

Энергетика XXI века: фундаментальная теория и научная практика

С.П. Филиппов

Институт энергетических исследований РАН

Москва, ул. Нагорная 31, к.2



Проблемы для обсуждения; содержание.

Рассматриваемые проблемы:

- I. Долгосрочные перспективы развития энергетики России.
- II. Необходимая научная поддержка этому развитию.

Содержание

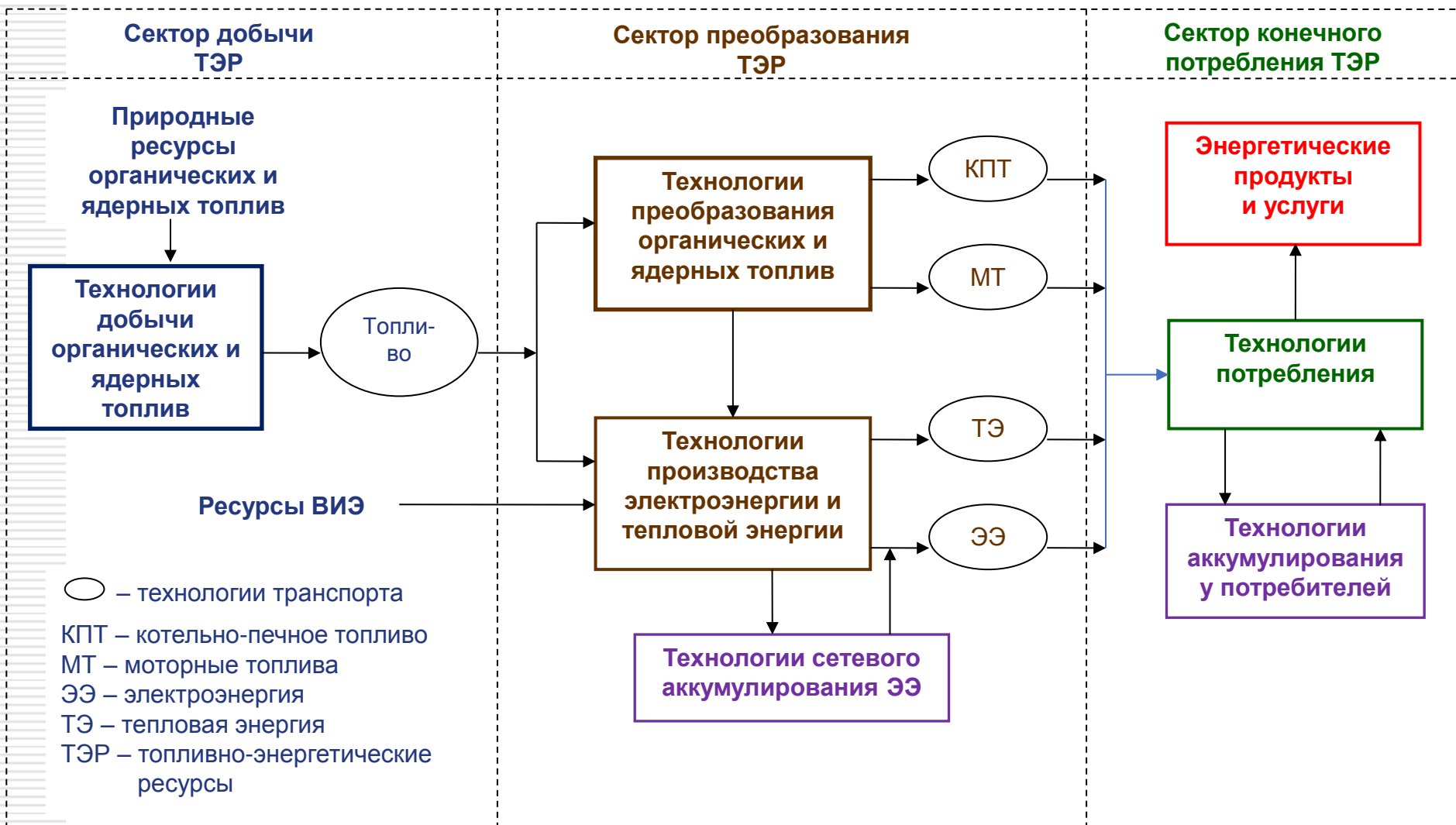
- ❖ Что такое современная энергетика
- ❖ Роль энергетики в экономике страны
- ❖ Энергетика страны и внешние энергетические рынки
- ❖ Развитие методологии и инструментария для исследований ТЭК
- ❖ Условия (внутренние и внешние) для развития энергетики страны
- ❖ Перспективы и проблемы развития отраслей ТЭК
 - нефтяная промышленность
 - газовая промышленность
 - угольная промышленность
 - электроэнергетика и централизованное теплоснабжение

Замечание: Многие проблемы в энергетике являются межотраслевыми и междисциплинарными. Для их решения нужны специалисты различных специальностей.

Классификация продуктов и технологий в энергетике:



Принципиальная технологическая структура энергетики:



Роль ТЭК в экономике страны:

- ❖ **Энергетика является ключевой инфраструктурной отраслью страны (как и любой другой страны мира).**

Для России с ее огромными территориями, суровым климатом, энергоемкой промышленностью и относительно низкой платежеспособностью большей части населения роль энергетики особенно важна.

- ❖ **ТЭК России вносит значительный вклад в социально-экономическое развитие страны и национальную безопасность:**

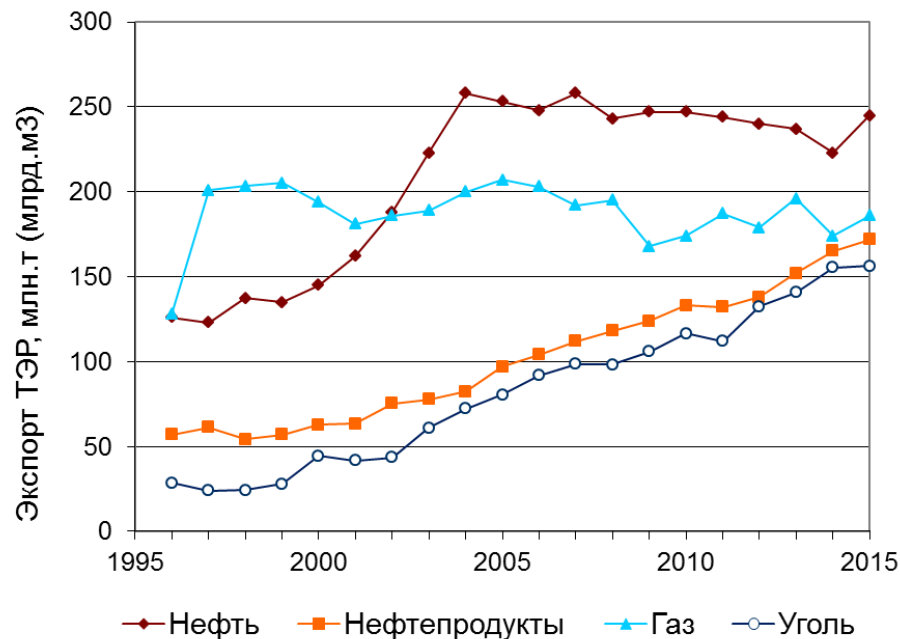
- Вклад ТЭК в ВВП страны составляет 25–26 % при доле занятых в ТЭК менее 4 % от общей численности занятого в экономике населения.
- Доля ТЭК в структуре доходов федерального бюджета составляет около одной трети.
- Доля ТЭК в российском экспорте (в стоимостном выражении) – более половины.

- ❖ **Развитие энергетики требует огромных ресурсов:**

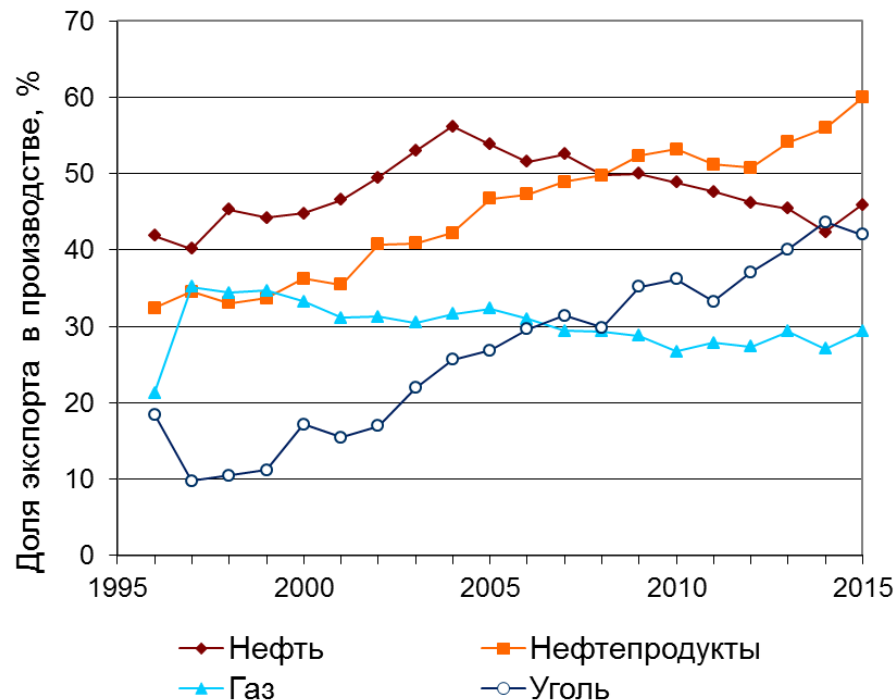
- Ежегодные инвестиции в ТЭК составляют около одной трети инвестиций в основной капитал в экономику страны.
- Но инвестиции в ТЭК обладают высоким мультипликативным эффектом - дают существенный импульс развитию высокотехнологичных отраслей российской промышленности.

Экспорт российских ТЭР и доля экспорта в добыче ТЭР

Динамика экспорта,
млн.т (млрд.м3) в год



Динамика доли экспорта в
производстве. %



Экспортируется почти **половина** производимой в России первичной энергии.

Тенденции в экспорте ТЭР:

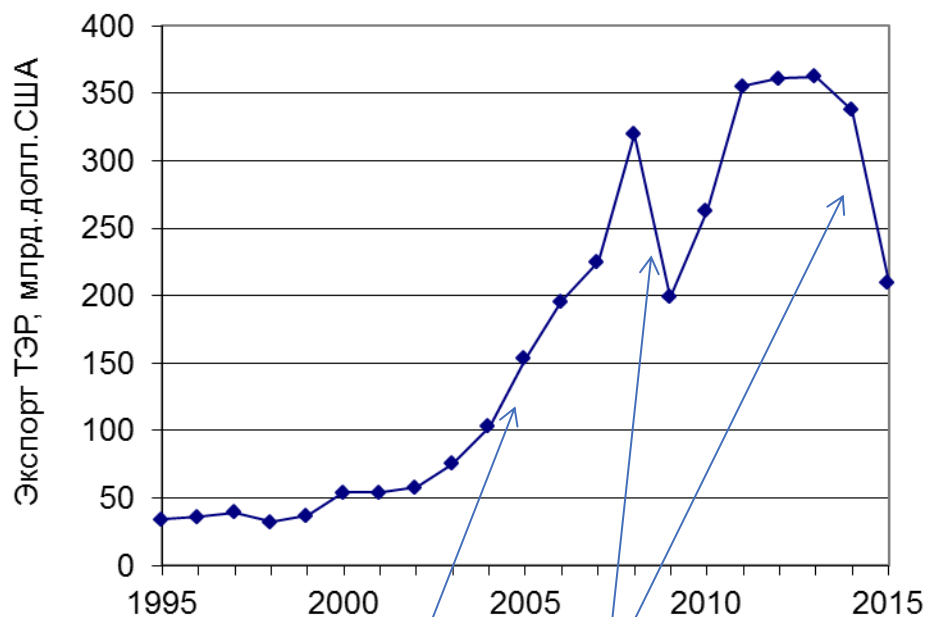
- а) рост экспорта угля и нефтепродуктов;
- б) стагнация экспорта нефти и газа.

Доля экспорта в производстве (2015 г.) и тенденции:

- нефть - 46% (падение);
- нефтепродукты - 60% (рост);
- газ - 29% (стагнация);
- уголь - 42% (рост).

