

Трансформация методов и моделей для планирования энергосистем с учетом развития низкоуглеродных технологий тепловой генерации

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20354)

MLSD'2019, ИПУ РАН

Панкрушина Т. Г., Хоршев А.А. (ИНЭИ РАН)

Москва, 2 октября 2019 г.



Низкоуглеродные энерготехнологии (НЭТ)

Повышение энергоэффективности
+
Сдерживание эмиссии ПГ

ВИЭ, АЭС,
ГЭС

ТЭС

- 1) Крупные ТЭЦ и КЭС (системная генерация)
!!! Новое строительство и обновление
- 1) Распределенная генерация (РГ) и когенерация (РКГ)

- На ТЭС приходится около 67,9 % установленной мощности ЕЭС России
- ПГУ и ГТУ составляют 20 % мощности ТЭС ЕЭС России

Подход к оценке эффективности НЭТ

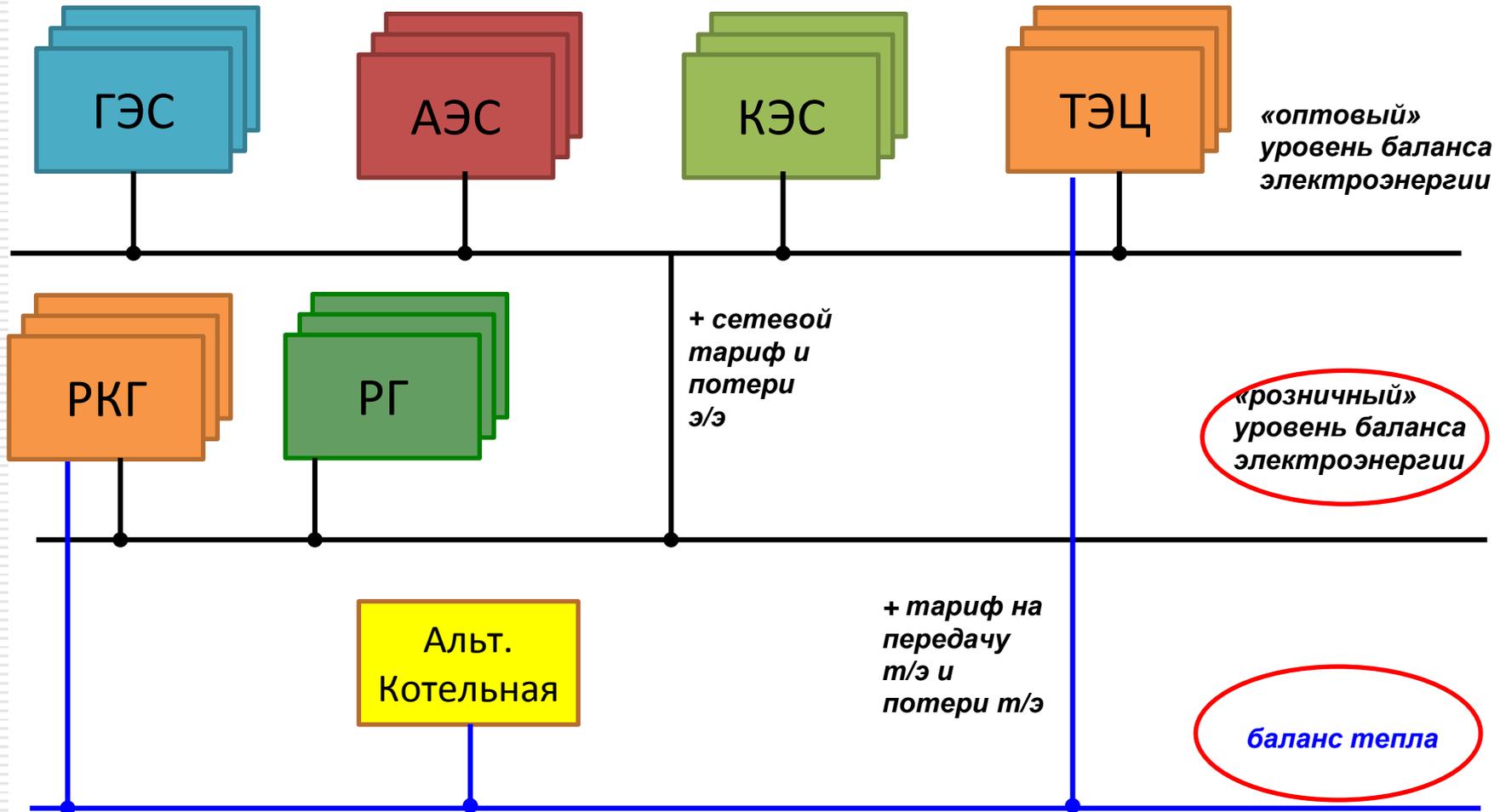
Количественная оценка потенциальных масштабов развития осуществляется в несколько этапов:

