

Системный подход к использованию АС малой и средней мощности как интегрирующего фактора топливно- энергетического комплекса страны

Россия, Москва

НИЦ «Курчатовский институт»

*Невиница В.А., Щепетина Т.Д., Андрианова Е.А., Фомиченко П.А.,
Баланин А.Л., Гребенник В.Н., Крылов Д.А.,*

*Возможности реализации проектов инновационных реакторных
установок повышенной безопасности средней и малой
мощности в странах СНГ, Астана, Казахстан, 20 июля 2017*

Практика свидетельствует - реализация проектов АСММ запаздывает

- Опыт показывает , что наиболее эффективно реализация проектов возможна при включении АСММ в более глобальный инфраструктурный проект - как составной части (обеспечивающей системы) когенерационных производств, в которых за счет энергии, производимой АСММ, может быть получена полезная продукция с высокой добавленной стоимостью.

Сферы консолидации АСММ и топливных отраслей для расширения ресурсной базы УВС

- Экономия газа на СТН при перекачке (до 15%) и сжижении (до 30%)
- Газификация угля;
- Производство H_2 + синт. моторных топлив, снижение радиоактивных выбросов угольной промышленности;
- Повышение качества тяжелых УВС;
- Горячая вода/пар для углубленного извлечения УВС;
- Глубокая переработка полезных ископаемых;
- Опреснение воды/безотходная технология.

За многие десятилетия жидкие моторные топлива стали системообразующим элементом для глобальной транспортной инфраструктуры. Однако, кончилось время простых решений....

Энергозатраты на добычу нефти:

1950 г. - на добычу 200 баррелей нефти тратили 1 баррель;

в 2008 г. – 1 баррель нефти тратили на добычу 5 баррелей нефти,

Сейчас в России - 1 баррель нефти тратим чтобы добыть 2 барреля нефти

Извлекаемость нефти в виде легких фракций в РФ составляет 30-35%

при сокращении отдачи встает вопрос или прекращения добычи и ликвидации созданной вокруг месторождения производственной, транспортной и социально-бытовой инфраструктуры, или о переходе на добычу оставшихся тяжелых фракций с помощью других методов. Как правило затраты на добычу возрастают в 3-4 раза.

Тепловые методы воздействия на пласты для извлечения сверхвязкой нефти

- Трудноизвлекаемые запасы тяжелой нефти по стране составляют порядка 10,5 млрд.т. – применяется закачивание водяного пара в пласты
- Например, если для выработки пара необходимы парогенераторы производительностью 10-50 т/ч пара при давлении 2,5 – 5,0 МПа, то эквивалентная мощность реакторной установки составит около 25 МВт. Это «средний» уровень мощностей из разряда реакторов малой мощности.
- Параметры пара практически совпадают с показателями современных хорошо освоенных реакторных установок водо-водяного типа (например, КЛТ-40, РИТМ-200). Помимо энергообеспечения технологических процессов, АСММ может снабжать электро- и тепло- энергией жилой поселок и других промышленных потребителей.

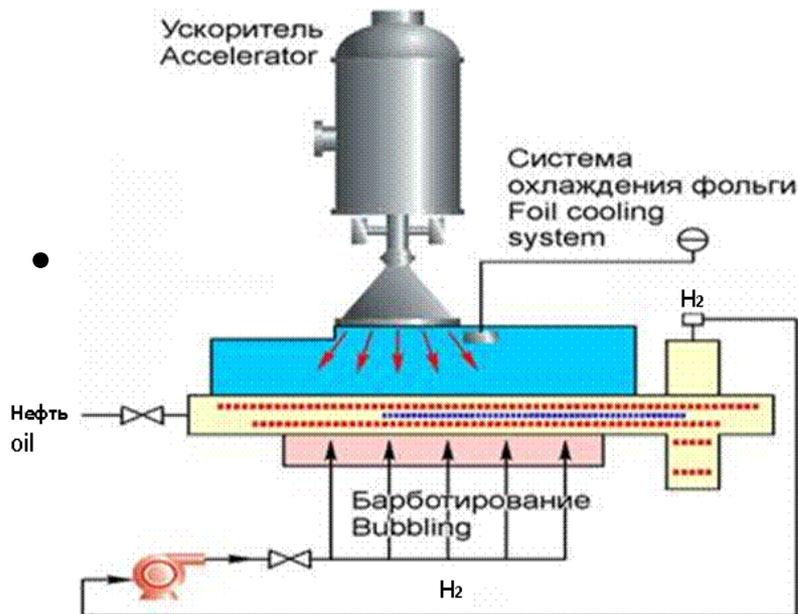
Синергетический эффект от применения АЭ к добыче и переработке тяжелой нефти