Экспорт российских ТЭР в стоимостном выражении (млрд. долл. США) и стоимостная структура экспорта

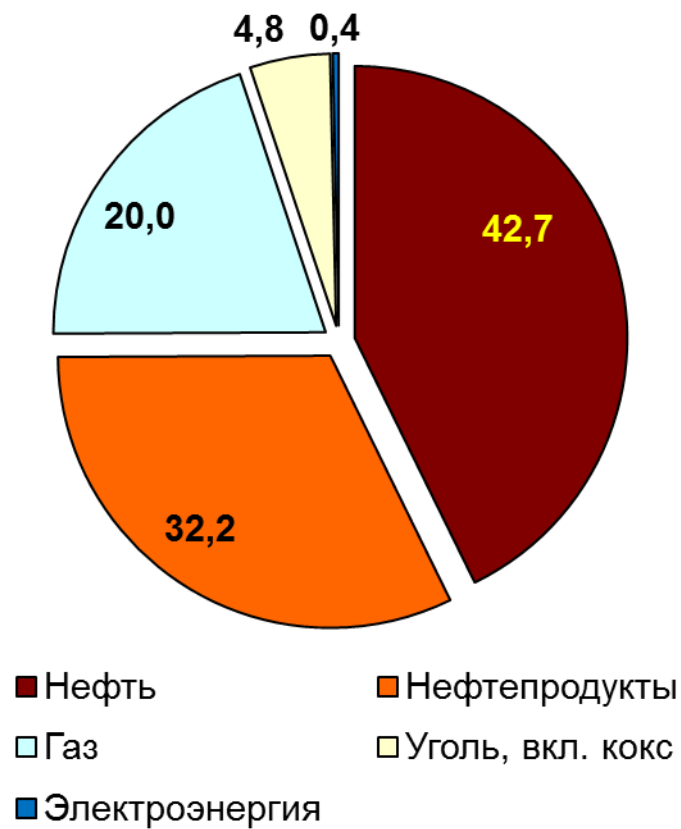
Динамика экспорта ТЭР, млрд. долл. США в год



Период роста объемов экспорта и цен на ТЭР

Периоды резкого падения цен на ТЭР

Стоимостная структура экспорта ТЭР (2015 г.), %



Управление развитием энергетики в России:

- ❖ В 2015-2016 гг. в России разработаны два взаимосвязанных **документа стратегического планирования** в энергетике:

- Энергетическая стратегия России до 2035 года;
- Прогноз научно-технологического развития отраслей ТЭК России на период до 2035 года.

Основным разработчиком данных документов выступил ИНЭИ РАН.

Прогноз НТРэ утвержден приказом Министра энергетики РФ 14 октября 2016 г.

Энергостратегия-2035 рассматривается Правительством РФ.

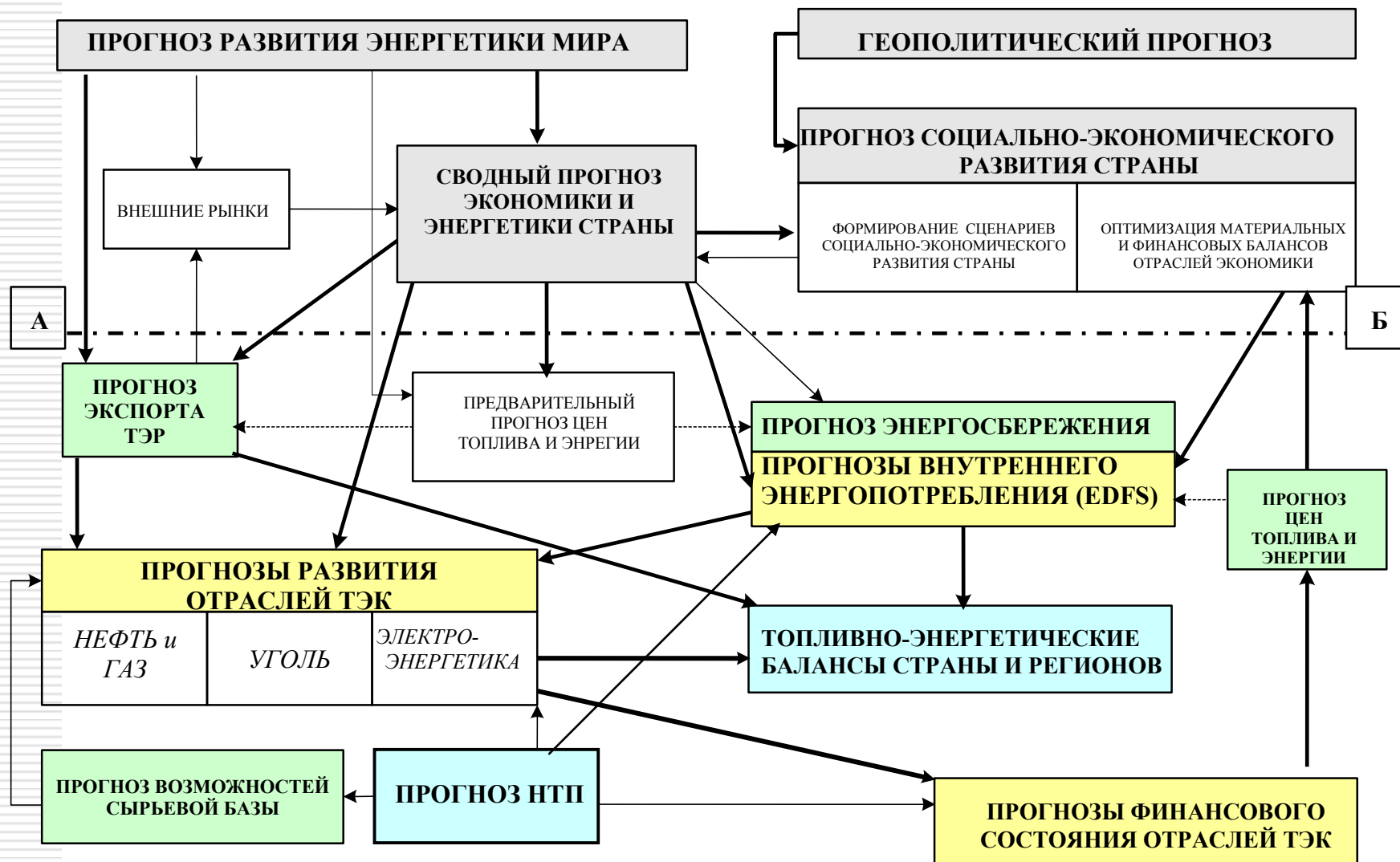
Прогноз НТРэ является отраслевым уровнем Прогноза НТР РФ на период до 2030 г.
Разработка Прогноза НТРэ должна предшествовать разработке **Энергостратегии**.

- ❖ Для **реализации** Прогноза НТР и ЭС-2035 необходимо разработать документы, регламентирующие проведение **энергетической политики** в стране и определяющие важнейшие **инструменты управления развитием энергетики**.

Сейчас **научно-техническая политика** в энергетике осуществляется посредством различных плохо взаимосвязанных программ и инициатив, включая

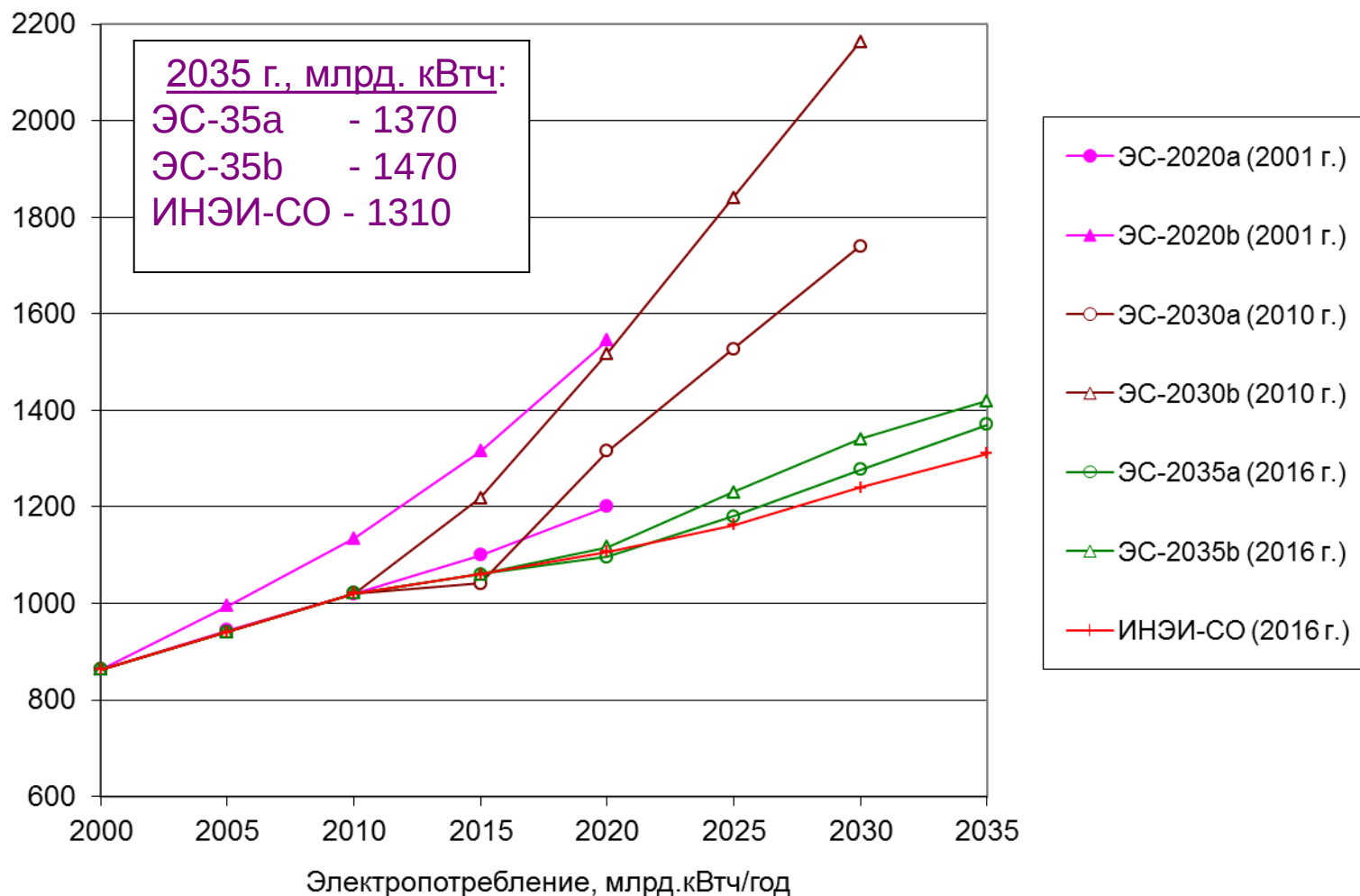
- государственные программы, программы импортозамещения и т.д.;
- отраслевые стратегии, генеральные схемы развития отраслей ТЭК;
- программы инновационного развития энергетических компаний;
- Программы институтов развития (Национальная технологическая инициатива «Энерджинет» и др.);
- программы научных фондов (РНФ, РФФИ, Минобрнауки и др.).

Актуальная задача: развитие методов системного прогнозирования в энергетике и необходимого инструментария



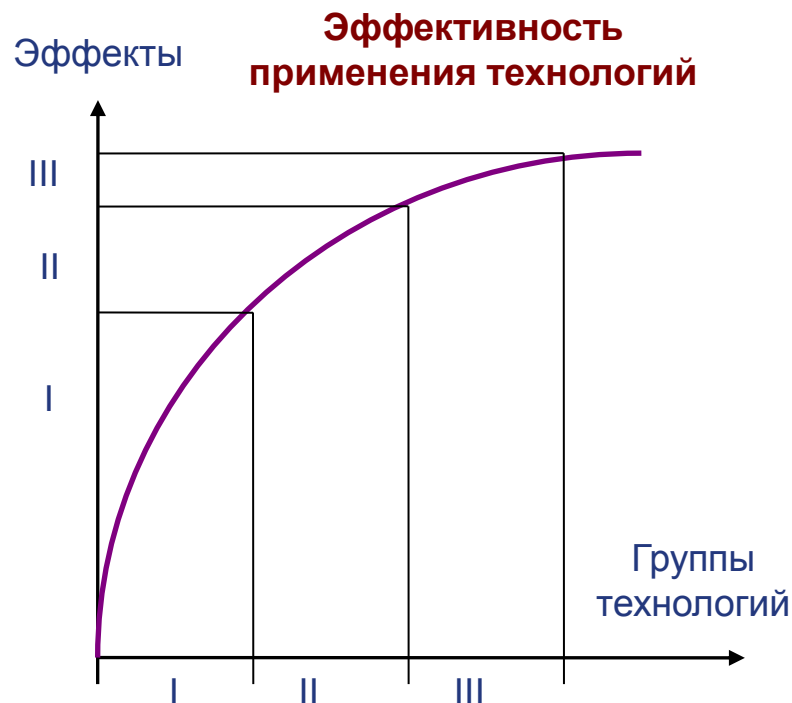
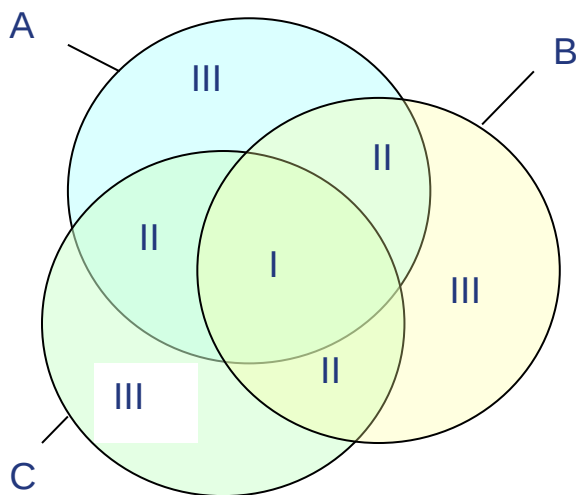
Для выполнения системных исследований в энергетике в ИНЭИ РАН разработан и используется модельно-информационный комплекс (МИК) «SCANER»

Прогноз спроса на электроэнергию при разработке Энергетических стратегий России на 2020, 2030 и 2035 гг.:



Разработка сценариев внешних условий и формирование их технологического обеспечения

А, В, С - сценарии внешних условий



Технологическое обеспечение сценариев (группы технологий):

I – приоритетные технологии, применяемые во всех сценариях (инвариантные к сценариям). Их внедрение даст наибольший эффект. На их разработке нужно концентрировать основные ресурсы.