- **На первом этапе** оценивается **конкурентоспособность** НЭТ по критерию удельной стоимости электроэнергии (LCOE)
- **На втором этапе** при помощи оптимизационного модельного инструментария оцениваются **потенциальные масштабы развития** этих технологий **в энергосистеме** в заданной системе прогнозных балансовых ограничений по потребности в электроэнергии, мощности, централизованного тепла.

Особенности учета РГ и РКГ при оценке потенциальных масштабов развития

- а) **технико-экономические сравнения конкурирующих технологий электро- и теплоснабжения перемещаются на уровень конечного потребителя, что делает необходимым учет затрат на транспорт тепла и электроэнергии от источника до потребителя хотя бы укрупненно;**
- б) **эффективность распределенной когенерации для потребителя – это всегда коммерческий выбор, который определяется сравнением LCOE для его собственного источника и цен на розничном рынке; таким образом, итоговый экономический выбор осуществляется не через конкуренцию разных технологий, а через конкуренцию с розничной ценой;**
- в) **серьезная переконфигурация модельного инструментария, ранее применявшегося для оптимизации системы балансов мощности, электроэнергии и тепла «в целом» по энергосистеме, с выделением нового производственного сегмента электроэнергетики, технологически и экономически приближенного к потребителю, который в случае когенерации к тому же является участником сразу двух рынков – электроэнергии (и мощности) и тепла.**

НЭТ на рынках тепла и электроэнергии



Изменения модельного инструментария

Баланс электроэнергии формируется не только на «оптовом» (энергосистема в целом), но и «розничном» уровне (уровень конечного потребителя)

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_i W_{i,r,t} + \sum_s (W_{s,r,t}^{действие} + W_{s,r,t}^{нов}) &= E_{r,t}^{эсеть} + \sum_s (W_{r,s,t}^{действие} + W_{r,s,t}^{нов}), i \notin I^{MG} \\ (1 - K_{\vartheta(r)}^{nom}) \cdot E_{r,g}^{эсеть} + \sum_i W_{i,r,t} &= E_{r,t}^{э\vartheta} / (1 + K_{\vartheta(r)}^{nom}), i \in I^{MG} \end{aligned} \right.$$

Баланс тепла также формируется двухуровневым:

- Баланс отпуска тепла крупной генерацией в магистральную сеть
- Баланс тепла у конечных потребителей

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i \notin I^{MG}} q_{i,r,t} \cdot X_{i,r,t} + \sum_{i \in I_1^{kom}} H_{i,r,t}^{kom} \cdot G_{i,r,t}^{нов} &= E_{r,t}^{тэсеть} \\ (1 - K_{m(r)}^{nom}) \cdot E_{r,t}^{тэсеть} + \sum_{i \in I_2^{kom}} H_{i,r,t}^{kom} \cdot G_{i,r,t}^{нов} + \sum_{i \in I^{MG}} q_{i,r,t} \cdot X_{i,r,t} &= E_{r,t}^{мэ} / (1 + K_{m(r)}^{nom}) \end{aligned} \right.$$

В целевой функции необходимо дополнительно учесть затраты на транспорт электроэнергии и тепла с одного уровня на другой

$$C_{opt} = \sum_t \sum_r (k_{r,t}^{эсеть} \cdot E_{r,t}^{эсеть} + k_{r,t}^{тэсеть} \cdot E_{r,t}^{тэсеть}) \cdot \frac{1}{(1+d)^t}$$