- АЭС 1 МВт : производство пара— 2т/час
- АЭС 100 МВт тепловых, 30 МВт Эл. : 210 млн кВт часов в год, 10 цент/кВт час, 21 млн. долларов в год.
- АС 100 МВт тепловых, 200 т/час пара, 40 т/час тяжелой нефти, 20 т/час синтетической нефти, 80 долларов/баррель, 840 тыс. баррелей синтетической нефти в год, 67 млн. долларов в год
- Суммарный эффект : возрастание эффективности в 3,5 раза.

Водород- ключевой элемент для производства синтетического топлива!

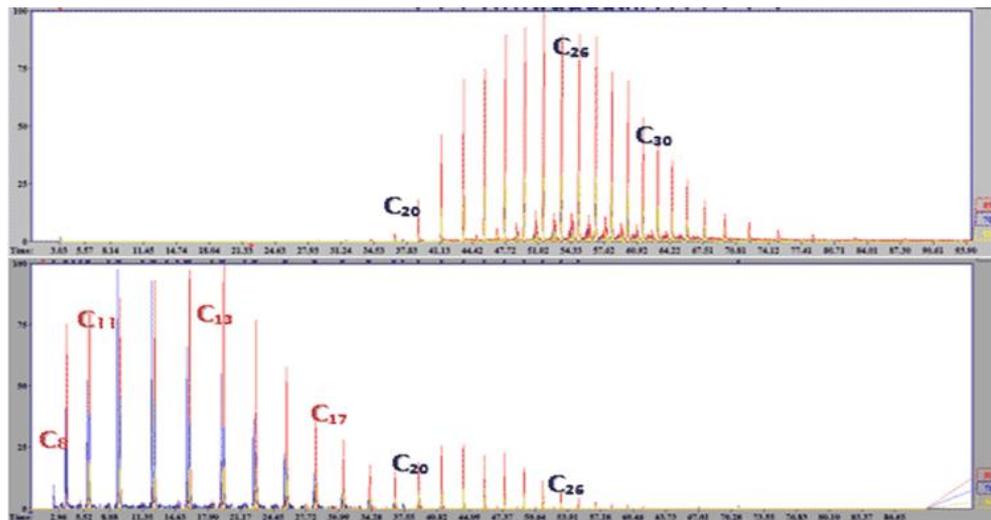
- В процессе переработки в более легкие фракции к нефти определенными способами следует добавить водород: на одну тонну сырья следует добавить от 70 до 90 кг водорода при соответствующих технологиях.
- Если производство СЖТ осуществляется не из нефти, а из угля, то на одну тонну сырья нужно добавлять 100-140 кг водорода.
- Один из перспективных методов переработки нефти – метод радиационно-термического крекинга: длинные углеводородные молекулы разбиваются на части с помощью пучка электронов из ускорителя. На образовавшиеся свободные валентные связи углерода насаживаются атомы водорода, превращая тем самым углеводородное сырье в жидкую синтетическую нефть как смесь легких углеводородов.

