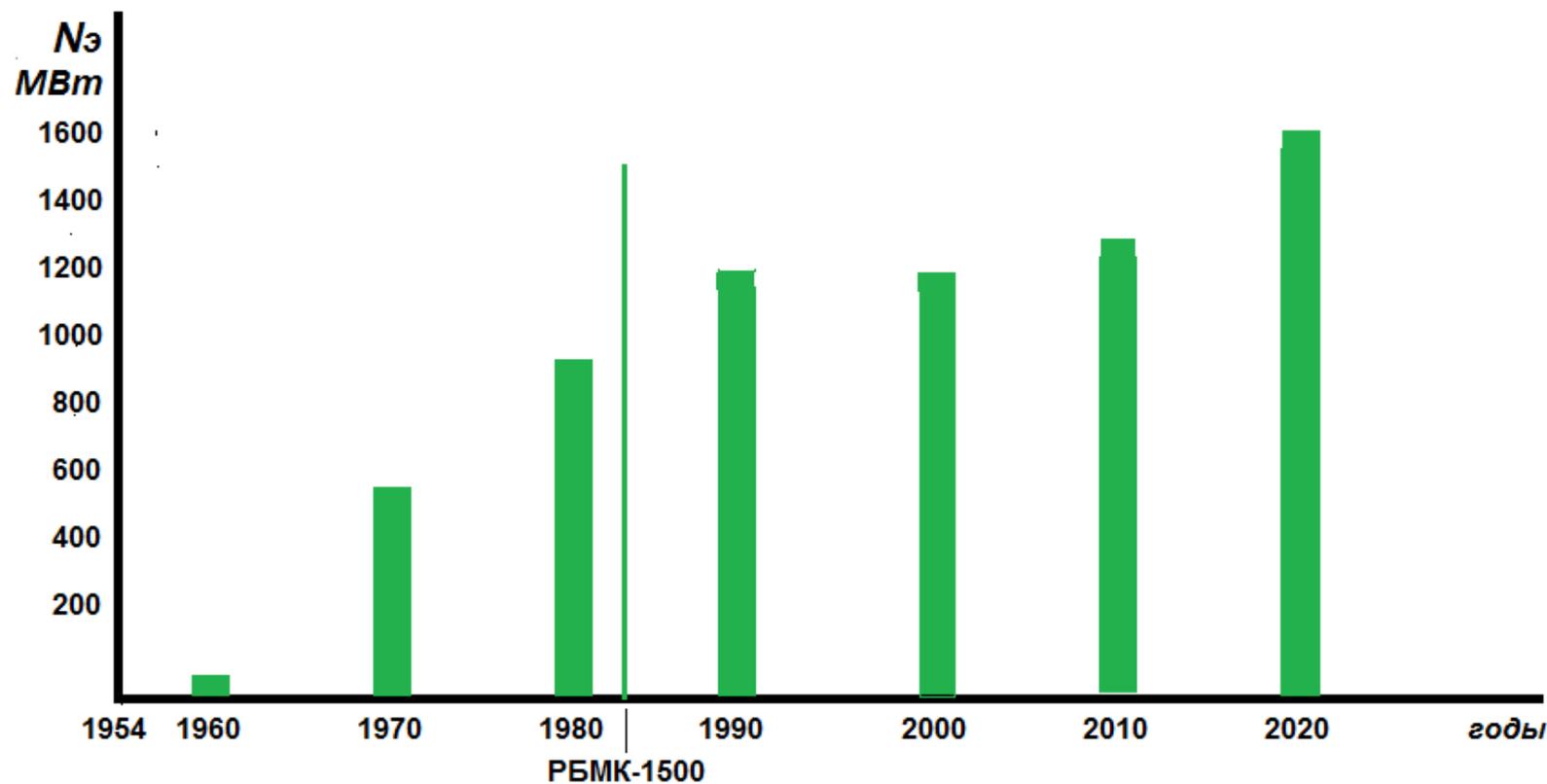
Муратов Олег Энверович, к.т.н.