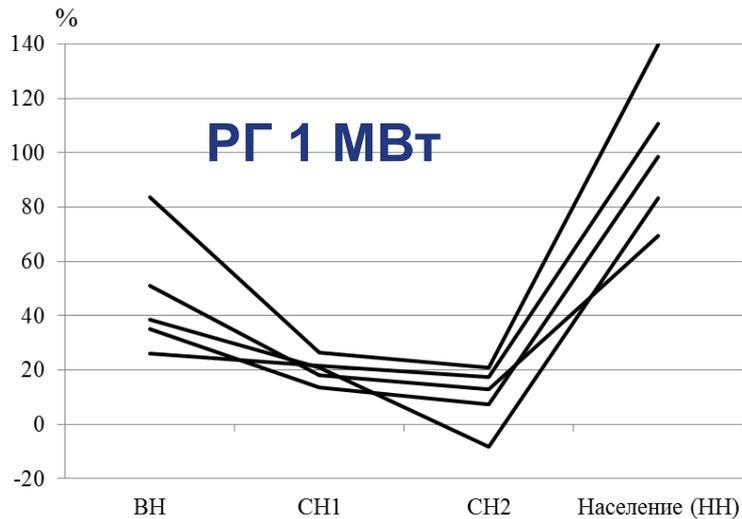
Укрупненные ТЭП

Показатель	ГПА	ГТУ
Установленная мощность энергоблока, МВт	1	1
Удельные капиталовложения, тыс. руб. 2018 г./кВт	81,4 – 97,7	74,0 – 88,8
Условно-постоянные затраты, % от УКВ	5	4,5
КПД, %	41 – 42	30 – 32

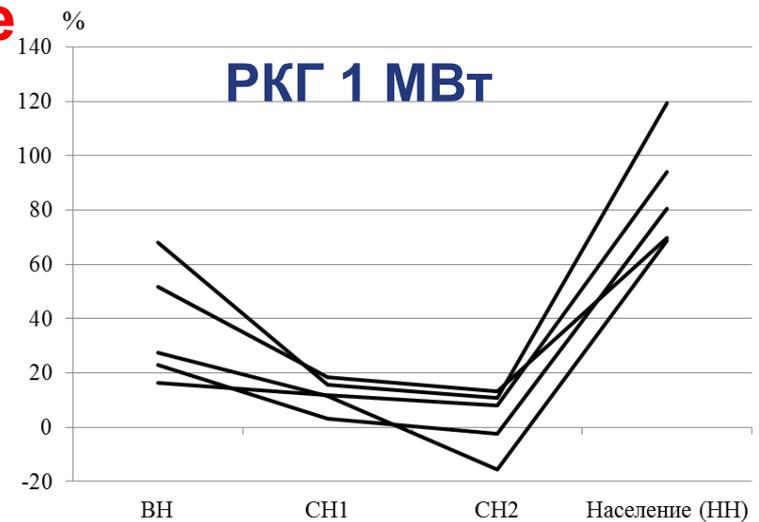
Показатель	АЭС	ПГЭС	КЭС на угле СКП
Установленная мощность энергоблока, МВт	1255	400	660
Удельные капиталовложения, тыс. руб. 2018 г./кВт	106,8	36,0	66,1
Условно-постоянные затраты, % от УКВ	2,2	3,0	2,9
Топливная составляющая (руб. 2018 г./кВт·ч)/ удельный расход топлива (кг у. т./кВт·ч)	0,26	0,225	0,320
Коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды, %	6,5	3,3	6,9

