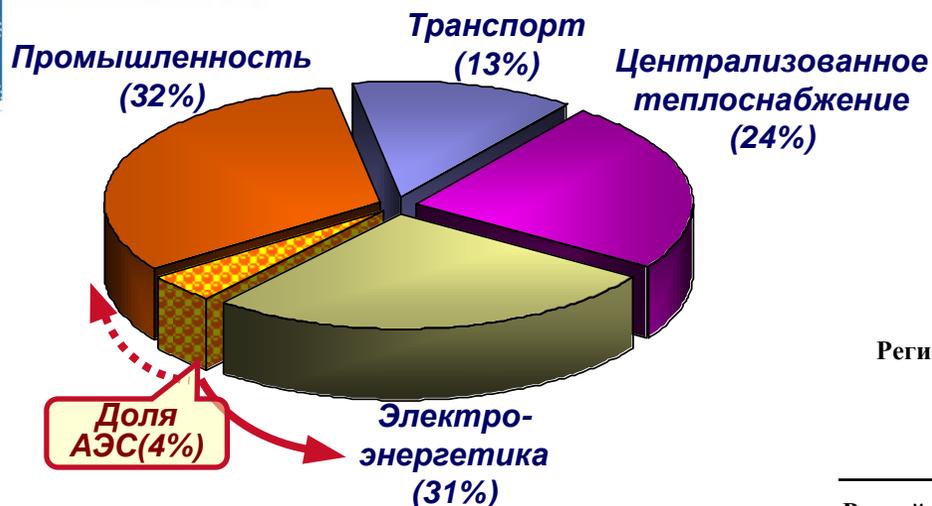


Высокотемпературные реакторы для производства водорода

В.Ф. Головки

г. Москва, 6-8 декабря, 2011

Потенциал внедрения атомной энергетики



Потребление первичного топлива по секторам экономики по состоянию на 1997 г. [1]

Общее потребление и доля первичных энергоносителей, используемых для производства электроэнергии [2]

Регион	2000			2010			2020		
	Общее потребление, Дж · 10 ¹⁸	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %	Общее потребление, Дж · 10 ¹⁸	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %	Общее потребление, Дж · 10 ¹⁸	Для производства электроэнергии, %	Доля АЭС, %
Российская Федерация	<u>30,4</u> 30,4	<u>32</u> 32	<u>4,6</u> 4,6	<u>32,0</u> 34,5	<u>36,5</u> 36,0	<u>8,0</u> 7,9	<u>33,3</u> 41,0	<u>43</u> 41	<u>12,0</u> 11,5
Всего в мире	<u>430</u> 445	<u>33</u> 33	<u>5,1</u> 5,0	<u>524</u> 597	<u>35</u> 35	<u>4,6</u> 4,7	<u>648</u> 812	<u>37</u> 38	<u>3,3</u> 4,7

Числитель – нижняя оценка; Знаменатель – верхняя оценка

- ~65% от общего потребления первичных энергоносителей используется для неэлектрического применения [2].
- Потенциал внедрения ВТГР в “неэлектрической” сфере не уступает по масштабам электроэнергетике.

[1] «Концепция энергетической политики России в новых экономических условиях», П., ЦНИИ атом. информ., 1993 г.

[2] Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века. Иллюстрация основных положений, Москва, ФГУП “ЦНИИАтоминформ”, 2001

Масштабы потребления тепла технологическими производствами (2007 г.) ^[3]

Вид производства	Млн ГДж	Млн Гкал	%
Пищевая промышленность	206,4	49,3	10,8
Легкая промышленность	26,8	6,4	1,4
Деревопереработка	46,5	11,1	2,4
Производство кокса	12,1	2,9	0,6
Производство нефтепродуктов	268,8	64,2	14,1
Химическое производство	492,8	117,7	25,8
Производство неметаллических изделий	83,7	20,0	4,4
Металлургическое производство	300,2	71,7	15,7
Машиностроение	181,3	43,3	9,5
Прочие	291,8	69,7	15,3
Всего	1910,4	456,3	100

- Лидерами по потреблению тепловой энергии являются **химическая промышленность, нефтепереработка, металлургия**
- Внедрение ядерных технологий на основе **высокотемпературных модульных гелиевых реакторов (МГР)** в промышленные энерготехнологии является актуальной задачей

[3] Статья «Развитие централизованного теплоснабжения в России», стр. 2-15. Журнал «Теплоэнергетика №12; 2009» С.П.Филиппов, Институт энергетических исследований РАН.