Общественный совет Госкорпорации «Росатом»

ИСТОРИЯ МИРОВОЙ ЯЭ

Годы	Реактор	Мощность, МВт(э)	Страна
1954	AM	50	СССР
1956- 1960	GCR, PWR	60	Великобритания, США
1960- 1970	АМБ, GCR, ВВЭР(PWR)	100-600	СССР, Великобритания, США
1970- 1990	ВВЭР(PWR), AGR, BWR, РБМК, PHWR	440-1200	СССР, Великобритания, США, Франция, Германия, Япония, Канада
1990- 2010	ВВЭР(PWR), AGR, BWR, РБМК, PHWR	660-1300	Россия, США, Франция, Япония, Китай, Индия, Корея
2010- 2020	ВВЭР(PWR), BWR	1000-1600	Россия, Франция, Япония, Китай, Индия, Корея

МОЩНОСТИ МИРОВОЙ ЯЭ



Факторы повышения/снижения мощности

ПОВЫШЕНИЕ	СНИЖЕНИЕ
Экономическая эффективность Стоимость: 1200-1; 600-1,3; 300-1,6; 150-2,5	Требования сетей
Работа в базовом режиме	Модульный дизайн
Затраты на сооружение	Серийная поставка
Обеспечивающая инфраструктура	Проектное финансирование

Фактор риска	Влияние	
	Большая ЯЭ	Малая ЯЭ
Потери от простоя ЭБ	+	-
Инфраструктура обращения с ЯТ (ОЯТ)	+	-
Серийное заводское изготовление	+	-
Вывод из эксплуатации	+	-

НЕОБХОДИМОСТЬ МАЛОЙ ЯЭ

- Развивающиеся страны с неразвитыми сетями и недостаточной инфраструктурой;
- Автономные поселения и энергозатратные производственные комплексы;
- Централизованное теплоснабжение и опреснение морской воды;
- Неэлектрические применения: производство водорода, газификация угля и т.д.;
- Отдаленные северные регионы со сложным доступом и высокой стоимостью энергии из ископаемого топлива;
- Островные территории, горные районы и т. д.

НЕОБХОДИМОСТЬ МАЛОЙ ЯЭ



- ① Ограниченная потребность в мощности
- ② Отсутствие / слабое развитие сетевого хозяйства
- ③ Ограниченный потенциал привлечения финансирования
- ④ Заинтересованность в сокращении выбросов CO₂
- ⑤ Высокие цены на электроэнергию

Возможные заказчики АЭС средней и малой мощности

- Страны с большой площадью островных/северных территорий
- Государства, заинтересованные в развитии атомной отрасли, но не готовые к масштабным инвестициям
- Индустриальные потребители, в частности, добывающие активы
- Генерирующие компании, замещающие угольные ТЭС
- Удаленные объекты стратегического назначения