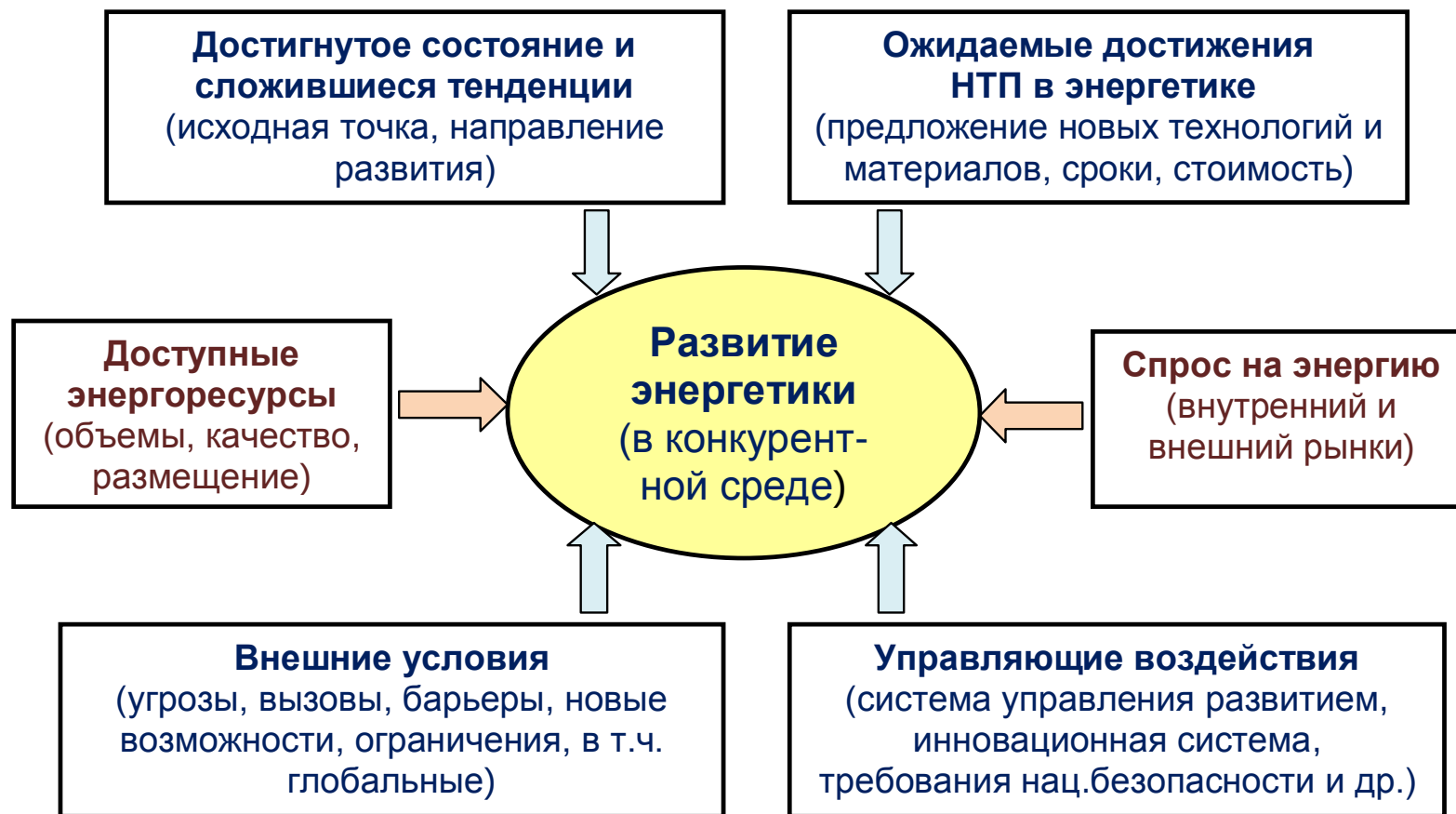
II – технологии, внедрение которых целесообразно в нескольких сценариях;

III – технологии для конкретных сценариев.

Серьезная проблема – большая неопределенность многих факторов в будущем.
Способ преодоления – разработка сценариев внешних условий.

Движущие силы, стимулы и барьеры для развития энергетики

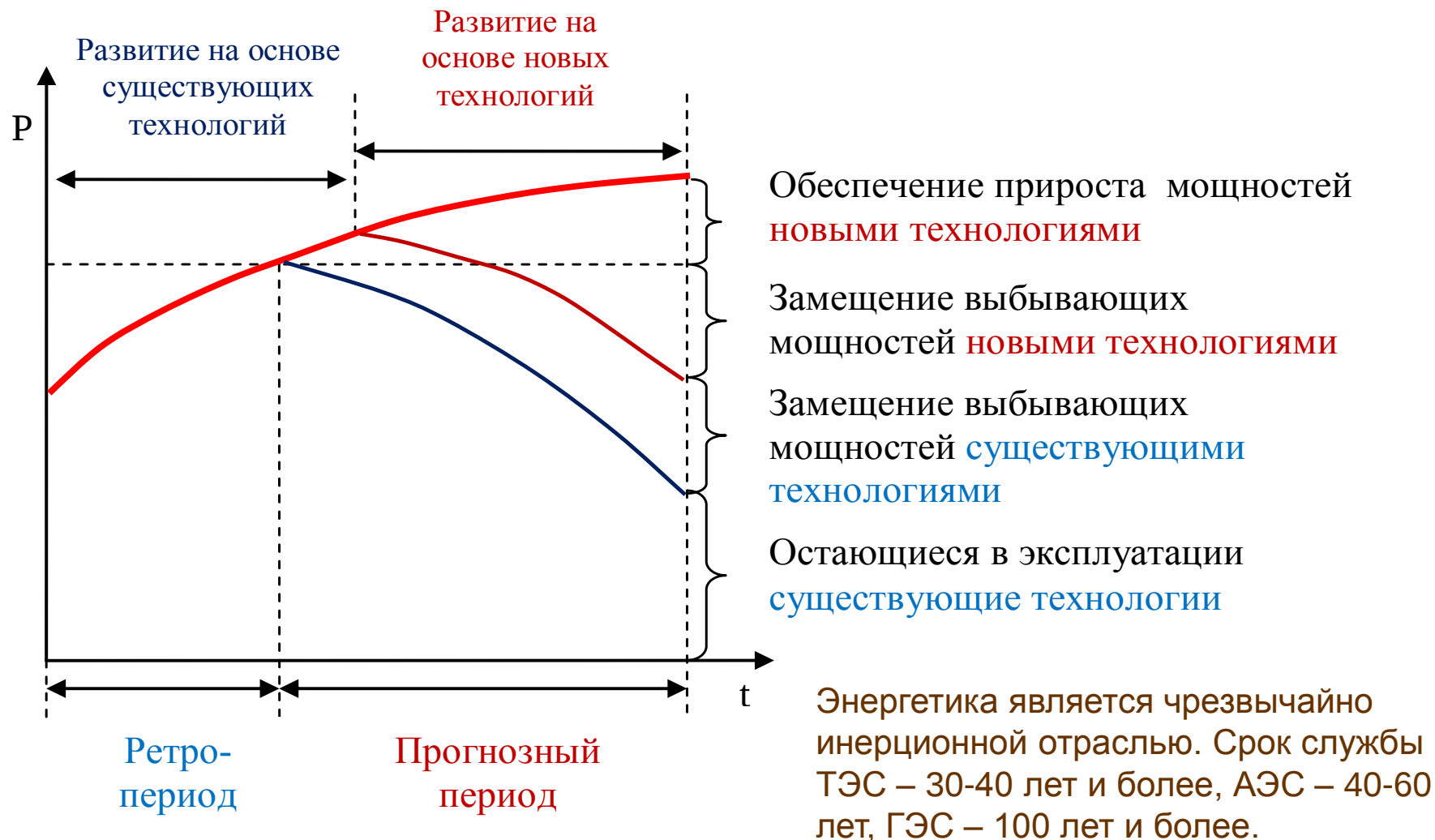
Развитие энергетики определяется большим числом факторов:



Основные драйверы для развития:

1) Конкуренция (на внутренних и внешних рынках) и 2) внешние воздействия (санкции и др.). В рыночной экономике **развитие энергетики** осуществляется в **конкурентных условиях** (внутренний и внешний рынки топлива и энергии, технологий, труда, капитала), но при наличии большого числа **различных ограничений**.

Процесс технологического развития энергетики:



Конкурирующие парадигмы развития энергетики:

❖ **Централизованное энергоснабжение** –

производство энергии на основе крупных топливных баз и мощных электростанций и наличие больших систем транспорта и распределения энергии.

Концепции:

а) Интеграция энергетических ресурсов:

- «Интегрированные энергетические системы» (основной энергоноситель – синтез-газ)
- Водородная энергетика (основной энергоноситель – водород)
- «Метанольная экономика» (основной энергоноситель – метанол)
- «Метановая эпоха» (основной энергоноситель – метан)
- Электрический мир (основной энергоноситель – электроэнергия)

б) Глобализация электроснабжения потребителей:

- «Атомные острова» (кластеры мощных АЭС с использованием бридерных технологий)
- Солнечные спутники (на околоземной орбите, с микроволновой передачей энергии)
- Лунная энергетическая система (с использованием лунных баз)

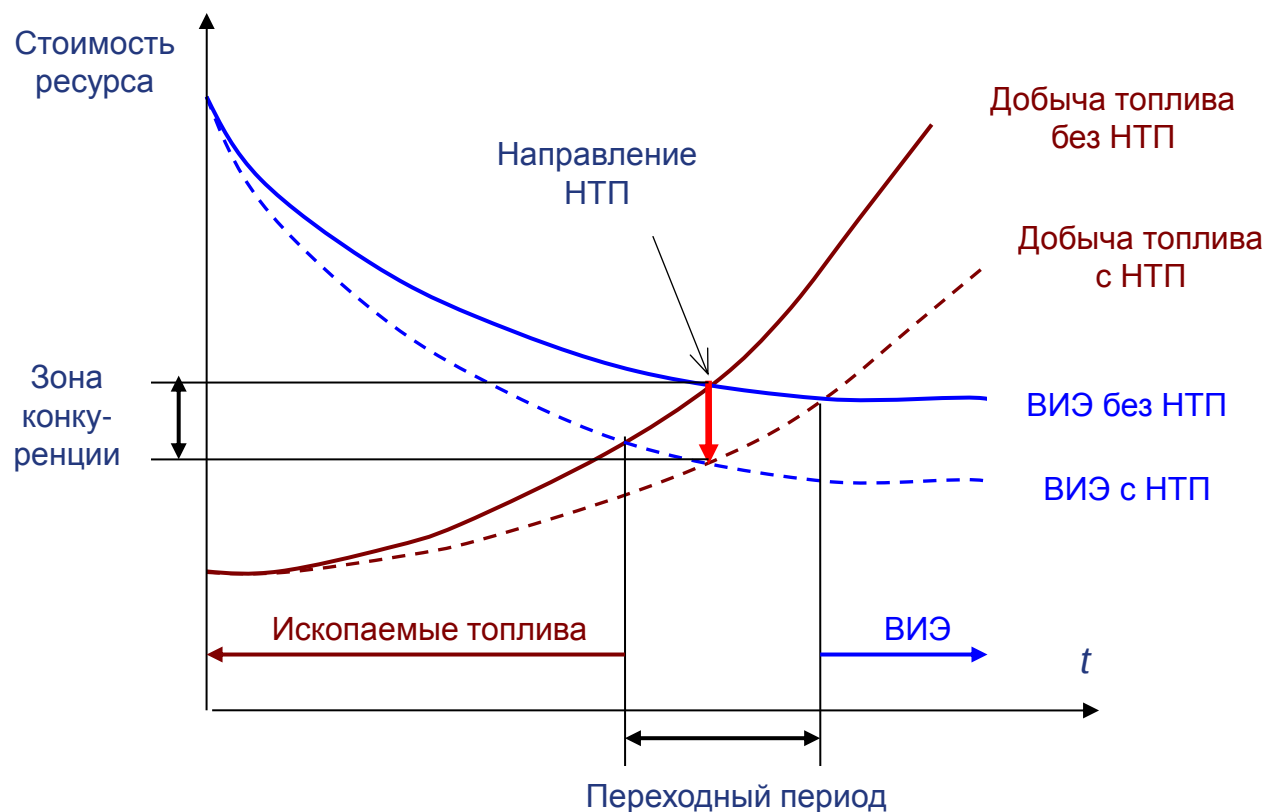
❖ **Распределенная генерация** - производство энергии непосредственно у потребителя или вблизи него: а) на основе природного газа, б) на основе ВЭИ.