Розничные тарифы vs. LCOE

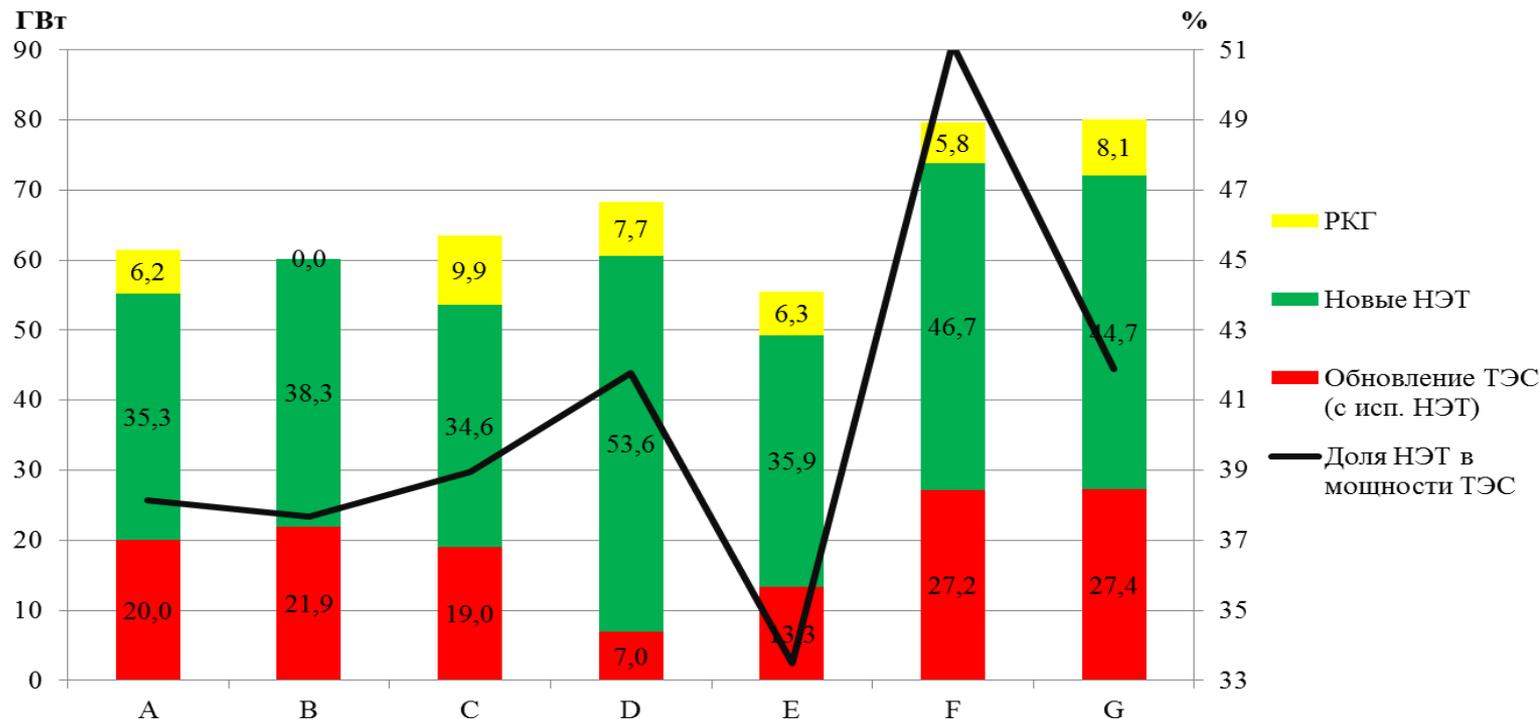
Субъект РФ	Иваново	Калуга	Липецк	Рязань	Тамбов
ВН	3,66	3,95	2,82	3,41	4,01
СН1	4,20	4,70	4,11	4,37	4,17
СН2	5,54	4,98	4,28	4,57	4,32
НН (Население)	2,77	2,69	2,16	3,05	2,40
LCOE РГ 1 МВт	5,01-5,83	5,30-6,06	5,12-5,92	5,09-5,90	4,99-5,82
LCOE РКГ 1 МВт	4,31-5,92	4,51-6,08	4,39-5,98	4,37-5,97	4,29-5,91



**Низкие
УКВ**



Изменение масштабов развития НЭТ в 2040 г. под влиянием факторов неопределенности