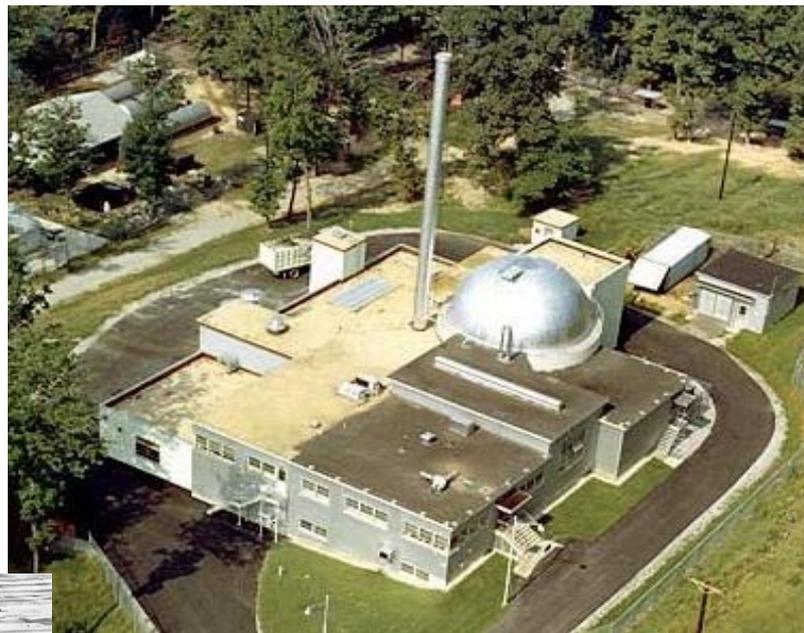
ММР: КОНЦЕПЦИЯ МАГАТЭ

- Серийное изготовление, загрузка топлива, испытания в заводских условиях и доставка готовых ЭБ на площадку;
- Интегральная компоновка РУ: АЗ, ПГ, КД и др. оборудование собрано в едином корпусе – моноблоке;
- Отсутствие на площадке инфраструктуры по обращению с ОЯТ;
- Увеличенный интервал перезарядки (5...30 лет) с обеспечением экономики и безопасности;
- Пассивные системы безопасности и упрощенный рабочий контроль работы реактора;
- Проектирование АСММ как модулей, способных работать в пределах станции средней и большой мощности

ММР, реализованные по АНРР

Реактор	Мощность, т/э, МВт	Топливо	Годы
SM-1	10/1,7	93%	1957-1973
SL-1	0,4/0,2	93%	1958-1961
PM-2A	2 МВт(э) + пар	93%	1961-1963
ML-1	0,3 МВт(э)	93%	1961-1966
PM-1	1,25 МВт(э) + пар	93%	1962-1968
PM-3A	1,75 МВт(э) + пар	93%	1962-1972
SM-1A	2 МВт (э) + пар	93%	1962-1972
MH-A1 Sturgis	10 МВт(э) + опреснение	7%	1967-1975

ММР, реализованные по АНРР



SM-1



PM-2A – собран из готовых компонентов
за 77 дней бригадой 18 чел.