Метод радиационно-термического крекинга



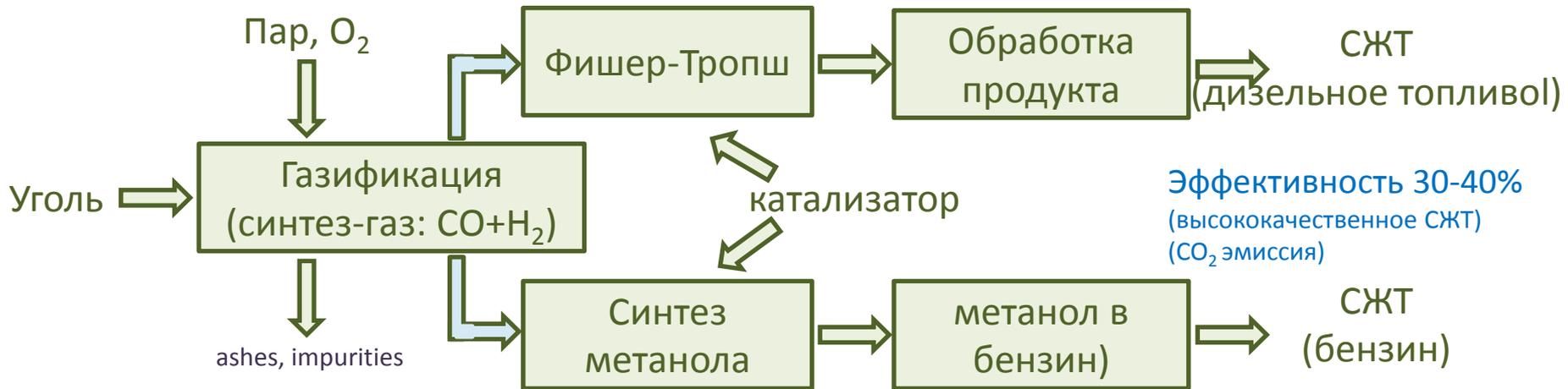
Продукты радиационно-термического крекинга модельной системы - парафина (C₂₀H₄₄ - C₃₅H₇₂). Вверху - исходная смесь твердых углеводородов, внизу - продукт радиолиза. После облучения фракция содержит, в основном, более легкие n-алканы и 1-алкены.

В результате получается спектр легких нефтепродуктов при разделении которых, в свою очередь, получают различные виды транспортного топлива.



Производство СЖТ из угля

Непрямые методы сжижения (коммерчески опробована)



Прямые методы (технология опробована на демонстрационных установках)



Большинство ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ процессов проходят при высокой температуре (350-450 °C) и высоком давлении (20-30 МПа)

Цена синтетического жидкого топлива из угля
(на примере обычного завода), цены 2015 года

Параметр	Бензин АИ-92 из нефти		Brown Coal Liquefication (метод газификации)		Метод гидрогенизации (Дальний Восток)	
	Цена (RUR/t)	Доля в цене	Цена (RUR/t)	Доля в цене	Цена (RUR/t)	Доля в цене
Добыча	4429	10,37	4080	9,55	7050,00	16,51
Переработка и транспорт	3808	8,92	20000	46,82	8111,16	18,99
Налоги (акциз, НДПИ)	25717	60,21	9874	23,12	18792,84	44,00
Прибыль	5512	12,90	5512	12,90	5512,00	12,90
Затраты продавца	3247	7,60	3247	7,60	3247,00	7,60
Полная цена	42713	100	42713	100	42713,00	100

Структура продукции в методе гидрогенизации

бензин	5,74
дизельное топливо	15,53
сера	0,03
аммиак	0,17
шлак	22,00
ТОПЛИВНЫЙ газ	19,70
аммиак	0,04
отходы	36,57 (21,28 - мазут, 15,29 – твердые отходы)
потери	0,21

Наличие в составе отходов жидкой фракции – мазута, востребованного в качестве топлива в коммунальном хозяйстве, за счет его реализации позволяет снизить себестоимость конечного продукта с 15161 руб/т, до 12823 руб/т, что позволяет повысить долю налогов в цене бензина с 44 до 49,5% при сохранении конкурентоспособности.