- требует применения новых энергетических и информационных технологий (в управлении энергопотреблением и др.), а также аккумулирования энергии;
- более дорогая, но имеет большой потенциал для повышения экономической эффективности.

Выводы:

- 1) Мир вступает в длительную эпоху сосуществования двух парадигм в развитии энергетики.
- 2) Конкурентную борьбу выиграют страны с высоким научно-технологическим потенциалом.

Экономическая конкуренция ископаемых топлив и ВИЭ:



Выводы:

- 1) Исход борьбы ископаемых топлив и ВИЭ очевиден. Вопрос только во времени.
- 2) Масштабы и темпы использования ВИЭ по территории планеты будут неравномерными (определяются «качеством» ВИЭ и стоимостью органических топлив).

Новая технологическая революция, новая промышленная революция (Industry 4.0) и развитие энергетики России

❖ Мир вступает в новую технологическую революцию.

В ее основе будут лежать **кибер-физические системы**, интегрирующие физический мир и виртуальную реальность (цифровой мир).

❖ Реализуются они посредством **встраиваемых систем** – специализированных систем управления в реальном времени разнородными объектами на основе

- микропроцессорной техники,
- микро- и наноразмерных электромеханических устройств,
- «интеллектуальных измерителей/счетчиков (Smart meters) и разнообразных сенсоров,
- миниатюрных источников электропитания, встроенных в объект управления,

❖ Важная роль отводится **новым средствам коммуникации**: интеллектуальным межмашинным интерфейсам (M2M) и технологиям автоматической идентификации объектов (радиочастотных меток - RFID-меток и др.).

❖ Расширение функциональности RFID-меток путем интеграции их с сенсорами позволит создать «умные» продукты (Smart Product).

❖ **Новая (четвертая) промышленная революция** на базе встраиваемых систем, новых производственных технологий, прежде всего, аддитивных технологий и биотехнологий (концепция Industry 4.0), позволит

- создать «умные» фабрики и резко повысить эффективность производства,
- сократить потребность в природных ресурсах, в том числе, **энергетических**.

❖ **Изменится структура спроса на ТЭР** – в сторону электроэнергии.

Условия для развития энергетики в России:

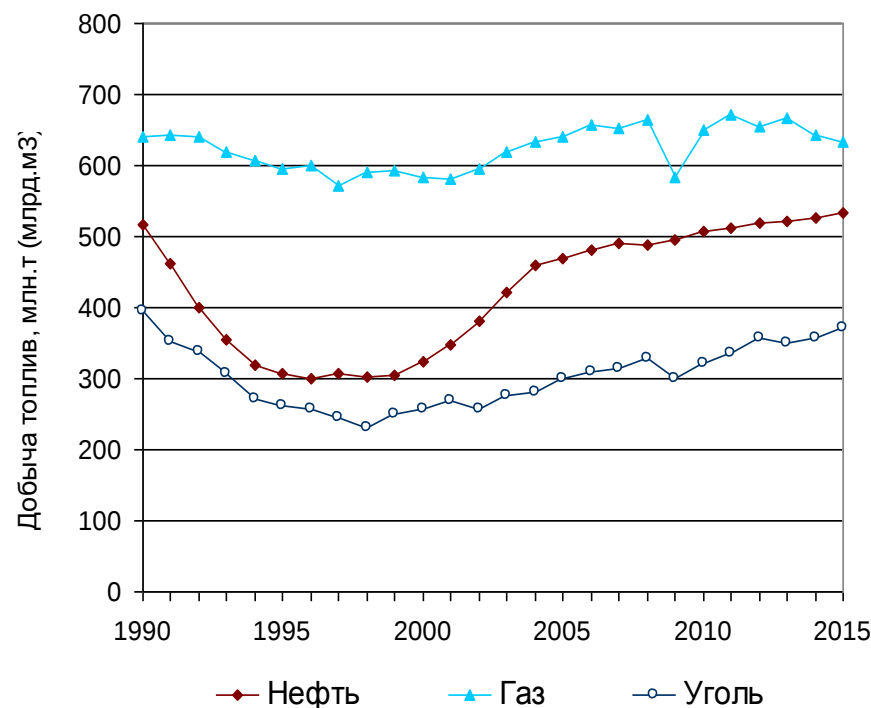
Большой потенциал для развития.

1. Огромные ресурсы ископаемых топлив на территории страны.
2. Восстановленный производственный потенциал добывающих отраслей.
3. Большой потенциал энергосбережения, достигающий **трети** от текущего энергопотребления
4. Наличие мощной науки, современной промышленности и квалифицированных кадров.

Множество барьеров для развития

1. Медленный выход из экономического кризиса – низкий спрос на ТЭР на внутреннем рынке.
2. Большой износ основных фондов в ТЭК.
3. Снижение востребованности отечественных ТЭР на мировых рынках (энергосбережение и быстрые темпы использования ВИЭ)
4. Высокая волатильность мировых цен на ТЭР (что затрудняет планирование создания новых топливных баз).
5. Ограничения на доступность к дешевым кредитам и новым технологиям (санкции).

Динамика добычи топлив



Выводы:

Нужна стратегия развития энергетики, обеспечивающая максимально эффективное использование имеющихся ресурсов.

Актуальная задача - выработка рациональной экспортной политики страны в энергетике:

Роль России на мировых энергетических рынках

- ❖ Страна занимает **лидирующее место** в мировой торговле энергоресурсами.
- ❖ Россия является **лидером по поставкам топлив** на мировые рынки:
 - нефти (12% мирового рынка нефти);
 - нефтепродуктов (9% мирового рынка нефтепродуктов);
 - природного газа (20% мирового рынка газа);
 - занимает третье место по поставкам угля на мировой рынок.

Задачи экспортной политики

- ❖ В **экспортной политике** для России актуальными являются:
 - обеспечения **недискриминационного доступа** на мировые энергорынки;
 - **удержание позиций** на традиционных рынках;
 - **экспансия** на новые рынки.

Замечание:

Большая **избыточность** производства ТЭР делает в обозримой перспективе не актуальной для России проблему **энергетической безопасности** (в классическом понимании – как угрозу недопоставок ТЭР на внутренний рынок).

Научное обеспечение отечественной энергетической политики в области экспорта ТЭР:

Научное обеспечение энергоэкспортной политики включает:

- ❖ Мониторинг и анализ ситуации на мировых энергетических рынках.
- ❖ Прогнозирование поведения и характеристик мировых энергетических рынков:
 - масштабов рынка (как результат экономического роста и развития энергетики регионов),
 - территориальной структуры рынков (спроса на ТЭР, предложения ТЭР),
 - топливной структуры рынков (межтопливной конкуренции),
 - ресурсных изменений по регионам мира (открытие месторождений),
 - ценовых факторов,
 - развитие транспортной инфраструктуры (особо для СПГ)
 - регуляторных воздействий (рыночных правил),
 - рыночной доли основных игроков и др.

Институт энергетических исследований (ИНЭИ) РАН совместно с Аналитическим центром при Правительстве Российской Федерации на регулярной основе разрабатывает

«Прогноз развития энергетики мира и России».

В этом году разработан очередной Прогноз-2016, который был представлен 8 ноября 2016 в АЦ при Правительстве РФ.

Дестабилизирующие факторы для развития мировой энергетики:

- ❖ Неравномерность **демографического** развития регионов мира
- ❖ Неравномерность территориального размещения **энергетических ресурсов**, как ископаемых топлив, так и «дешевых» (благоприятных) ресурсов ВИЭ, что обуславливает большое различие в **обеспеченности** регионов энергетическими ресурсами («**ресурсное неравенство**» регионов)
- ❖ Неравномерность **экономического** развития регионов мира (экономическое неравенство регионов определяет различие в спросе на энергию)
- ❖ Неравномерность развития **транспортной инфраструктуры** регионов (технические и экономические ограничения для доступа к мировым энергорынкам)
- ❖ **Транзитные риски** - актуально как для стран экспортеров ТЭР, так и импортеров ТЭР (энергетическая безопасность)
- ❖ Неравенство **научно-технологического потенциала** стран (технологическая зависимость большинства стран мира; **это актуально и для ТЭК России**)
- ❖ Большое различие регионов по удельному потреблению ТЭР («**энергетическая бедность**» ведет к низкому уровню жизни)
- ❖ Большое различие регионов по **энергоэффективности** экономики и отраслей ТЭК (регионы с высокой энергоемкостью потребляют избыточное количество энергии и имеют худшую конкурентоспособность)
- ❖ Большое различие регионов по **доступности финансовых ресурсов и стоимости заимствования** (преодоление энергетической бедности и повышение энергетической эффективности требуются значительные капиталовложения)
- ❖ **Данные факторы оказывают существенное влияние на развитие ТЭК России.**
- ❖ **Особенно важным является скорейшее преодоление технологической зависимости от зарубежных поставщиков новых технологий и материалов.**

Мировые ресурсы нефти и их территориальное размещение

Мировые ресурсы нефти млрд. ТДЖ

Категория	\$(1990)/ bbl	млрд. ТД ж	%	Обеспеченность, лет
1	10	6,3	5,7	42
2-3	16-22	6,1	5,5	41
4-5	31-37	7,7	6,9	51
6	46	14,1	13	94
7	58	24,7	22	164
8	112	51,9	47	346
	Всего	110,8	100	739

Территориальное распределение ресурсов нефти, %

Регион	Средняя стоимость извлечения, \$ (1990)/bbl				
	10	22	37	46	58
Сев.Америка	5,7	10,5	12,8	29,4	29,4
Европа	3,9	4,5	3,9	2,4	2,4
Австралия	0,3	0,6	2,4	7,7	7,7
б.СССР	11,4	22,7	14,6	5,8	5,8
Лат Америка	11,6	16,8	11,7	27,3	27,3
Бл. Восток	58,5	26,8	42,9	11,8	11,8
Африка	2,7	5,7	3,7	1,5	1,5
Азия	6,0	12,3	8,0	14,1	14,1

Выводы: а) доля ресурсов нефти дешевых категорий – 11%;
б) основные ресурсы дешевой нефти располагаются на Ближнем Востоке и в бывшем СССР.

Мировые ресурсы природного газа и их территориальное размещение

Мировые ресурсы природного газа млрд. ТДж

Категория	\$(1990)/ тыс. м3	млрд. ТДж	%	Обеспечен- ность, лет
1	80	5,4	0,6	60
2-3	120-180	11,2	1,3	124
4-5	230-270	8,0	1,0	89
6	320	10,8	1,3	120
7	380	16,2	1,9	180
8	760	787,9	93,9	8754
	Всего	839,5	100	9328

Территориальное распределение ресурсов газа, %

Регион	Стоимость извлечения, \$ (1990)/тыс. м3				
	80	180	270	320	380
Сев.Америка	9,2	11,3	22,8	27,1	27,2
Европа	6,2	5,3	4,5	4,3	4,1
Австралия	1,6	0,5	7,6	11,6	11,6
б.СССР	30,4	41,4	24,3	17,4	17,6
Лат Америка	5,9	8,2	8,9	11,6	11,4
Бл. Восток	37,4	18,8	13,4	11,2	11,4
Африка	3,0	5,2	3,3	3,5	3,6
Азия	6,3	9,4	15,4	13,2	13,0

Выводы: а) доля ресурсов газа дешевых категорий – 2%;
б) основные ресурсы дешевого газ располагаются на Ближнем Востоке, бывшем СССР и в Северной Америке

Прогнозы мирового энергопотребления (в конечной энергии)

	1990	2025	2050	2075	2100
Потребление энергии в мире, млн. ТДж в год	176,2	284- 298	356- 402	410- 520	460- 610
в том числе					
- развитые страны	50,3	36,6	29,6	22,8	18,2
- развивающиеся страны	49,7	63,4	70,4	77,2	81,8

Выводы:

- а) к концу века мировое энергопотребление может возрасти в 2.6-3.5 раза;
(нижняя граница – при интенсивном энергосбережении во всем мире);
- б) основными центрами энергопотребления станут развивающиеся страны.

Отрасли ТЭК России

- ❖ Перспективы и проблемы развития отраслей ТЭК
 - нефтяная промышленность
 - газовая промышленность
 - угольная промышленность
 - электроэнергетика и централизованное теплоснабжение

Нефтяная отрасль: текущее состояние и проблемы

❖ Ухудшение ресурсная базы:

- истощение действующих богатых месторождений,
- уменьшение размеров и ухудшение горно-геологических свойств открываемых месторождений,
- перемещение добычи в отдаленные районы со сложными природно-климатическими условиями и отсутствием инфраструктуры;
- ухудшение качества добываемых топлив.
- увеличение доли ТРИЗ в добыче с нынешних 8% до 17% в 2035 г.