ММР, реализованные по АНРР



ML-1

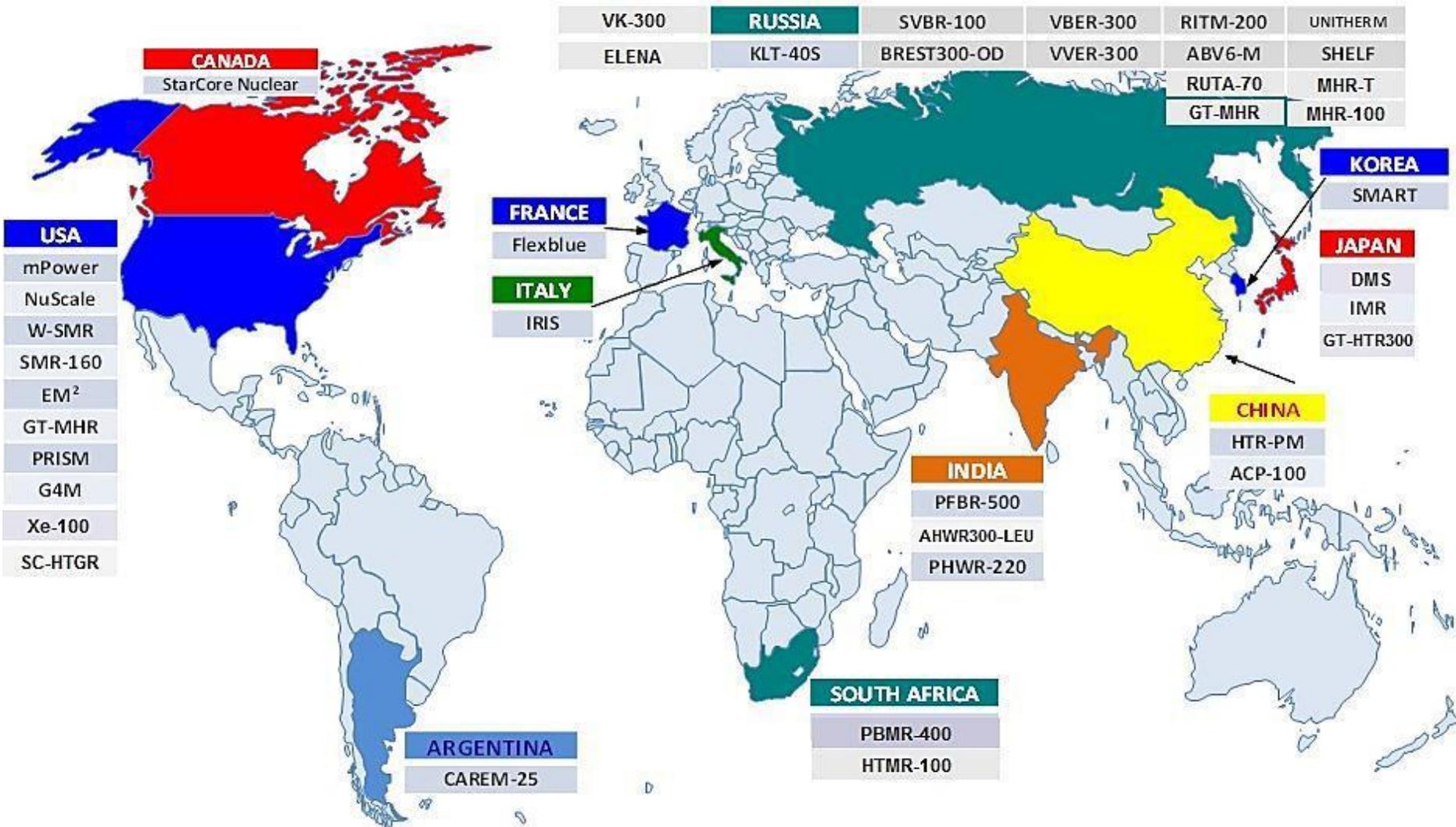


MH-1 Sturgis

Первые достижения реализованных проектов

- **SM-1:**
 - АЭС с защитной оболочкой;
 - использование нержавеющей стали для оболочки ТВЭЛов;
 - АЭС в США для подачи электроэнергии в коммерческую сеть
- **SM-1A:**
 - восстановительный отжиг корпуса реактора;
 - замена парогенератора в США
- **SL-1:**
 - действующая энергетическая установка с кипящим реактором
- **PM-2A:**
 - переносная модульная АЭМ в сборном корпусе
- **PM-3A:**
 - использование ядерной энергии для опреснения
- **ML-1:**
 - наземная мобильная АЭС
- **MH-1A:**
 - плавучая АЭС, смонтированная на барже