Технико-экономические аспекты использования ВТГР для производства СЖТ из угля

- Себестоимость производства синтетического жидкого топлива из угля существенно превышает себестоимость бензина, изготовленного из нефти.
- Синтетическое жидкое топливо становится конкурентоспособным только при условии снижения налогов и акцизных сборов.
- За счет наличия жидкой фракции (мазута) в структуре отходов, себестоимость синтетического топлива, полученного в методе гидрогенизации может быть снижена.
- Поскольку себестоимость синтетического топлива, произведенного из природного газа в 3 (три!!!) раза ниже, чем себестоимость синтетического топлива, произведенного из угля, то использование при переработке угля водорода, полученного методом паровой конверсии метана становится менее предпочтительным, чем высокотемпературный электролиз воды, либо серно-йодный процесс.
- Снижение налогов и акцизов возможно только в том случае, если данный вид энергетически технологий можно отнести к «зеленым» технологиям. (В настоящее время в России таковыми принято считать только возобновляемые энергоисточники).
- Главный вопрос: можно ли отнести энерготехнологический комплекс с ВТГР и химической переработкой угля к «зеленым технологиям»?

Угольная энергетика – проблема радиоактивных выбросов

Объект исследования	Уран	Торий	Источник информации
Турция, бурые угли	0,21 - 64	0,29 – 8,5	Bouska a.e, 1994
Австралия, бурые угли	0,04 – 4,3	0,4 - 17	Bouska a.e, 1994
Канада, каменные угли	0,07 – 7,5	0,3 - 11	Van der Flier e.a. 1985
Испания, лигниты	до 298		Martin e.a., 1970
Испания, суббитуминозные угли	6,1	5,6	Querol a.e. 1995
США, месторождения Среднего Запада	1,06 – 40,4	0,89 – 2,05	D.R. Provance a.e., 1990
США, восточная часть	1,5	4,4	Ruch a.e., 1976
США, бассейн Вермон-Крик	9 - 20		Leventhal a.e., 1987
Греция, северо-восточные районы	18-4460		Christoph e.a., 1985

Концентрации радионуклидов в углях, шлаках и в летучей золе ТЭС, Бк/кг

Изотоп	Уголь	Шлак	Летучая зола
^{238}U	9-31	56-185	70-370
^{226}Ra	7-25	20-166	85-281
^{232}Th	9-19	59	81-174
^{40}K	26-130	230-962	233-740
^{234}U	19	92	160
^{228}Th	1-20	56-81	15-130
^{210}Pb	10-26	21-185	52-1813
^{210}Po	41	13-185	196-466

Выбросы тяжелых элементов

Среднее содержание примесей, г/т

	2.7	
	1.8	
	24.7	
	11.8	
	28	
	0.15	
	12.8	
	18.8	
	10.4	

Эмиссия тяжелых металлов в Европе т/год

Тяжелые металлы	Эмиссия в атмосферу
Zn	11100
Ni	4860
Cu	3040
Pb	1930
Cr	1170
Hg	245
Cd	203

Кроме этого, основными факторами воздействия на окружающую среду являются выбросы:

- CO, CO₂ - SO₂, - NO_x - шлаки, - радиотоксичные вещества

Возможность реализации проекта энерготехнологического кластера на основе ВТГР и химической переработки угля в СЖТ в Забайкальском крае (1)

Мотивация:

- Наличие обширных ресурсов бурого угля (при стабилизации добычи на уровне 7-8 млн т/год запасов хватает более чем на 200 лет.
- Уголь этих месторождений содержит примеси урана и тория и их продуктов распада.
- Добыча угля на Уртуйском месторождении осуществляется предприятием, входящим в контур управления ГК РОСАТОМ. Как следствие – Уртуйское месторождение является **единственным в мире угольным месторождением, где внедрена культура радиационной безопасности** (осуществляется радиационный контроль добытого угля и его сортировка в зависимости от его активности)!