Россия имеет 35-летний опыт разработки ВТГР различного назначения

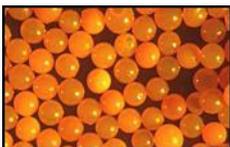
Характеристики	ВГР-50	ВГ-400	ВГМ	ВГМ-П	ГТ-МГР	МГР-Т
	ВНИИАМ	ОКБМ	ОКБМ	ОКБМ	ОКБМ	ОКБМ
Тепловая мощность, МВт	136	1060	200	215	600	600
Назначение	Выработка эл/энергии и рад. модификация материалов	Выработка эл/энергии и тепла для промышленных производств	Выработка эл/энергии и тепла для промышленных производств	Выработка тепла для нефтеперерабатывающего завода	Выработка электроэнергии	Выработка эл/энергии и водорода
Топливо/Обогащение, %	U / 21	U / 6,5	U / 8	U / 8	U / 14, Pu / 93	U / 14
Теплоноситель	гелий	гелий	гелий	гелий	гелий	гелий
Температура гелия на выходе из активной зоны, °С	810	950	950	750	850	950
Статус	Тех. проект, 1978	Тех. проект, 1987	Тех. проект, 1992	Тех. предлож., 1996	Эскизный проект, 2002	Тех. предлож., 2004

Параметры большинства разработанных проектов ВТГР хорошо отвечают требованиям технологического применения, в том числе, для производства водорода из воды

Технологии и конфигурации АС с ВТГР

Технологии

ТОПЛИВО ВТГР



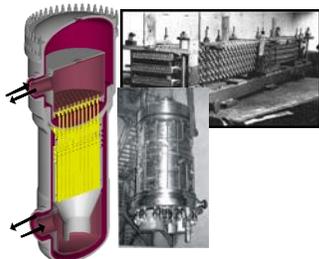
Высокотемпературные электрохимические системы



реактор



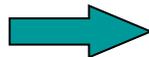
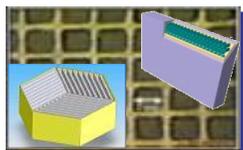
системы транспорта тепла



система преобразования энергии



топливо БГР

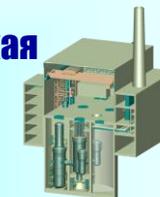


Конфигурации

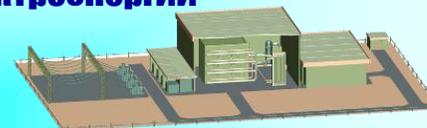
АС с прямым газотурбинным циклом ГТ-МГР (КПД до 50%)



Атомная энерготехнологическая станция (АЭТС)



Автономные энергоустановки безмашинного производства электроэнергии



АС с быстрым газоохлаждаемым реактором (БГР)



Производство водорода с использованием тепловой и электрической энергии ядерного реактора

Варианты

■ Электролиз

- эффективность ~ 36 %
- отработанная технология
- источник водорода - вода

■ Паровая конверсия метана

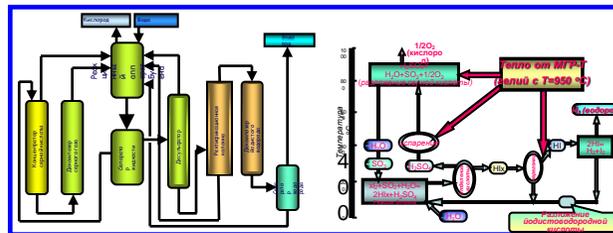
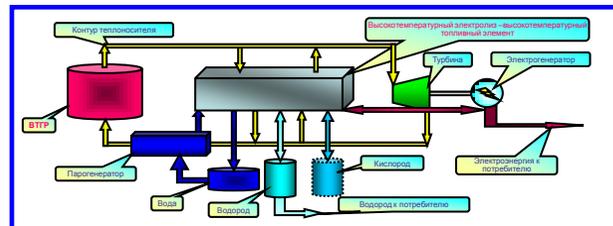
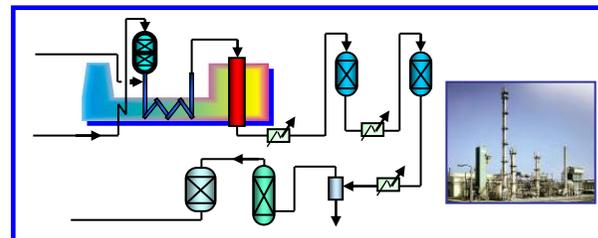
- эффективность > 80 % при > 800 °С
- отработанная технология
- источник водорода – природный газ и вода