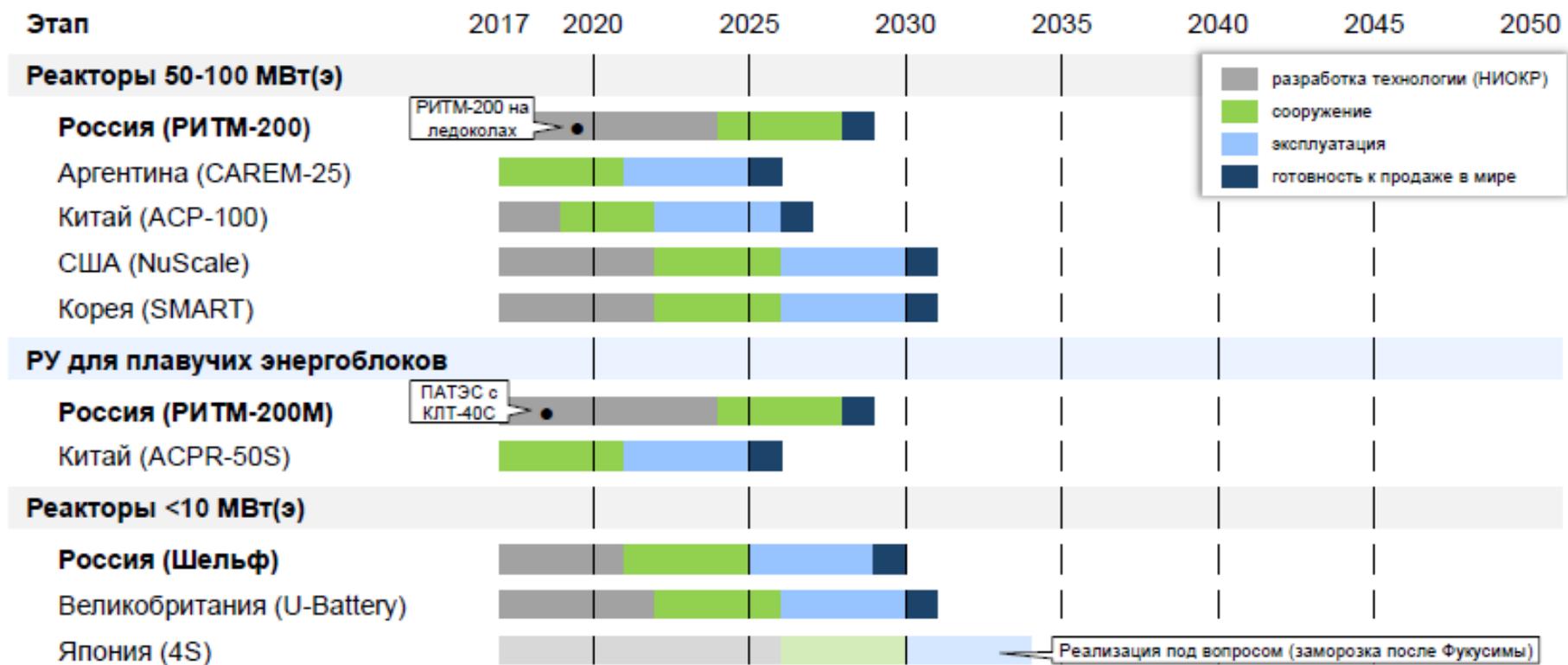
МИРОВЫЕ ПРОЕКТЫ АСММ



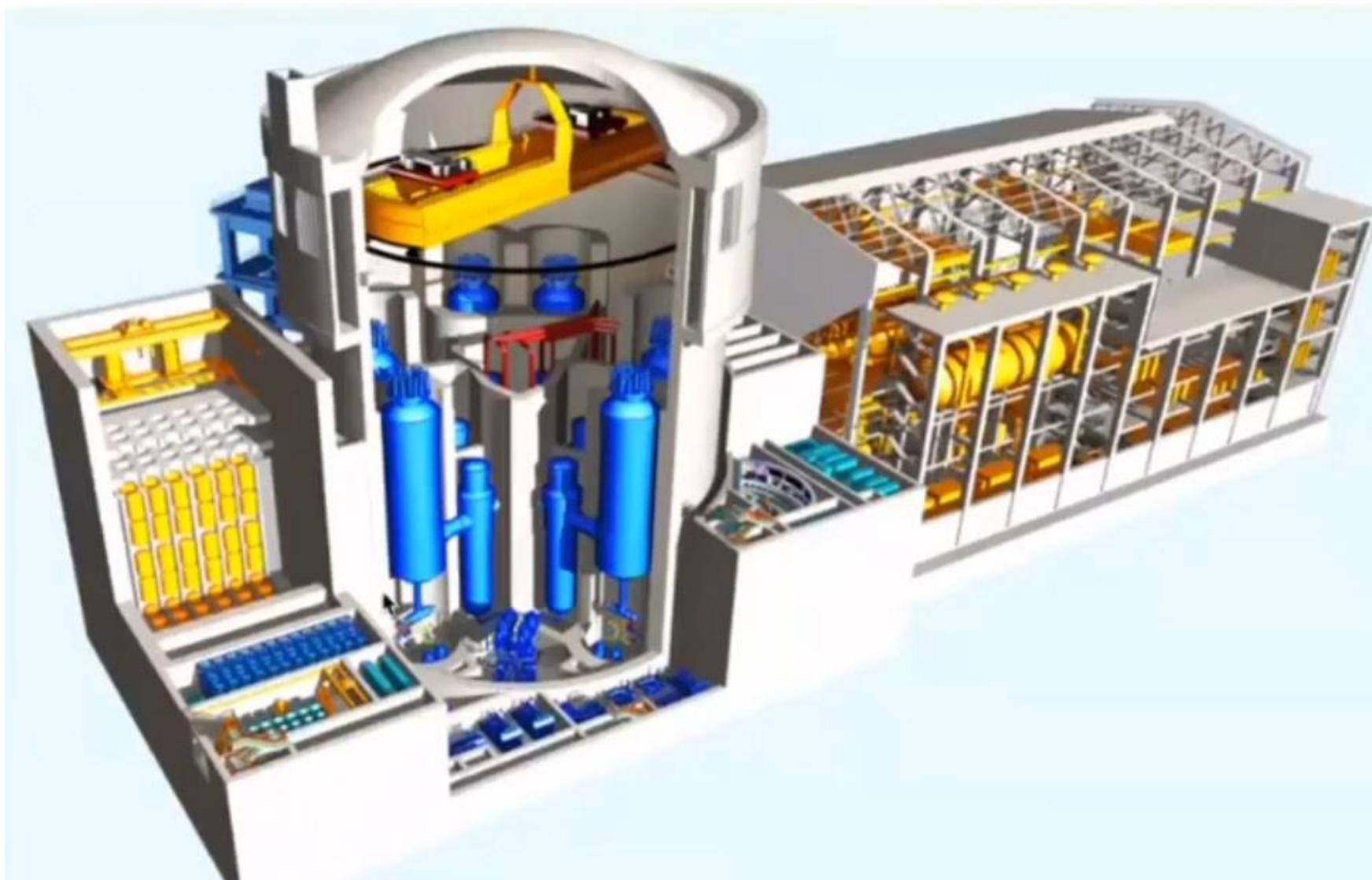
Концепции и проекты ММР

Тип реактора	Страна-разработчик
Легководные (с водой под давлением и кипящие) – 25	Аргентина, Канада, Чехия, Великобритания, Китай, Корея, Россия, США, Франция, Япония
Легководные на базе судовых установок – 6	Россия, Китай