Возможность реализации проекта энерготехнологического кластера на основе ВТГР и химической переработки угля в СЖТ в Забайкальском крае (2)

Перспективы производства СЖТ из угля:

- Совместный проект горнорудного дивизиона Росатома "Атомредметзолото" (АРМЗ) и китайской государственной нефтегазовой корпорации Sinoprec по строительству в Забайкальском крае завода по переработке угля в синтетическое топливо вошел в "дорожную карту" по развитию сотрудничества между Россией и Китаем в угольной сфере, (сообщение пресс-службы АРМЗ). "Дорожная карта" была актуализирована по итогам прошедшего в Пекине очередного заседания российско-китайской рабочей группы по сотрудничеству в угольной сфере.
- Размещение завода по переработке угля в дизельное топливо предполагается на базе производственной площадки ОАО "Приаргунское производственное горно-химическое объединение" (Краснокаменск Забайкальского края, входит в контур управления АРМЗ)".
- Цель проекта по строительству в Краснокаменске завода мощностью 500 тысяч тонн на основе китайской технологии CTL — создание высокотехнологичного промышленного комплекса по переработке угля с получением синтетического дизтоплива и другой сопутствующей химической продукции.

**Запасы бурого угля и среднее содержание естественных радионуклидов в месторождениях Забайкальского края
(Г.П. Сидорова. Д.А. Крылов, 2016)**

Месторождение	Запасы угля, млн.т	Содержание урана, г/т	Содержание тория, г/т
Окино-Ключевское	288	4,7	1,8
Татауровское	495,8	4,8	1,8
Харанорское	810	4,8	1,6
Уртуйское	72,6	18,0	2,8
Кутинское	82,5	27,0	1,0
Средневзвешенное по всем месторождениям	-	6,4	1,7

Дорожная карта ввода и вывода энергоблоков до 2035 (исходный сценарий)

Год	Ввод	Вывод
2015		
2016	НВАЭС бл.3 417 МВт (ВВЭР-440)	
2017		
2018	ЛАЗС бл.1 1000 МВт (РБМК-1000)	
2019	Билиб АЭС бл.2 12 МВт (ЭГП-6)	Билиб АЭС бл.1 12 МВт (ЭГП-6)
2020	ЛАЗС бл.2 1000 МВт (РБМК-1000)	Билиб АЭС бл.3 12 МВт (ЭГП-6)
2021	Курская АЭС бл.1 1000 МВт (РБМК-1000)	Билиб АЭС бл.4 12 МВт (ЭГП-6)
2022		
2023		
2024	Белоярская бл.3 600 МВт (БН-600)	Курская АЭС бл.2 1000 МВт (РБМК-1000)
2025		ЛАЗС бл.3 1000 МВт (РБМК-1000)
2026		
2027		Смоленская бл.1 1000 МВт (РБМК-1000)
2028		Курская АЭС бл.3 1000 МВт (РБМК-1000)
2029		
2030		Смоленская бл.2 1000 МВт (РБМК-1000)
2031		
2032		НВАЭС бл.3 417 МВт (ВВЭР-440)
2033		Кольская бл.1 440 МВт (ВВЭР-440)
2034		Кольская бл.2 440 МВт (ВВЭР-440)
2035		Смоленская бл.3 1000 МВт (РБМК-1000)