❖ Добыча нефти:

- в структуре добычи 52% приходится на сернистую нефть, 13% - на высокосернистую и 1,6% - на особо высокосернистую. Только треть добываемой нефти низкосернистая;
- высокое содержание серы усложняет и удорожает процессы нефтепереработки, повышает их энергоемкость и обесценивает отечественную нефть в качестве экспортного товара;
- увеличение объемов добычи тяжелой и высокосернистой нефти.
- доля энергозатратного насосного способа добычи нефти возросла до 93%;
- растет средняя глубина эксплуатационных скважин (с 2240 м в 1995 г. до 2900 м в 2014 г.).
- уменьшается среднесуточный дебит скважин (с 11,6 т в 1990 г. до 9,7 т в 2014 г.).
- степень износа основных фонтов - 53,2%; полностью изношены фонды – 23,9%
- удельный вес бездействующих скважин – 9,5%;

❖ Транспорт нефти и газа

- около 46% нефтепроводов и 44 резервуаров эксплуатируется более 30 лет;

❖ Нефтепереработка:

- глубина переработки нефти – 70-72 (в мире – до 95%), выход светлых – 56-58%;
- индекс сложности Нельсона для отечественных НПЗ – 6 (в мире – до 14).

Это удорожает разработку месторождений и увеличивает себестоимость добычи нефти.

Нефтяная отрасль: основные задачи и ориентиры

❖ Основные задачи отрасли:

- повышение эффективности разработки действующих месторождений;
- освоение месторождений тяжелых и высоковязких нефтей;
- освоение месторождений на шельфах арктических морей;
- повышение глубины переработки нефти с производством нефтепродуктов высших экологических классов.

❖ Ориентиры развития отрасли на 2035 г. (относительно 2015 г.):

- обеспечение добычи нефти на уровне 490-555 млн.т в год (против 533 млн. т в 2015 г.)
- увеличение коэффициента извлечения нефти (КИН) с 28% до 40%;
- увеличение доли трудно извлекаемых запасов (ТРИЗ) в добыче нефти с 8% до 17%;
- повышение степени утилизации добываемого нефтяного попутного газа (НПГ) с 88,2% до 95%;
- повышение глубины переработки нефти с 74,1% до 90-91%;
- увеличение выхода светлых нефтепродуктов с 58,6% до 70-79%.

Нефтяная отрасль: приоритетные направления технологического развития

1) Повышение эффективности разработки действующих месторождений, включая

- высокопроизводительное и высокоэффективное бурение скважин;
- повышение КИН за счет комплексных физико-химических воздействий на флюид и вмещающие породы (*механические, тепловые, химические и др. методы*);
- «Интеллектуальная скважина» и «Интеллектуальное месторождение»;
- ранняя диагностика оборудования и прогнозирование остаточного ресурса.

2) Освоение месторождений тяжелых и высоковязких нефтей:

- технологии добычи и транспорта тяжелых и высоковязких сортов нефти.

3) Освоение шельфов арктических морей, включая

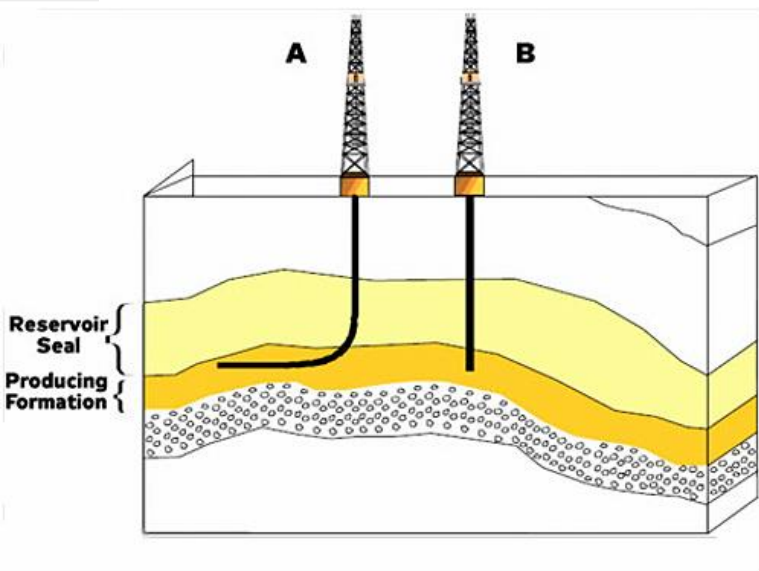
- глубоководное бурение и добыча углеводородов с ледостойких платформ;
- подводные (подледные) добычные комплексы с дистанционным управлением; *
- системы энергоснабжения подводных объектов, в т.ч. на базе ядерной энергии; *
- эффективные технологии ликвидации разливов нефти в ледовых условиях при низких температурах воздуха.

4) Глубокая переработка нефти

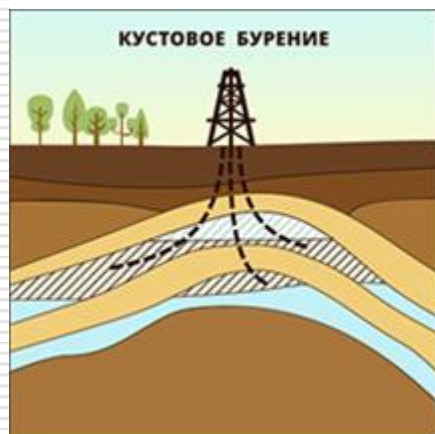
- глубокая деструкция нефти с производством высококачественных нефтепродуктов;
- переработка тяжелых и высоковязких сортов нефти;
- отечественные катализаторы процессов нефтепереработки.

* Технологии для применения в долгосрочной перспективе (при высоких ценах на нефть и большой востребованности отечественной нефти на мировых рынках). Их разработка потребует больших затрат.

Разработка и освоение новых способов бурения и устройства скважин



1. Горизонтальное бурение по профилю пласта.
2. Сложное бурение: кустовое, многоствольное, многозабойное.
3. Новые методы геофизических исследований пласта, более чувствительные датчики (определение достоверной структуры пласта).
4. Новые методы математической обработки геофизической информации («big data»)



Морская нефтяная добывающая платформа «Приразломная»



Газовая отрасль: основные задачи и ориентиры

❖ Основные задачи отрасли:

- повышение эффективности разработки действующих месторождений (использование низконапорного газа);
- развитие новых районов газодобычи (в Арктике, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке);
- повышение эффективности транспорта газа;
- создание отечественной индустрии сжиженного природного газа (СПГ);
- освоение новых экспортных маршрутов (восточных, северных);
- развитие газохимии.

❖ Ориентиры развития отрасли на 2035 г. (относительно 2015 г.):

- увеличение добычи газа в 1,2-1,4 раза – до 757-875 млрд. м³ в год (против 633 млрд м³ в 2015 г.);
- увеличение доли новых районов в добыче газа до 40%;
- увеличение производства СПГ в 3-8 раз.

Газовая отрасль: приоритетные направления технологического развития

1) Добыча газа:

- повышение отдачи эксплуатируемы пластов путем направленного изменения их коллекторских свойств;
- морская добыча газа в арктических условиях;
- добыча трудноизвлекаемых запасов газа, в т.ч. газогидратных месторождений;
- безопасные технологии добычи сероводородсодержащих газов.

2) Трубопроводный транспорт газа:

- высокоэффективные газоперекачивающие агрегаты на газовом и электрическом приводе;
- высокопрочные материалы для повышения давления в газопроводах большого диаметра, в т.ч. для полярных условий;
- функциональные покрытия (внутренние гладкостные, наружные антикоррозионные).

3) Производство, хранение и транспорт СПГ:

- криогенные технологии производства, хранения и транспорта СПГ;
- **плавучие заводы по производству СПГ**; газовозы ледового класса.

4) Глубокая переработка газа:

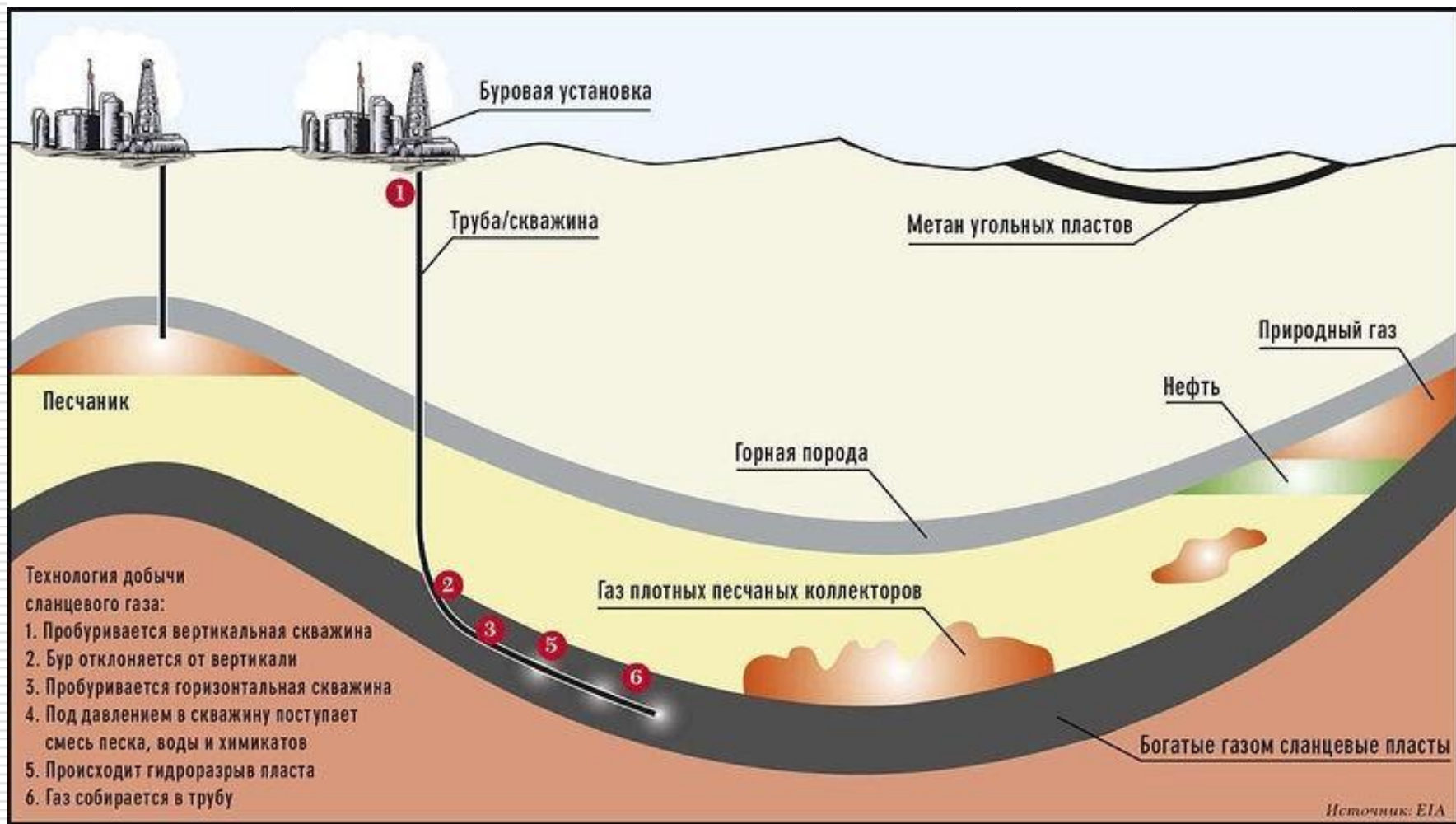
- мембранные технологии эффективного разделения газов;
- технологии окислительного дегидрирования этана в этилен и окислительной димеризации метана в этилен ;
- малозатратные технологии конверсии метана в синтез-газ и последующего производстваолефинов;
- технологии получения новых материалов (строительных, дорожных и т.д.) на основе серы;
- высокопроизводительных и высокоселективных катализаторы и адсорбенты для газогазохимии.

Технология добычи сланцевого газа:

Добыча
традиционного
газа.

Добыча
сланцевого газа.

Добыча метана
угольных пластов.



Морской транспорт СПГ



ОТКАТ
в теме, но не в доле

Угольная отрасль: текущее состояние и проблемы

❖ Текущее состояние отрасли:

- глубина отработки пластов на шахтах достигла 440 метров;
- подземная добыча угля стабилизировалась на уровне 100-105 млн. т угля в год;
- рост добычи угля открытым способом; ее доля в общей добыче достигла 72%;
- стабилизация добычи бурых углей на уровне 70-80 млн. т в год;
- доля коксующихся углей в добыче составляет 26% (75 млн. т в год);
- увеличение объемов обогащения углей, повышение их качества

❖ Проблемы отрасли:

- более 90% разрабатываемых пластов опасны по 1 и более факторам, 74% - по 2 и более, что требует увеличение масштабов проведения дорогостоящих мероприятий по безопасности труда;
- высокая энергоемкость добычи угля (превышает среднемировой уровень в 2,2 раза);
- большой износ основных фондов в отрасли (превышает 50%);
- высокая доля импортного оборудования (превышает 50%, в т.ч. по комбайнам – 75%, погрузчикам – 84%).