■ Высокотемпературный электролиз

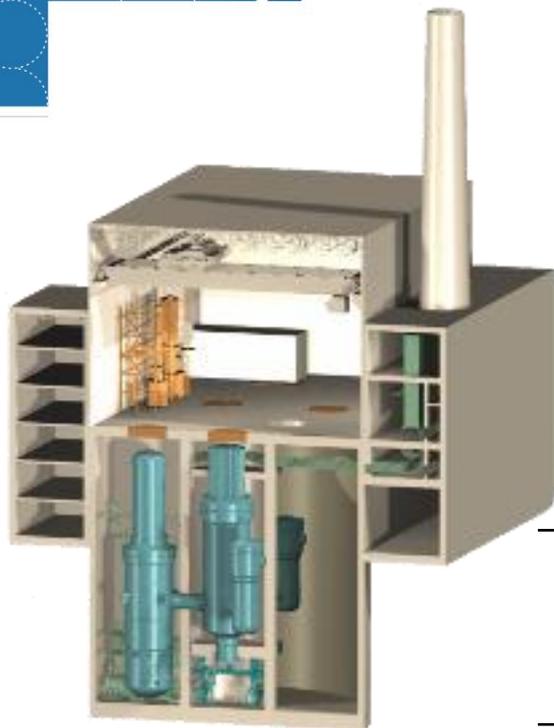
- эффективность до ~ 50 % при ~ 900 °С
- развивающаяся технология
- источник водорода - вода

■ Термохимическое разложение воды

- эффективность ~ 50 % при ~ 900 °С
- развивающаяся технология
- источник водорода - вода



Концепция и технические характеристики МГР-Т



МГР-Т – атомная энерготехнологическая станция, с высокотемпературным модульным гелиевым реактором, предназначенным для снабжения технологическим теплом промышленных процессов производства водорода и электроэнергии в прямом газотурбинном цикле.

Характеристика

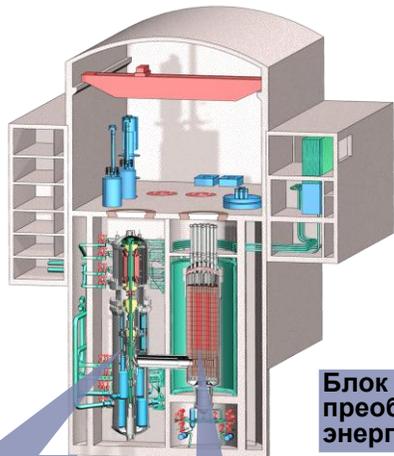
Вариант исполнения

Характеристика	Вариант исполнения		
	Паровая конверсия метана	Высокотемпературный электролиз	Термохимическое разложение воды
Мощность установки:			
-теловая мощность, МВт(т);	600	600	600
-электрическая мощность, МВт(э);	205,5	205,5	181,5
-теловая мощность, передаваемая в ХТЧ, МВт(т)	160	160	211
Температура на выходе из реактора, °С	950	950	1000
Годовой отпуск продукции:			
-водород, тыс.т;	100	54	15
-электроэнергия, млн.кВт·ч;	5302,1	0	5168,0
-тепло, тыс.Гкал	6688	2752	0

Реактор **МГР-Т** полностью основывается на конструкции реактора установки ГТ-МГР