Высокотемпературные газоохлаждаемые – 14	Китай, Россия, Великобритания, Канада, США, ЮАР, Япония
Реакторы на быстрых нейтронах – 11	Россия, Канада, США, Япония, Корея, Швеция
Жидкосолевые – 10	Канада, Китай, Дания, США, Япония
Микрореакторы – 6	Чехия, Япония, Великобритания, США

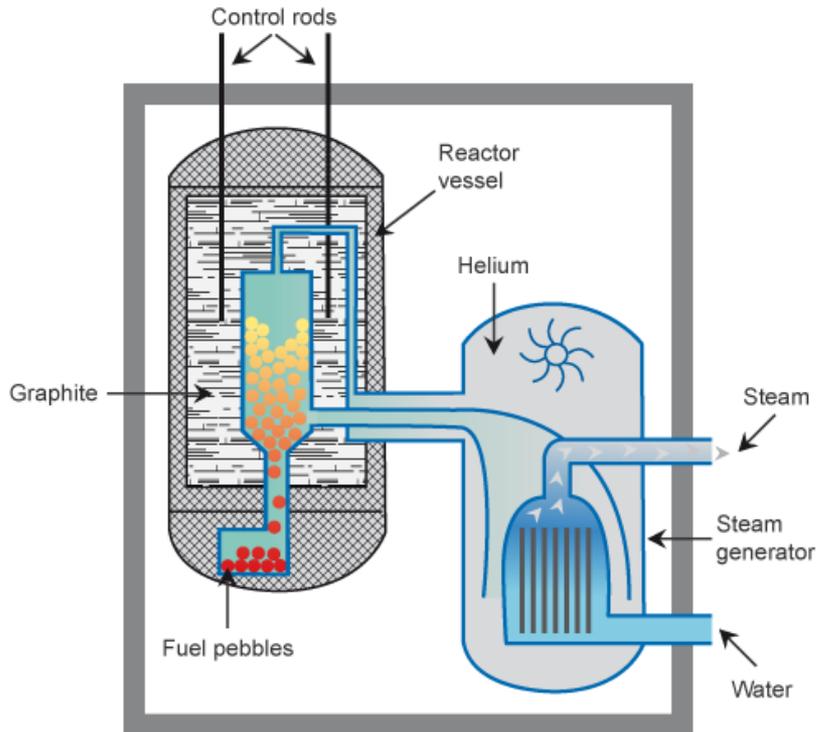
РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОМ ММР