Угольная отрасль: основные задачи и ориентиры

❖ Основные задачи отрасли:

- существенное повышение производительности труда
- повышение безопасности ведения горных работ;
- повышение качества товарного угля;
- уменьшение себестоимости добычи угля;
- повышение его конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках;
- развитие углехимии;
- использование отходов добычи и обогащения угля;
- обеспечение рекультивации земель в районах угле добычи.

❖ Ориентиры развития отрасли на 2035 г. (относительно 2015 г.):

- обеспечение добычи угля в диапазоне 355-490 млн. т в год (против 372 млн. т в 2015 г.);
- увеличение экспорта угля в 1,5 раза.

Угольная отрасль: приоритетные направления технологического развития

1) Добыча угля:

- высокопроизводительные проходческие и добычные комплексы, средства дистанционного управления и мониторинга забойных процессов;
- роботизированные комплексы для разработки тонких и крутых пластов с высокой селективностью;
- высокопроизводительная горнопогрузочная и горнотранспортная техника;
- геоинформационный контроль и управление состоянием горного массива;
- управление состоянием шахтной атмосферы, взрывозащита;
- **подземная газификация угля; гидродобыча угля с получением водоугольного топлива;***
- «Интеллектуальная шахта» и «Интеллектуальный разрез».

2) Обогащение и переработка угля

- сухое обогащение угля с высокой разрешающей способностью;
- глубокая переработка угля с получением перспективных углесодержащих материалов (углепластов и др.) и химической продукции с высокой добавленной стоимостью;
- комплексная переработки золы и шлака с извлечением ценных компонентов и производством строительных материалов.

* Для освоения тонких угольных пластов, нерентабельных для машинной добычи.

Перспективы развития угольной энергетики в условиях введения глобальных ограничений на выбросы CO₂:

Введение жестких глобальных ограничений на выбросы парниковых газов

❖ Последствия

- переход к **малоуглеродной энергетике**
- **отказ от угольной генерации**
- «схлопывание» мирового рынка угля
- сокращение/прекращение экспорта российских углей
- падение цен на уголь
- сокращение добычи угля

❖ Решение проблемы

- переключение угольной промышленности на производство **углехимической продукции**
- развитие **комбинированных технологий** (энерготехнологических установок), обеспечивающих эффективное производство углехимической продукции и электроэнергии
- ключевые технологии: а) **газификация угля** с получением синтез-газа и б) **синтез** широкой гаммы химических продуктов

❖ Результаты

- сохранение угольной промышленности страны
- замещение экспорта угля экспортом более дорогой углехимической промышленностью
- сохранение (увеличение экспортной выручки угольных компаний)
- вытеснение продуктов нефтехимии и газохимии - экономия нефти и природного газа.

Электроэнергетика: текущее состояние и проблемы

❖ Текущее состояние отрасли:

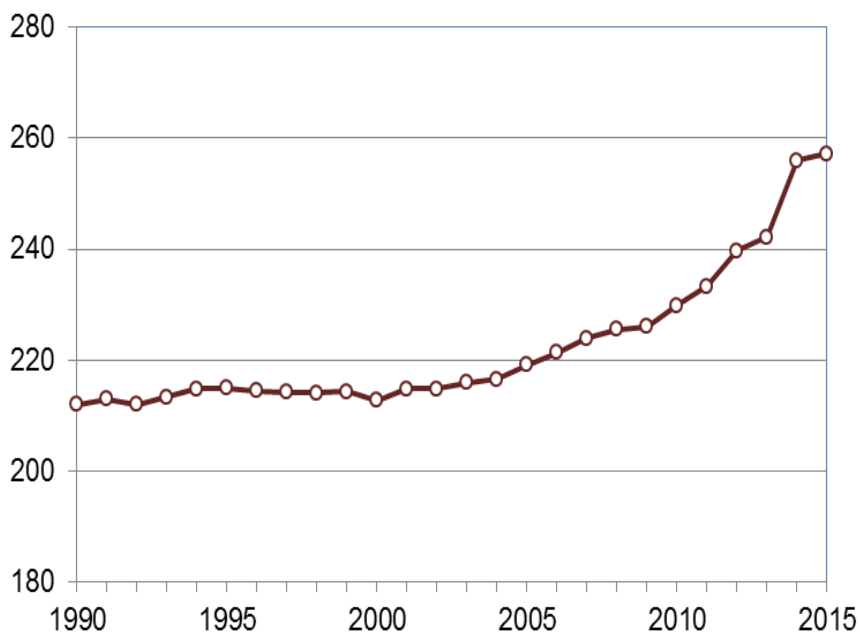
- происходит наращивание установленных мощностей;
- восстановлено производство электроэнергии до уровня 1990 г.;
- в структуре установленных мощностей и производства электроэнергии преобладают ТЭС;
- в структуре ТЭС 55% приходится на ТЭЦ; они покрывают более 45% спроса на тепло;
- Наблюдается рост доли газа в топливном балансе ТЭС, его доля превысила 71%.

❖ Проблемы отрасли:

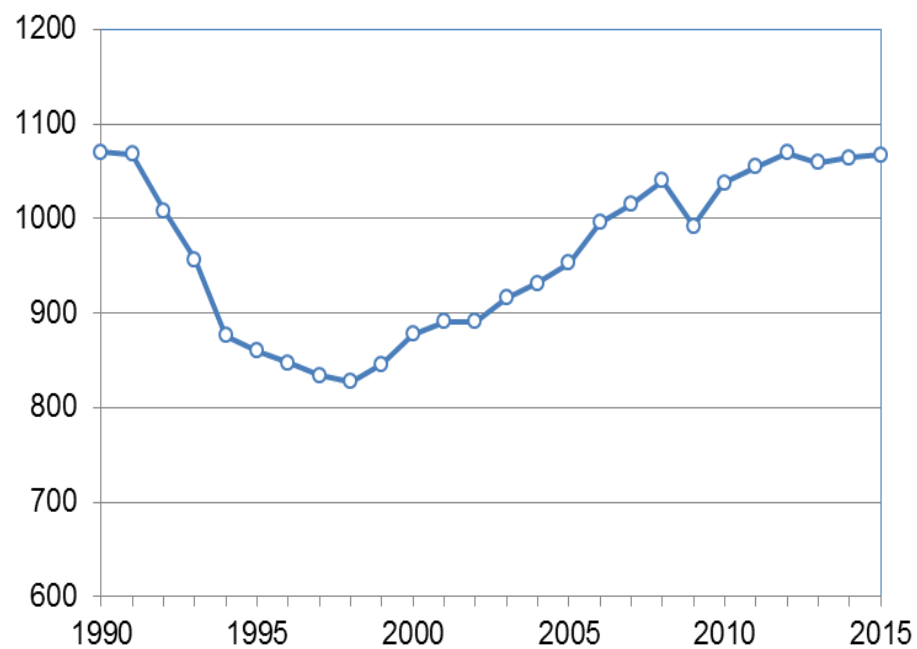
- большие избытки установленных мощностей (за счет старого оборудования);
- работа ТЭЦ в неэффективных режимах;
- несовершенство ценообразования (не стимулирует вывод старого оборудования);
- высокая степень износ основных фондов:
 - степень износа основных фондов - 42%; полностью изношены фонды – 11,5%.
 - в электросетевом хозяйстве объем оборудования со сверхнормативным сроком службы:
 - магистральные ЛЭП – 61%, распределительные ЛЭП – 42%;
 - крупные подстанции – 56%, распределительные подстанции – 61%;
 - в срочной замене нуждается 28,9% тепловых сетей (48 тыс. км), ветхие сети – 36 тыс. км.
- недостаточно эффективная система управления технологическими процессами в электроэнергетических и теплоснабжающих системах;
- чрезмерно высокая доля импортного оборудования (газовые турбины, трансформаторы).

Развитие электроэнергетики России в 1990-2015 гг.

Динамика суммарной установленной мощности электростанций, ГВт

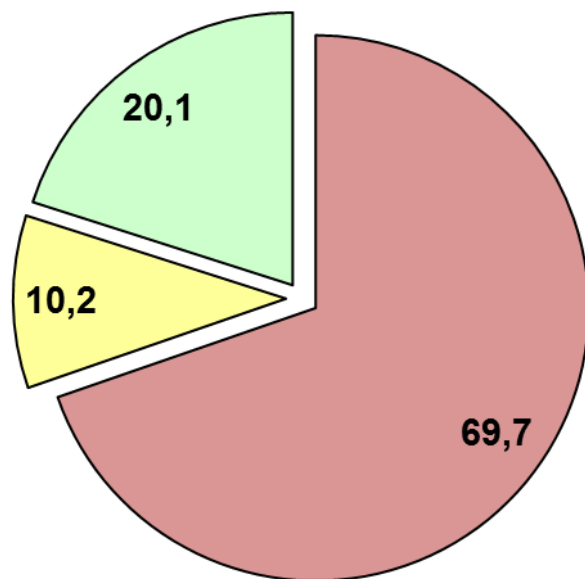


Динамика производства электроэнергии, млрд. кВтч



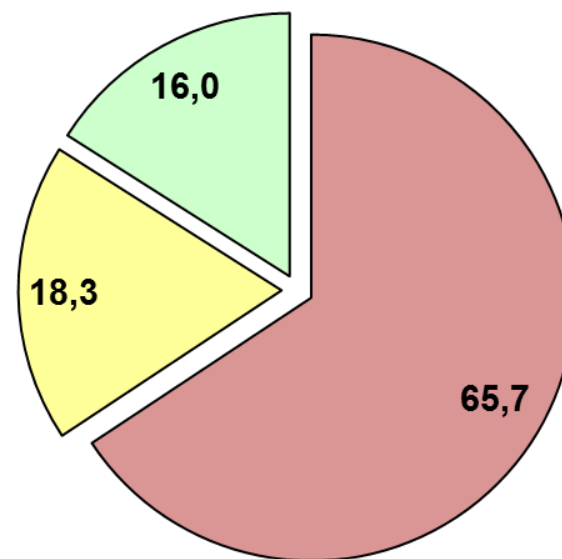
Структура электрогенерации, %

Структура установленной мощности по типам электростанций, %



■ ТЭС ■ АЭС ■ ВИЭ

Структура производства электроэнергии по типам электростанций, %



■ ТЭС ■ АЭС ■ ВИЭ

Электроэнергетика: основные задачи и ориентиры

❖ Основные задачи отрасли:

- модернизация действующего электрогенерирующего оборудования;
- вывод из эксплуатации старого неэффективного оборудования;
- повышение эффективности электрогенерации (обычной и ядерной);
- повышение безопасности действующих АЭС;
- снижение стоимости сооружения новых АЭС;
- замыкание ядерного топливного цикла (ЯТЦ) для экономии природного урана (в открытом ЯТЦ эффективность использования природного урана менее 1%, в замкнутом ЯТЦ – в 50 раз больше;
- развитие возобновляемой электроэнергетики;
- повышение надежности электро- и теплоснабжения;
- снижение потерь при передаче и распределении электрической и тепловой энергии;
- снижение негативного воздействия на окружающую среду и климат;
- обеспечение компромисса между централизованной и распределенной генерацией.

❖ Ориентиры развития отрасли на 2035 г. (относительно 2015 г.):

- увеличение производства электроэнергии в 1,3-1,4 раза (до 1380-1470 млрд. кВтч против 1064 в 2015 г.), в том числе
- ТЭС в 1,3 раза (с 697 до 904-925 млрд. кВтч);
- АЭС в 1,26-1,38 раза (с 195 до 246-269 млрд. кВтч);
- ГЭС в 1,18-1,35 раза (с 170 до 201-230 млрд. кВтч);
- ВИЭ (новые) в 15-23 раза (с 2 до 29-46 млрд. кВтч).

Электроэнергетика: приоритеты технологического развития (1):

1) Топливная электроэнергетика

- отечественные ГТУ большой мощности и ПГУ предельной эффективности на их основе;
- отечественный сервис импортного электрогенерирующего оборудования;
- конкурентоспособные отечественные технологии распределенной генерации (ГТУ малой мощности, микротурбины и газопоршневые установки);
- типовые угольные энергоблоки высокой эффективности для КЭС и ТЭЦ;
- когенерация на топливных элементах на природном газе;
- цифровые системы мониторинга и диагностики оборудования, прогнозирование остаточного ресурса.