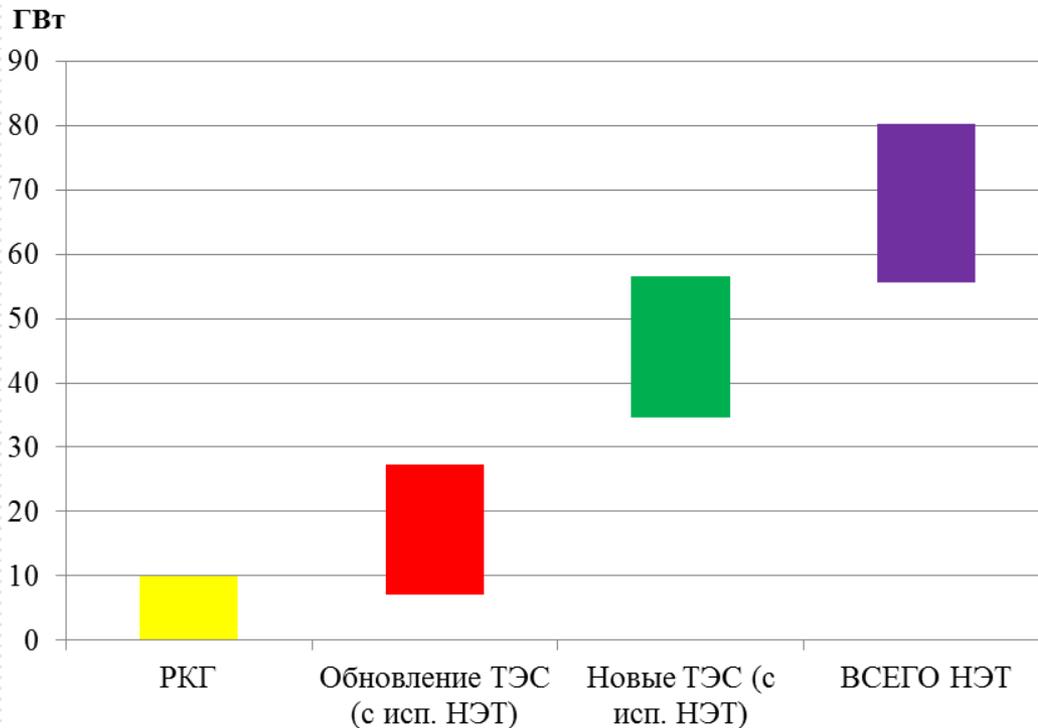


	A	B	C	D	E	F	G
УКВ крупных ТЭС и АЭС / РГ	Низкие / Высокие						
Норма дисконта, %	7,5	7,5	7,5	7,5	10	7,5	7,5
Плата за выбросы CO ₂ , руб./т CO ₂	-	-	-	-	-	1200	-
Цены газа	высокие	высокие	высокие	низкие	высокие	высокие	высокие
Ограничение на ввод АЭС, бл./год	-	-	-	-	-	-	1
Стоимость передачи э/э с оптового уровня на розничный	среднее	нет	ВН	среднее	среднее	среднее	среднее

Выводы

- **Стоимость «доведения» электроэнергии до конечного потребителя** определяет эффективность и масштабы развития РКГ, но не оказывает значительного влияния на масштабы развития НЭТ
- **Цены газа** существенно влияют на изменение суммарных масштабов развития НЭТ (при низких ценах газа увеличиваются суммарные масштабы развития НЭТ в основном за счет сооружения новых ТЭС; при высоких ценах газа целесообразно обновление ТЭС с использованием НЭТ, однако масштабы развития НЭТ тепловой энергетики будут ниже)
- **Норма дисконта** оказывает значительное влияние на долю НЭТ в суммарной мощности ТЭС (увеличение нормы дисконта приведет к отказу от капиталоемких мероприятий по обновлению ТЭС)
- **Введение платы за выбросы CO₂** приведет к существенному увеличению масштабов развития НЭТ, однако только в части крупной «системной» генерации (как за счет нового строительства, так и обновления действующих ТЭС)
- **Ограничение на масштабы развития АЭС** (основного конкурента НЭТ) будет способствовать дополнительному росту масштабов развития НЭТ в тепловой энергетике, однако параллельное развитие угольной генерации ограничит долю НЭТ в структуре установленной мощности ТЭС

Диапазоны изменения оптимальных масштабов развития НЭТ в 2040 г.



Под влиянием изменения рассматриваемых факторов неопределенности, масштаб развития отдельных сегментов НЭТ будет варьироваться. Однако при всех сочетаниях исходных данных **суммарные масштабы развития НЭТ в тепловой энергетике на уровне 2040 г. будут находиться в диапазоне 56 – 80 ГВт.**

Даже, если дополнительно рассматривать реконструкцию действующих котельных на газе (за счет малых ГПУ и ГТУ), то увеличение масштабов развития РКГ будет компенсироваться снижением объемов вводов НЭТ в крупной тепловой энергетике (в основном нового строительства).

Суммарные масштабы развития НЭТ в тепловой энергетике достаточно устойчивы и на уровне 2040 г. находятся в диапазоне 60 - 80 ГВт.

Институт энергетических исследований РАН

www.eriras.ru

info@eriras.ru

Хоршев А.А. epos@eriras.ru

Панкрушина Т.Г. t.pankrushina@eriras.ru

Спасибо за внимание!