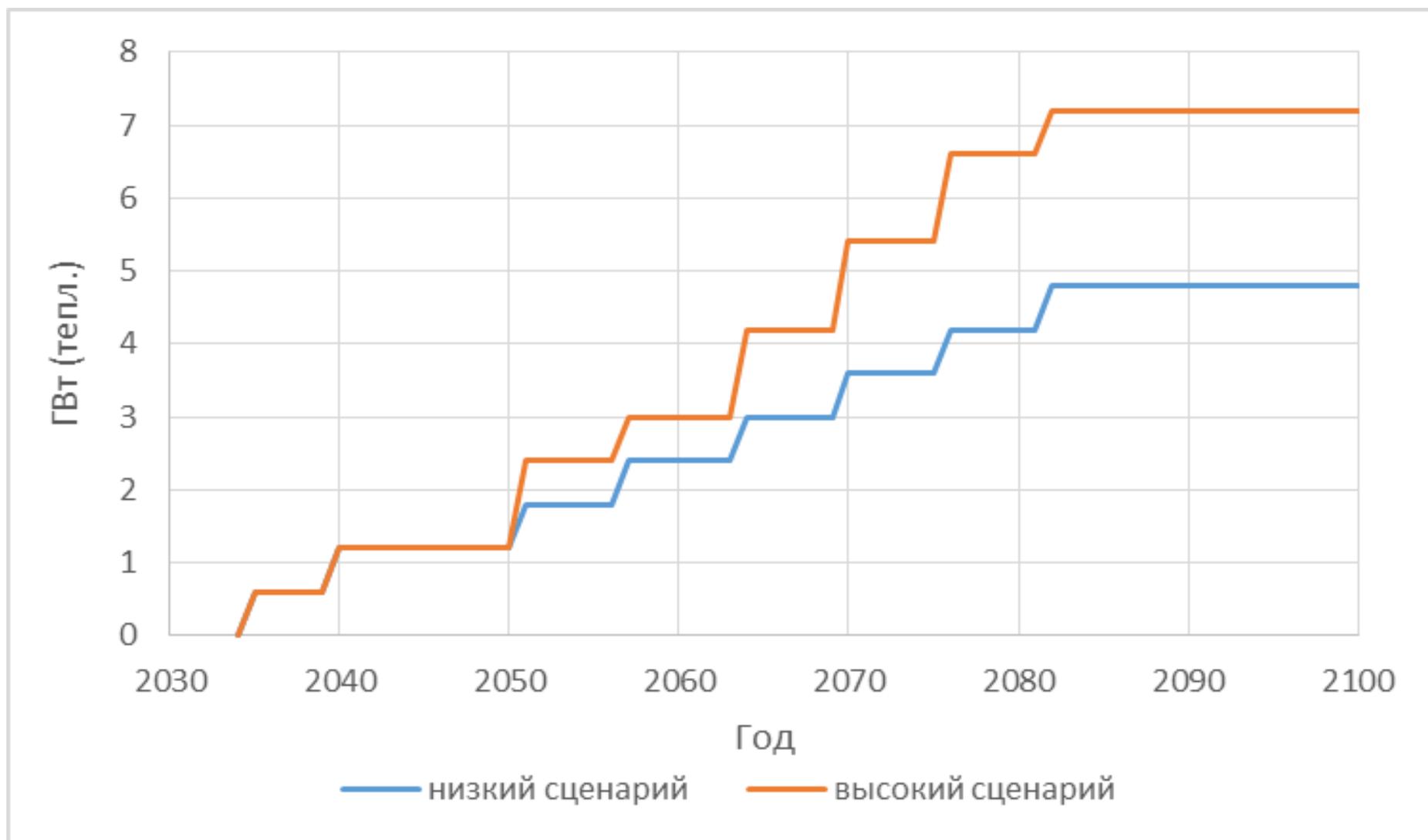
Год	Ввод	Вывод
2015	Белояр. бл. 4 880 МВт (БН-800)	
2016	НВАЭС-2 бл.1 1195,4 МВт (ВВЭР-1200)	
2017	ЛАЗС-2 бл.1 1198,8 МВт (ВВЭР-1200)	
2018	НВАЭС-2 бл.2 1195,4 МВт (ВВЭР-1200)	Ростов бл. 4 1070 МВт (ВВЭР-1000)
2019	ЛАЗС-2 бл.2 1198,8 МВт (ВВЭР-1200)	
2020		
2021		
2022	ЛАЗС-2 бл.3 1198,8 МВт (ВВЭР-1200)	Курск-2 бл.1 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)
2023	Курск-2 бл.2 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	
2024		
2025	ЛАЗС-2 бл.4 1198,8 МВт (ВВЭР-1200)	Курск-2 бл.3 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)
2026	Курск-2 бл.4 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	ЦентрАЭС бл.1 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)
2027	НижАЭС бл.1 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	СеверскАЭС бл.1 300 МВт (БРЕСТ-300)
2028	СмолаАЭС бл.1 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	БелоярАЭС бл.5 1220 МВт (БН-1200)
2029	НижАЭС бл.2 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	ЦентрАЭС бл.2 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)
2030	СмолаАЭС бл.2 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	ТатАЭС бл.1 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)
2031	Южно-Уральская бл.1 1220 МВт (БН-1200)	
2032	ТатАЭС бл.2 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	
2033	СмолаАЭС бл.3 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	
2034	Южно-Уральская бл.2 1220 МВт (БН-1200)	
2035	Новая АЭС 1255 МВт (ВВЭР-ТОИ)	