2) Атомная энергетика

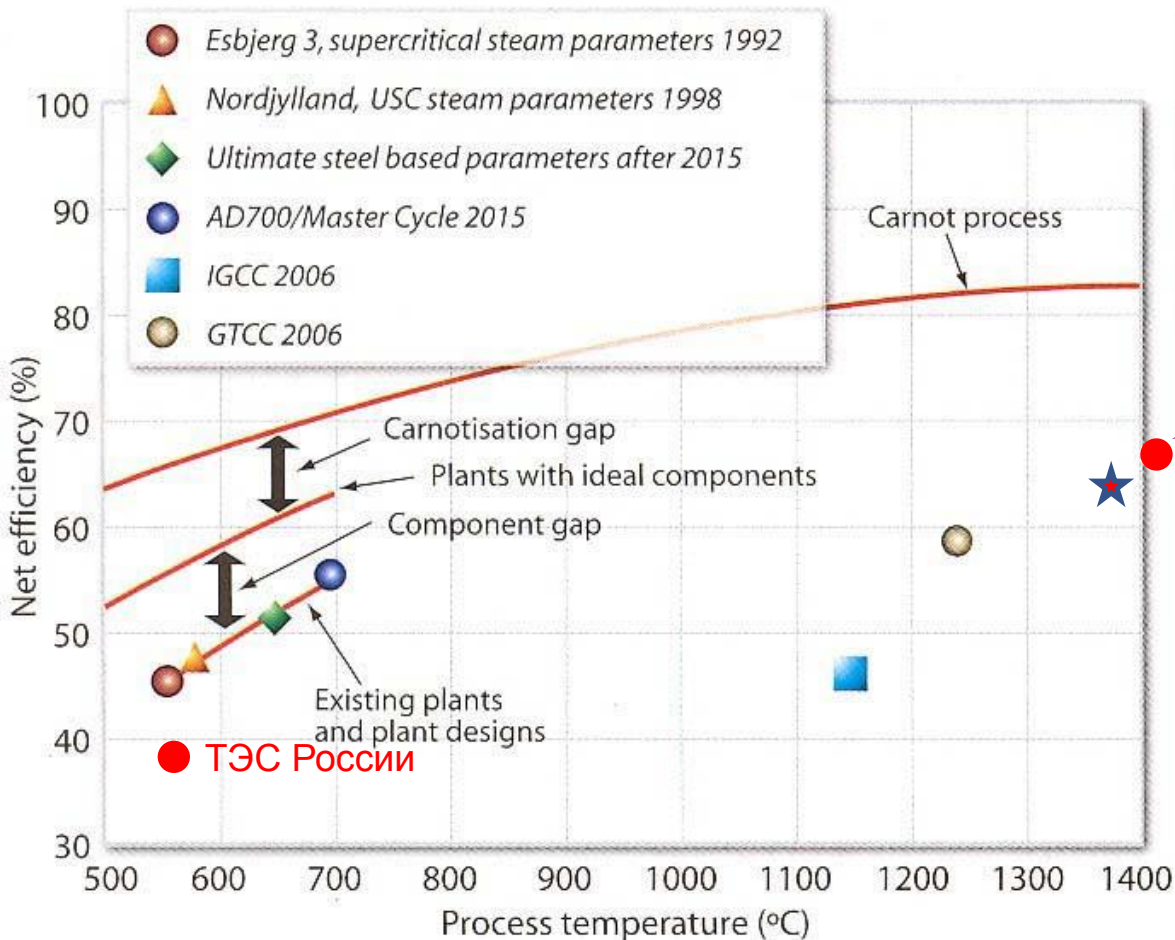
- ядерные реакторы 4-го поколения на тепловых нейтронах, в т.ч. малой мощности;
- ядерные реакторы на быстрых нейтронах;
- мини- и микро АЭС с безмашинными (термоэлектрическими и термоэмиссионными) преобразователями; *
- высокотемпературные ядерные реакторы; **
- технологии замыкания ядерного топливного цикла для реакторов на быстрых и тепловых нейтронах.

* Для энергоснабжения труднодоступных районов (арктических и т.п.).

** Для отдаленной перспективы (обеспечиваю существенное повышение КПД АЭС).

Потенциал повышения КПД теплоэнергетических установок:

Net efficiency (LHV) of seawater cooled ultrasupercritical plants



1. В мире эксплуатируется более 50 блоков ССКП.
2. Параметры 30МПа, 600/620С считаются освоенными.
3. КПД нетто: 1 ПП – до 43%
2 ПП – 47% (ТЭС Nordjylland-3)

Фирма Mitsubishi разрабатывает новую газовую турбину на $T=1700\text{ C}$, КПД ПГУ – 66,1%

Европейская Программа AD700

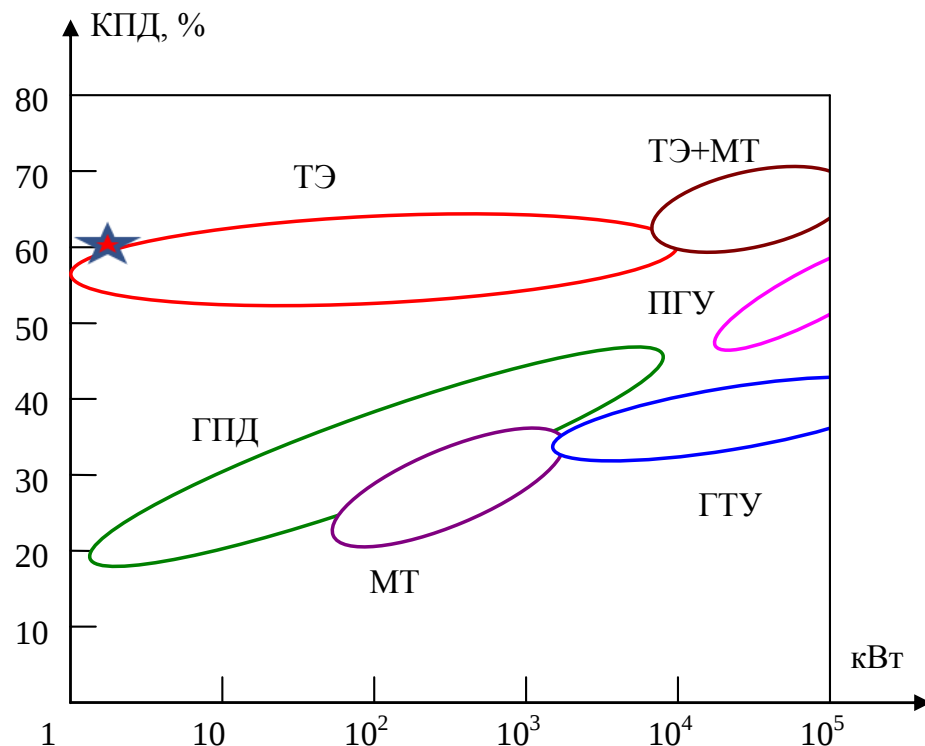
Целевые установки: создание блоков 400 и 930 МВт

- с 1 ПП 35МПа, 700/720С
- с 2 ПП 37,5МПа, 700/720/720С

КПД (нетто) блока 930 МВт:

- а) континентальная зона
 - с 1 ПП – 49,5%; с 2 ПП – 50,8%;
 - б) прибрежная зона
 - с 1 ПП – 50,8%; с 2 ПП – 52,4%;
- Ввод – 2015 г., освоение – 2020 г.

КПД производства электроэнергии различными технологиями мощностью 1 кВт-100 МВт:

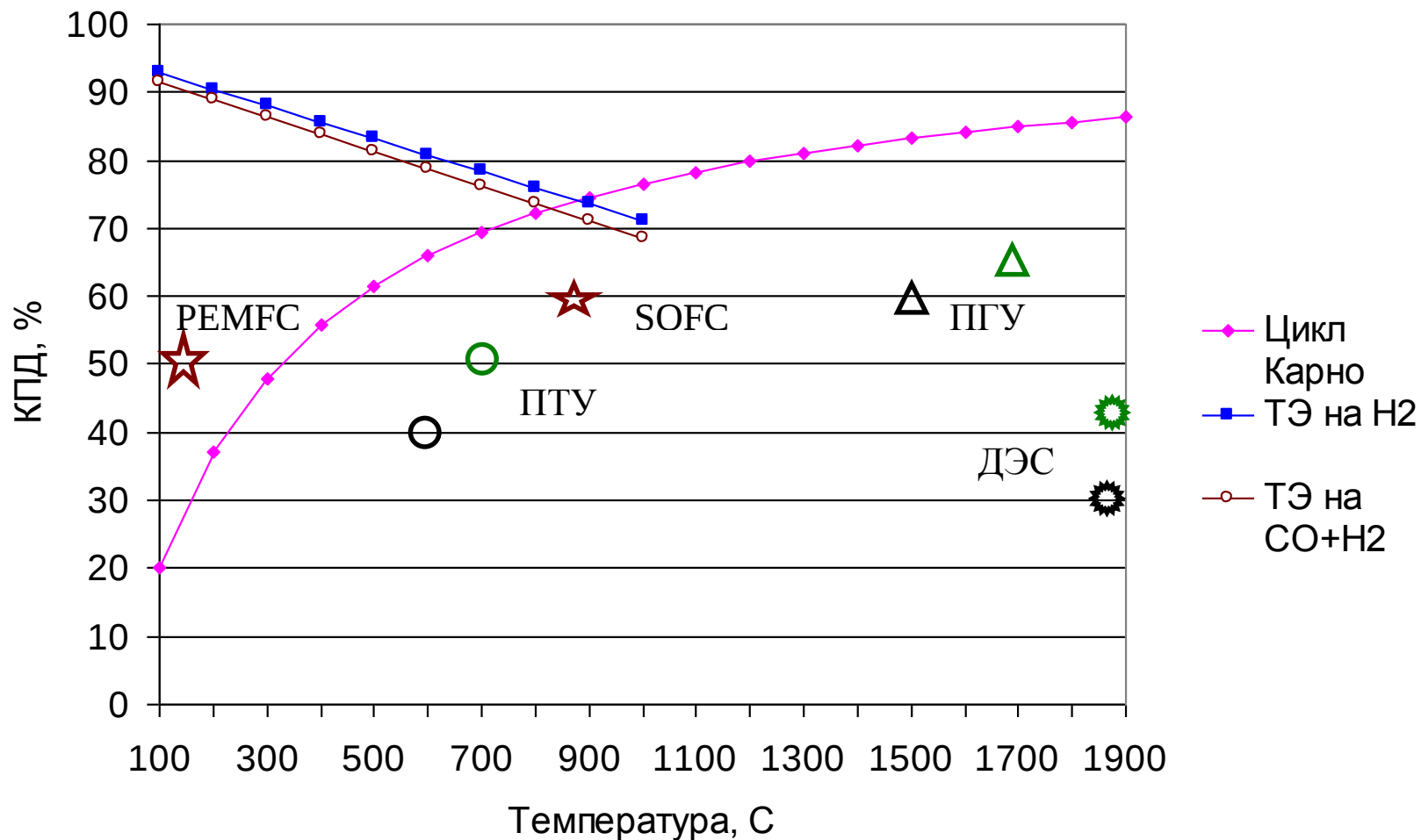


ГТУ - газотурбинные установки,
ПГУ - парогазовые установки,
ГПД - газопоршневые двигатели,
МТ - микротурбины,
ТЭ - топливные элементы,
ТЭ+МТ - гибридные установки.

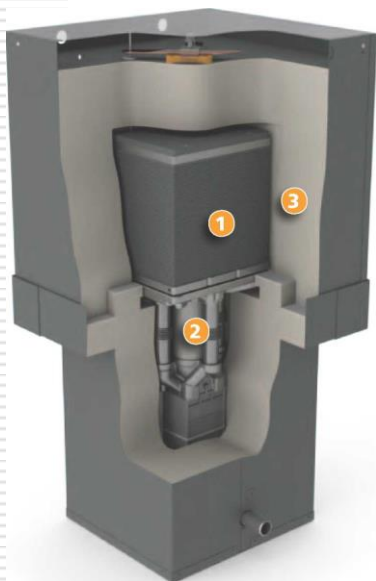
★ Замечание:
Электрический КПД установки
с ТЭ Genpex фирмы CFCL
мощностью 1,5 кВт составляет
60%. Но стоит очень дорого!

ВЫВОД: В диапазоне установленной электрической мощности от 1 кВт до 100 МВт топливные элементы вне конкуренции.