Технические характеристики МГР-100

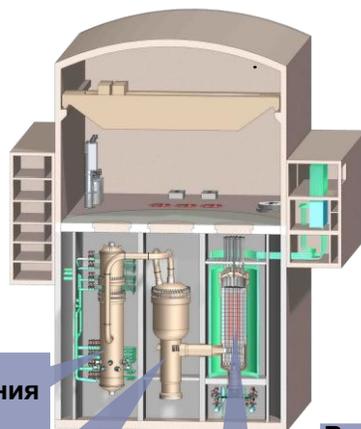
МГР-100 ГТ



Блок преобразования энергии

Реактор

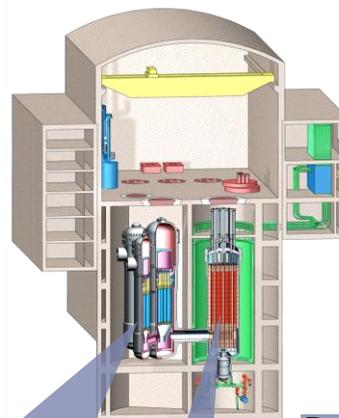
МГР-100 ВТЭ



Блок преобразования энергии

Парогенератор Реактор

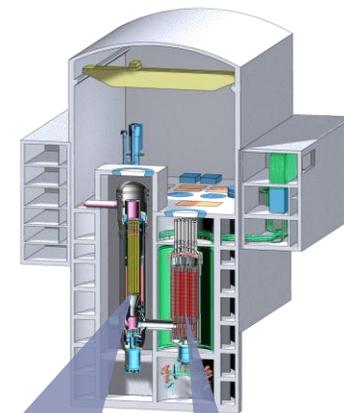
МГР-100 ПКМ



Высокотемпературные теплообменники

Реактор

МГР-100 НПЗ



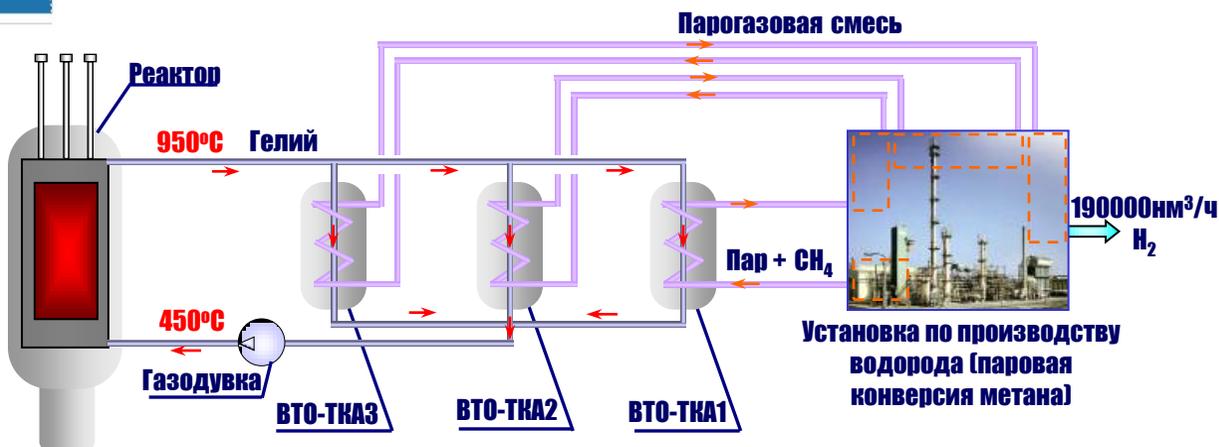
Высокотемпературный промежуточный теплообменник

Реактор

Характеристики

	МГР-100 ГТ	МГР-100 ВТЭ	МГР-100 ПКМ	МГР-100 НПЗ
	Назначение			
	Выработка электроэнергии и бытовое теплоснабжение	Производство водорода методом высокотемпературного электролиза пара	Производства водорода методом паровой конверсии метана	Высокотемпературное теплоснабжение нефтехимического производства
Тепловая мощность, МВт	215			
Температура гелия, °С:				
- на входе в а.з.	490	553	450	300
- на выходе из а.з.	795	850	950	750
Давление, МПа	5			
Производительность по водороду, т/ч	-	2,7	16,9	-

Вариант энергоисточника для производства водорода методом паровой конверсии метана