Производство СЖТ из угля в Забайкалье

С учетом того, одна тонна энергетического угля дает выход примерно в 1200 м³ синтез-газа, что в свою очередь позволяет получить приблизительно 530-570 кг жидкого синтетического топлива, запасов угля на Уртуйском и Кутинском месторождениях хватит, например, для обеспечения завода с производительностью 1000 тыс. тонн жидкого топлива в год в течение 80 лет.

- для производства СЖТ в объеме 1 т/час (24 т/сут) требуется бурого угля 1,75 т/час (42 т/сут) и мощность ВТГР 12,7 МВт (т).
- В качестве реперного блока принят модульный реактор малой/средней мощности 600 МВт(т). Таким образом, первый реактор в энерго-технологическом кластере обеспечит переработку 725 тыс. т угля в год с выработкой 416 тыс. т. СЖТ.

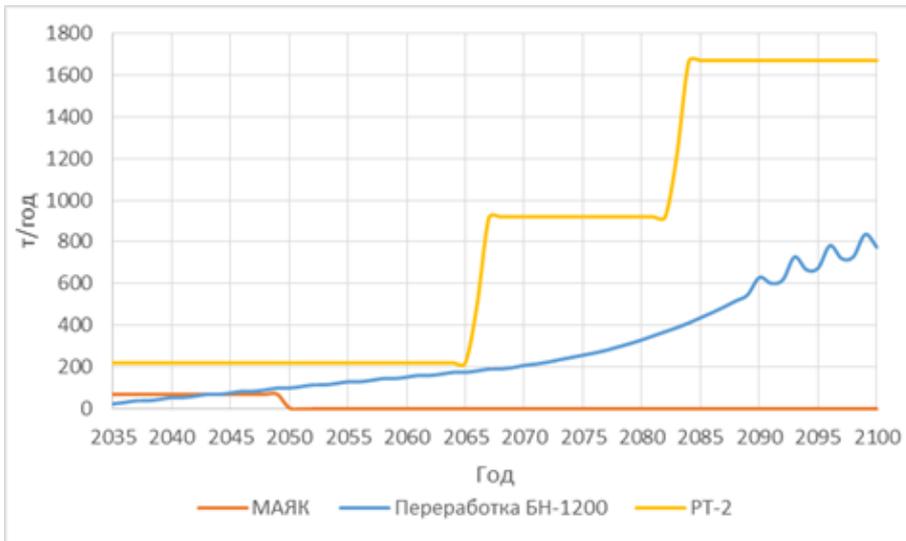
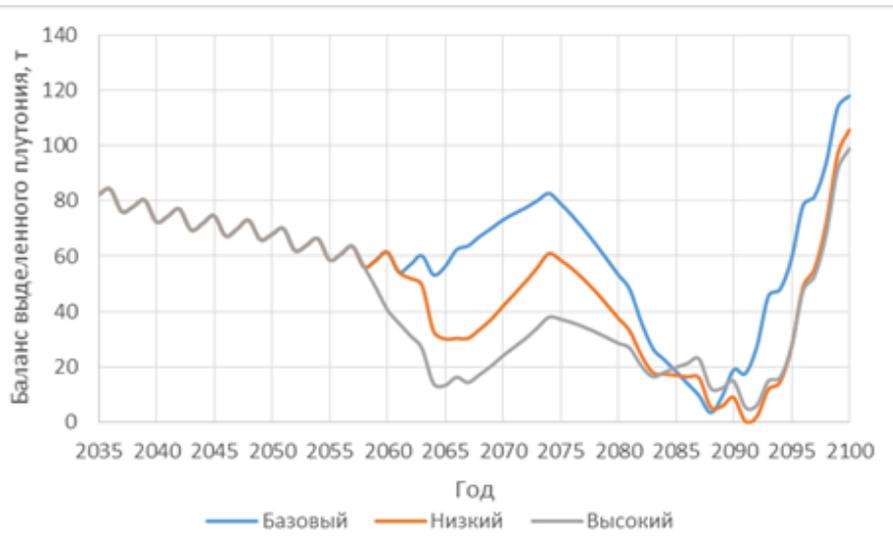
Сценарии ввода мощностей ВТГР



Структура мощностей АЭ для разных сценариев, ГВт (тепл.)