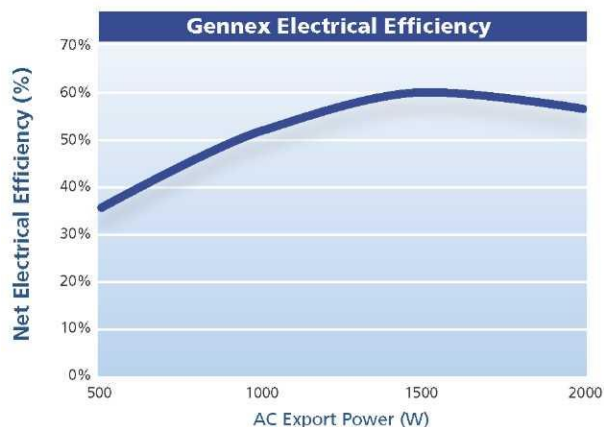
Теоретические КПД тепловых машин и топливных элементов & КПД действующих и новых энергоустановок



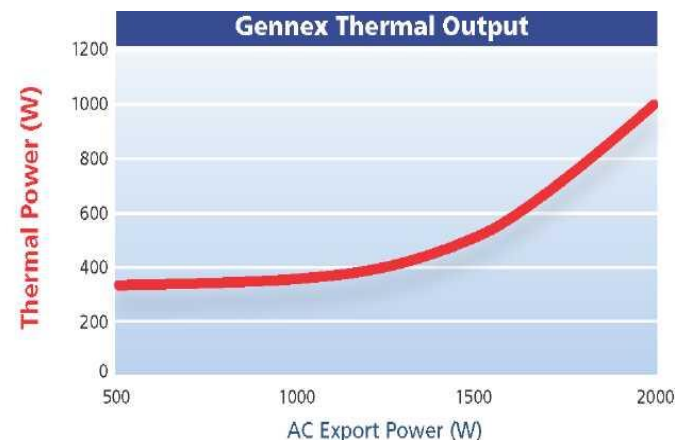
Когенерационная установка на базе топливных элементов Gennex фирмы CFCL мощностью 1,5 кВт эл.



1 – топливный элемент,
2 - блок вспомогательного оборудования (включает систему парового риформинга природного газа, парогенератор, компактные регенеративные теплообменники для нагрева топлива и воздуха высокотемпературным теплом продуктов реакции из ТЭ),
3- высокотемпературная изоляция.



Зависимость электрического КПД от электрической мощности ТЭ.

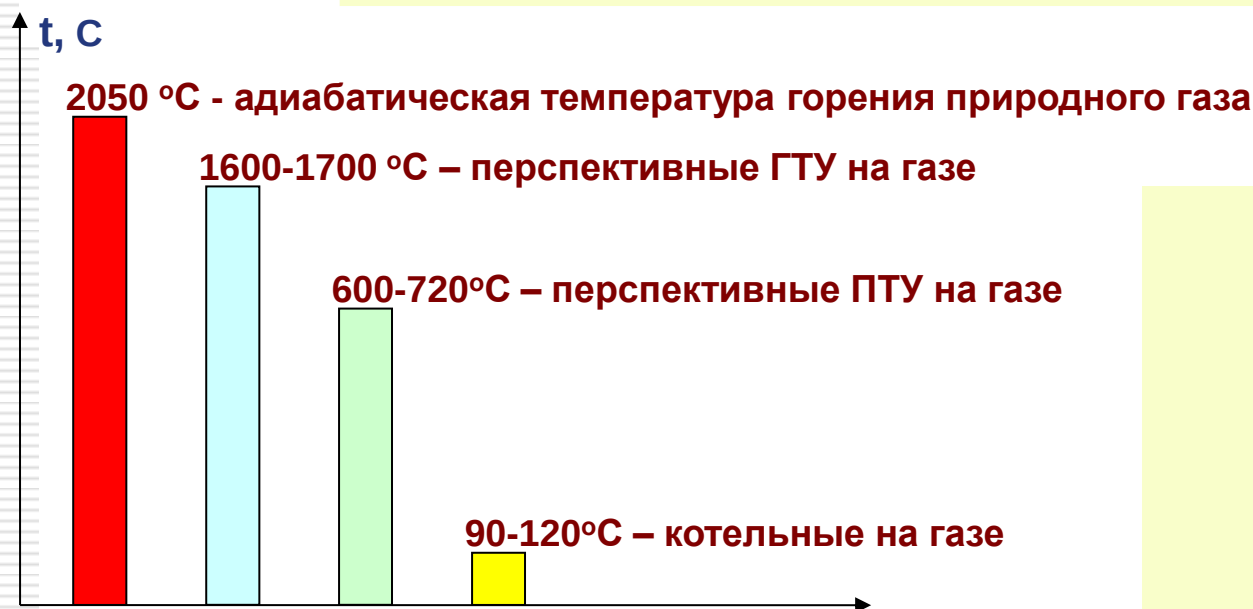


Зависимость тепловой мощности от электрической мощности ТЭ

Когенерации – эффективный способ энергосбережения

**Когенерация: максимально эффективное
использование потенциала топлива.**

**Когенерация - окно возможностей для России
(климат, традиции).**



Производство тепла:

Все котельные – **650 млн. Гкал**

в т.ч. газовые котельные (без сельских) мощностью более 20 МВт – **330 млн. Гкал**

Преобразование газовых котельных в мини-ТЭЦ

На нагрузку:	ГВт	млрд. кВтч
- на нагрузку ГВС	12-14	100
- на всю нагрузку	50-60	250

Россия (2015 г.):

- **257 ГВт**

- **1068 млрд. кВтч**

Электроэнергетика: приоритеты технологического развития (2)

3) Возобновляемая энергетика

- ветрогенераторы большой мощности наземного и морского базирования;
- каскадные фотопреобразователи с использованием полного спектра солнечного излучения;
- электрохимические аккумуляторы и суперконденсаторы;
- аккумулирование электроэнергии в водородном цикле.

4) Электросетевой комплекс

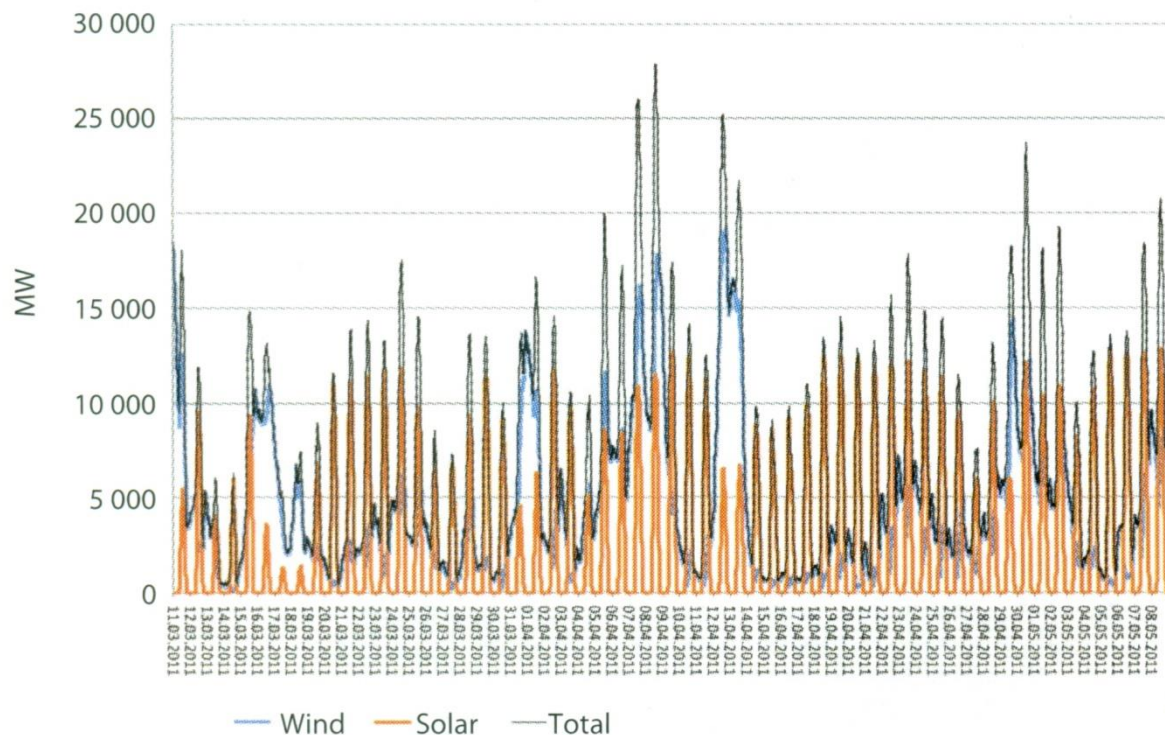
- активно-адаптивные сети с интеллектуальной системой управления;
- новые токопроводящие материалы;
- цифровая электротехника и силовая электроника,
- «сетевые» накопители электроэнергии;
- цифровые электросетевые технологии потребительского уровня («микрогрид», «энергетический Интернет»).

5) Теплосетевой комплекс

- новые материалы для теплопроводов с большим сроком службы и низким гидравлическим сопротивлением;
- высокоэффективные тепло- и гидроизоляционные материалы;
- теплопроводы высокой заводской готовности, надежная запорно-регулирующая арматура;
- новые функциональные покрытия с низкой адгезией к солям жесткости, малой шероховатостью и высокими антикоррозионными свойствами;
- интеллектуальные системы управления режимами функционирования тепловых сетей.

Генерация электрической мощности ВЭС и СЭС Германии

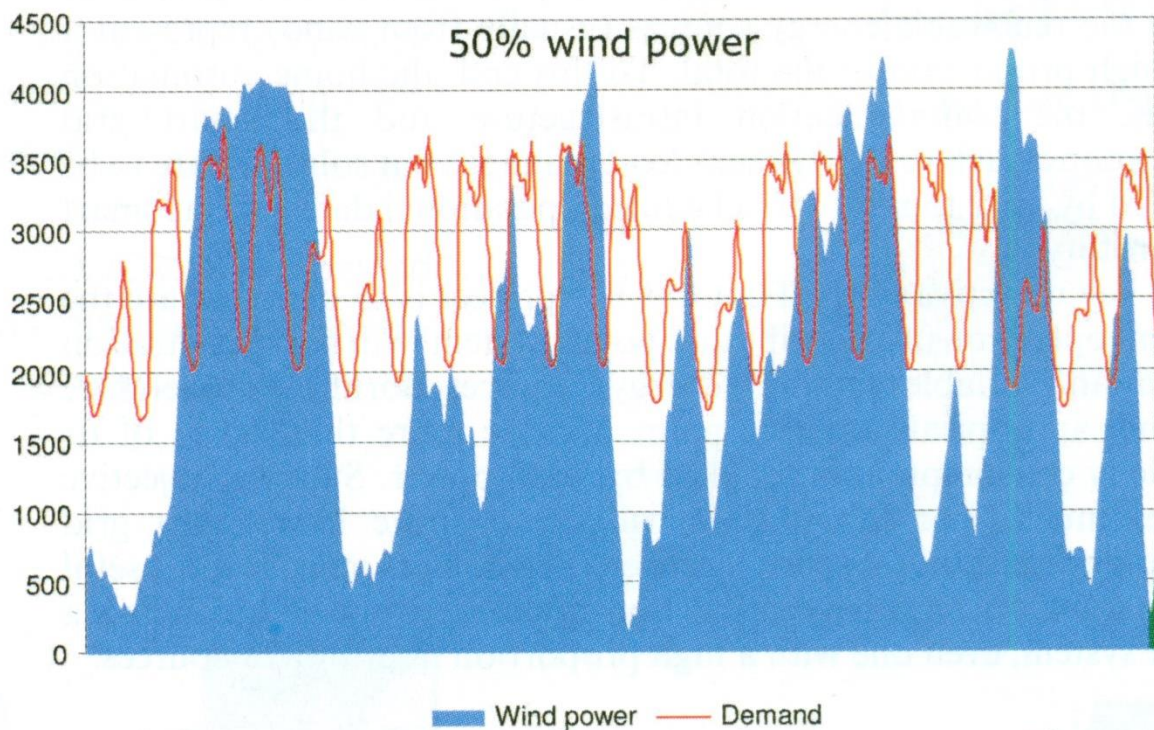
(в период с 11.03.2011 г. по 08.05.2012 г.)



В полуденные часы 25 и 26 мая 2012 г. солнечные электростанции Германии впервые обеспечивали около 50% производимой в стране электроэнергии, а выдаваемая ими электрическая мощность достигла 22 ГВт.

Микрогрид: проект E-Energy (Германия)

«E-Energy: ИКТ-based energy system of the future»
(т.е. «Энергосистема будущего на базе
информационно-коммуникационных технологий»).



Режимы генерации и потребления электроэнергии

Демонстрационный проект микро-грид на базе фотоэлектрических преобразователей

Пилотный проект: Город Ота, Префектура Гунма (на север от Токио)



Начало эксперимента – 2002 г.

Оборудовано ФЭГ 550 зданий.

Число жителей - 3 тысячи.

Мощность системы – 2130 кВт.

Средняя мощность ФЭГ на здании – 3,85 кВт.

Около 30% зданий имеют мощность ФЭГ 4-4,5 кВт.

Удельное поступление солнечной энергии – 1300 кВтч/м² в год.

Цель проекта – отработать технические и институциональные вопросы создания локальной системы электроснабжения на основе индивидуальных фотоэлектрических генераторов (ФЭГ).

Нововоронежская АЭС: днем и ночью



Нововоронежская АЭС, общий вид (<http://www.novnp.rosenergoatom.ru/>)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

**Институт энергетических исследований
Российской академии наук (ИНЭИ РАН)**