ЭБ с реактором НТР-РМ



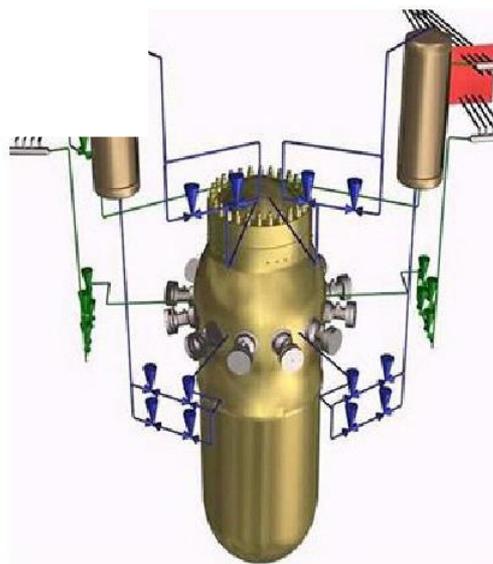
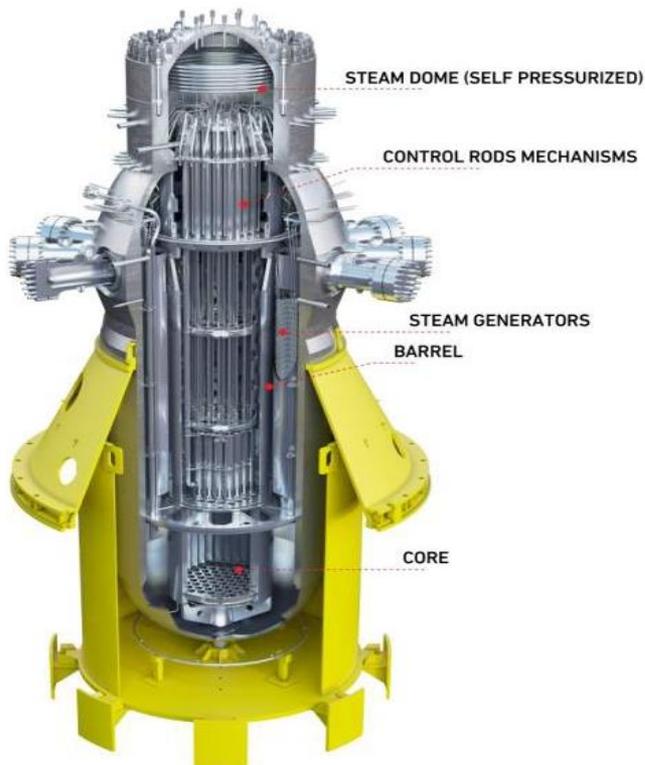
HTR-PM (Китай)



Технические характеристики

Высокотемпературный газоохлаждаемый	Гелий
Мощность, МВт, (т/э)	250/210
Температура теплоносителя, °С, вх./вых.	250/750
Компания топлива, мес.	35
Топливо	Шаровые ТВЭЛы, 8,5%, UO_2+UC_2+UCO

CAREM-25 (Аргентина)