Год	БН-1200			ВВЭР- ТОИ+ВВЭР-1000			ВТГР		
	базовый	низкий	высокий	базовый	низкий	высокий	базовый	низкий	высокий
2035	8,3	8,3	8,3	108,2	108,2	108,2	0,0	0,6	0,6
2050	22,0	22,0	22,0	116,1	116,1	116,1	0,0	1,2	1,2
2085	96,1	97,7	98,4	99,1	97,0	95,4	0,0	4,8	7,2
2100	150,0	154,3	157,1	67,0	63,2	59,1	0,0	4,8	7,2

Баланс выделенного плутония и мощности перерабатывающих заводов



В зависимости от сценария рост темпа ввода быстрых реакторов смещается влево по оси времени. Для всех сценариев после 2065 года наблюдается рост запасов плутония, что объясняется вводом первой очереди завода РТ-2, и, следовательно, увеличением количества перерабатываемого ОЯТ. Однако, затем потребление плутония вновь превышает его наработку, что приводит к сокращению запасов до тех пор не будет введена вторая очередь завода РТ-2. Для любого из рассмотренных сценариев выделенного плутония оказывается достаточно и менять схему ввода перерабатывающих заводов не требуется.

Для ввода ВТГР топливных ресурсов достаточно!!!

Расходы угля при использовании ВТГР и без использования ВТГР при производстве синтетического жидкого топлива

Год начала этапа	2035	2040	2085(мин)	2085(макс)
Мощность реакторов, ГВт тепл.	0,6	1,2 (пилотный кластер)	4,8 (8 модулей)	7,2 (12 модулей)
Производство СЖТ, тыс.т в год	416,1	832,2	3 328,8	4 993,2
Потребление угля для переработки и энергообеспечения процессов (без использования АЭ), тыс. т в год (*)	1450	2900	11 600	17 400
Потребление угля только для переработки (с использованием АЭ), тыс. т в год (**)	725	1 450	5 800	8 700

Предотвращенные выбросы и образовавшиеся отходы (ежегодно):

—выбросы летучей золы (для объема (*), тыс. т	8,12	32,48	48,72	97,44
Золошлаковые отходы, тыс. т., для объема (**),	101,5	203	812	1218
Выбросы CO ₂ , тыс. т., для объема (**),	2280	4580	18300	27500
Выброс урана в атмосферу (для объема (*), т	0,03	0,122	0,183	0,367
- содержание урана в ЗШО для объема (**), т	4	6,7	26,8	40,2

Заключение (1/2)

Рост мировой экономики приводит к росту энергопотребления

Обеспечение глобальной энергобезопасности требует диверсификации структуры энергоисточников

Возможности развития Атомной энергетики в мире ограничены в том числе ее текущей ролью в структуре потребляемых первичных энергетических ресурсов (производство базовой генерации электроэнергии)

Возможности развития Угольной энергетики ограничены ее негативным воздействием на окружающую среду и возможностью хозяйственного использования энергопотенциала угля

Необходимость снижения выбросов CO_2 в атмосферу является глобальной экологической задачей, которая требует принятия дополнительных решений в области развития атомной и возобновляемой энергетики

Заключение (2/2)

Атомная энергетика может позволить уменьшить негативное воздействие на окружающую среду со стороны угольной энергетики и расширить ее область хозяйственного использования

Производство ЖТ из угля с применением ВТГР позволит:

- улучшить экономические параметры производства ЖТ;
- сократить негативное воздействие на окружающую среду;
- привлечь инвестиции в атомную отрасль со стороны глобальных энергетических компаний.

- Благодарю за внимание!