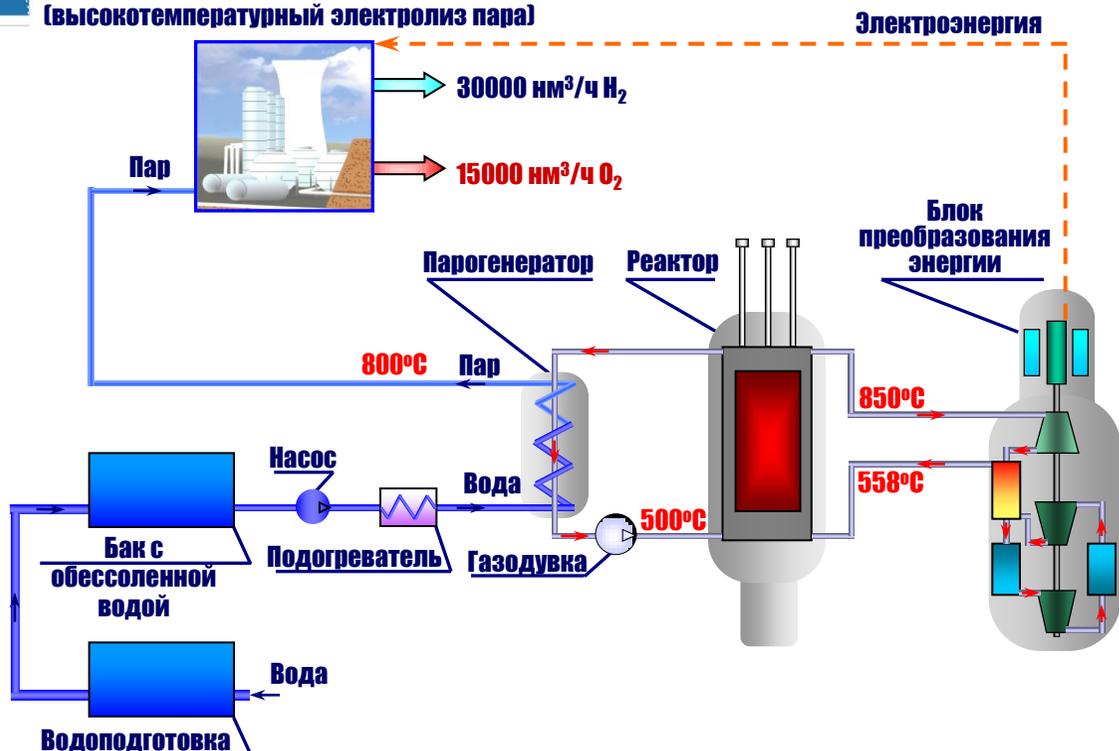


- Сочетание МГР с паровой конверсией метана позволяет ~ **в 2 раза снизить затраты на природный газ** для производства водорода при полном исключении выбросов CO₂ с дымовыми газами
- Образования водорода в ВТО не происходит

Параметр	Значение
Мощность реактора, МВт	215
Температура гелия реакторе, °С	450 / 950
Расход гелия через реактор, кг/с	81.7
Давление гелия на входе в реактор, МПа	5.0
Давление парогазовой смеси в ВТО, МПа	5.3
ВТО-ТКА1	
Мощность, МВт	31.8
Расход гелия/ парогазовой смеси, кг/с	12.1 / 43.5
Темп. парогазовой смеси, °С	350 / 650
ВТО-ТКА2	
Мощность, МВт	58.5
Расход гелия/ парогазовой смеси, кг/с	22.2 / 60.9
Темп. парогазовой смеси, °С	350 / 750
ВТО-ТКА3	
Мощность, МВт	125
Расход гелия/ парогазовой смеси, кг/с	47.4 / 101
Темп. парогазовой смеси, °С	350 / 870

Вариант энергоисточника для производства водорода методом высокотемпературного электролиза

Установка по производству водорода (высокотемпературный электролиз пара)



Параметр	Значение
Мощность реактора, МВт	215
Полезная электрическая мощность генератора, МВт	87.1
Темп. гелия в реакторе, °С	553/850
Давление гелия на входе в реактор, МПа	4.41
Темп. гелия в БПЭ, °С	850 / 558
Мощность ПГ, МВт	22.3
Темп. гелия в ПГ, °С	850 / 494
Паропроизводительность, кг/с	6.46
Температура пара на выходе ПГ, °С	800
Давление пара на выходе ПГ, МПа	4.82
Эффективность производства водорода, %	50
Производство водорода, тыс. нм³/ч	30

- Перегретый пар отводится в установку высокотемпературного электролиза на твердо-оксидных электрохимических элементах, в которой разлагается на водород и кислород.