Технические характеристики

Мощность, МВт, (т/э)	100/27
-------------------------	--------

Назначенный срок службы, лет	60
---------------------------------	----

Температура теплоносителя, °С, вх./вых.	284/326
---	---------

Давление, МПа	12,2
---------------	------

Компания топлива, мес.	17
---------------------------	----

Топливо	UO ₂ , 3,4%
---------	---------------------------

АСР-100 (Китай)



Технические характеристики

Мощность, МВт, (т/э)	310/100
Назначенный срок службы, лет	60
Температура теплоносителя, °С, вх./вых.	283/323
Давление, МПа	15
Компания топлива, мес.	24
Топливо	UO ₂ , 4,2 % ¹⁹

ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОЕКТЫ

Реактор, страна	Тип, N ₁ /N ₂ , МВт	Компоновка, габариты	Топливо, кампания, мес.	Системы безопасности	Статус проекта
SMART, Корея	PWR, 330/100	Интегральная 18,5×6,5	UO ₂ , <5%, 57 ТВС, 33	Активные, пассивные.	Лицензирован
NuScale США	PWR, 160/45	Интегральная 19,8×2,8	UO ₂ , 4,95% 37 ТВС, 24	Активные, пассивные.	Стадия лицензирова ния.
mPower США	PWR, 575/195	Интегральная 27,4×4,15	UO ₂ , <5%, 69 ТВС, 24	Пассивные.	Рабочий проект

Реализуемые проекты АСММ

Критерии	РИТМ-200Н	АСР-100	CAREM-25	SMART	NuScale
Реактор	Интегральн. ВВР	Integral PWR	Integral PWR	Integral PWR	Integral PWR
Мощность, т/э, МВт	165/52	310/100	100/27	330/100	160/50
Референтн ость	4 УАЛ	Строительс тво	Строительс тво	Лицензирова н	В стадии лицензирова ния
Системы безопаснос.	Активные и пассивные	пассивные	пассивные	Активные и пассивные	пассивные
Срок службы, лет	60	60	60	60	40
Габариты ПГБ, в×д, м	8,5×3,3	10×3,35	11×3,2	18,5×6,5	17,8×3
Топливо, % компания, сут	19,6 2000	3,0 730	3,1 425	4,9 990	4,9 730
Маневренн ость	6 % N _{НОМ} /МИН	Нет			21

Проблемы реализации АСММ

- Существующие НП по созданию и эксплуатации АЭС не учитывают специфику ММР, физика которых позволяет бороться с потенциальными аварийными ситуациями естественным путем, без привлечения нескольких независимых активных систем безопасности;
- Требования к АСММ такие же, как и к АЭС с блоками-миллионниками;
- Действующие НП и мировой опыт решает вопросы обращения с ядерным топливом в традиционных подходах, предполагающих его перегрузку на площадке станции;
- В соответствии с международными правилами и национальными нормативами транспортировка ЯМ любыми видами транспорта осуществляется только в специальных контейнерах, отсутствуют нормативы по перевозке ЭБ с загруженным свежим и отработавшим топливом;
- Необходимо решение задачи международного нормативно-правового обеспечения транспортирования плавучих ЭБ с загруженным топливом;
- Необходимо разработать правила и методы физической защиты АСММ при их транспортировании;
- **Форум регуляторов МАГАТЭ разрабатывает стандарты безопасности для ММР, которые помогут национальным органам регулировать этот класс ядерных энергетических реакторов**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Факторами промышленного применения ММР являются повышение спроса на электроэнергию, необходимую для экономического роста, и растущий запрос на энергетическую безопасность и низкоуглеродную энергетику в условиях борьбы с изменением климата;
- Малая ЯЭ устойчива в социально-экономическом плане, надежнее ВИЭ и технологий на органическом топливе, не чувствительна к метеорологическим условиям и ритмичности поставок топлива;
- АСММ с обеспечивающей инфраструктурой обеспечат жизнеспособность и экономическое развитие зон децентрализованного энергоснабжения

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**

OLEG.MURATOV@TWELL.RU