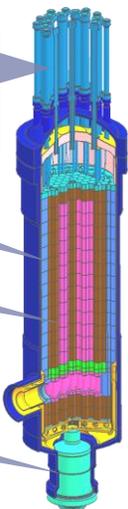
Основные компоненты энерготехнологического источника

Сборки приводов органов регулирования

Отражатель

Активная зона

Блок СООР

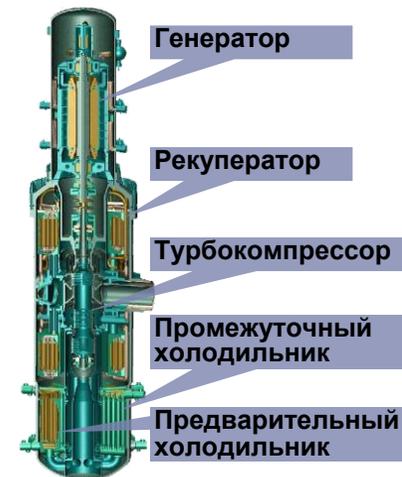


РЕАКТОР

- Кольцевая зона
- Призматические ТВС
- Низкая энергонапряженность
- Графит основной конструкционный материал
- Высокая теплоаккумулирующая способность

БЛОК ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

- Интегральная компоновка оборудования БПЭ внутри единого корпуса
- Вертикальная компоновка турбомашин
- Подвес на электромагнитных подшипниках
- Модульные рекуператоры
- Модульные предварительный и промежуточный холодильники



Генератор

Рекуператор

Турбокомпрессор

Промежуточный холодильник

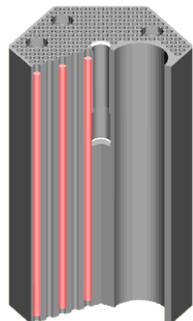
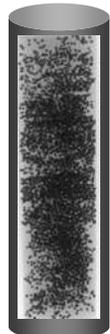
Предварительный холодильник

ТОПЛИВО

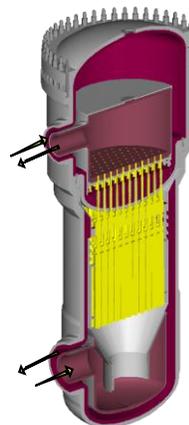
ТОПЛИВНЫЙ КОМПАКТ

ТВС

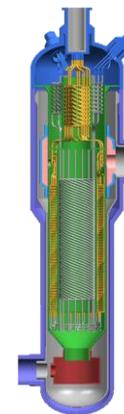
микровзл



СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТА ТЕПЛА



Высокотемпературный теплообменник

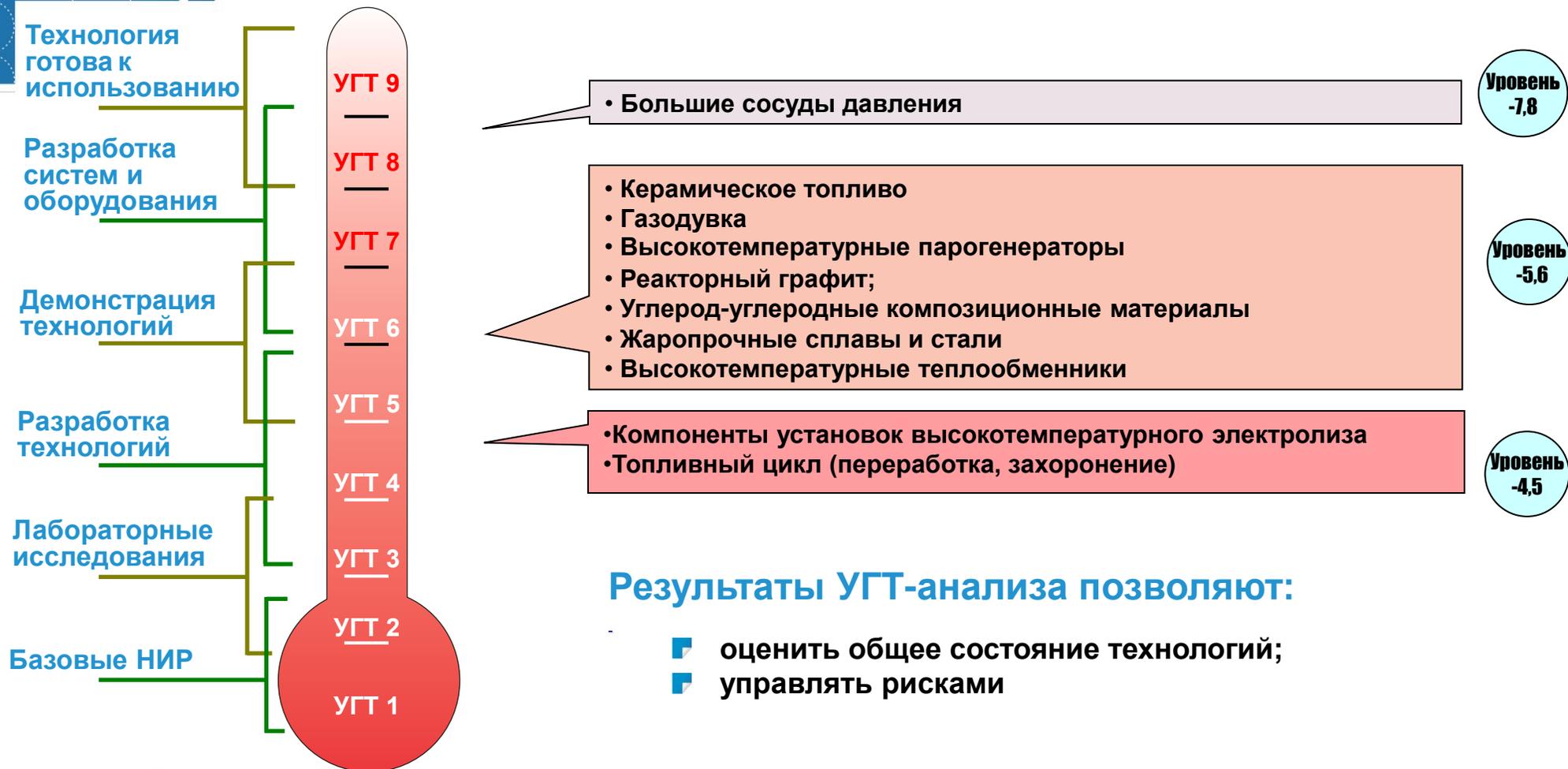


Парогенератор



Главная циркуляционная газодувка

Уровень готовности технологий (УГТ)



Результаты УГТ-анализа позволяют:

- оценить общее состояние технологий;
- управлять рисками



Заключение

- **РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МГР В РОССИИ С САМОГО НАЧАЛА НАПРАВЛЕНО НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА.**
- **УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭФФЕКТИВНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ, ЭКОЛОГИЧНОСТИ, СТАВЯТ ТЕХНОЛОГИЮ ВТГР В ЛИДИРУЮЩИЙ РЯД ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ БУДУЩЕГО. СПОСОБНОСТЬ ЭТИХ РЕАКТОРОВ ВЫРАБАТЫВАТЬ ВЫСОКОПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ТЕПЛО РАСШИРЯЕТ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЕТ РЕШИТЬ ГЛОБАЛЬНУЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ПРОБЛЕМУ, ОБЕСПЕЧИВ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО НЕИССЯКАЕМЫМ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫМ ТОПЛИВОМ (ВОДОРОДОМ ИЗ ВОДЫ) ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ТРАНСПОРТА И БЫТОВЫХ ЦЕЛЕЙ.**
- **ДОСТИГНУТЫЙ УРОВЕНЬ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МОДУЛЬНЫХ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ РЕАКТОРОВ ПОЗВОЛЯЕТ ПРИСТУПИТЬ К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ.**