

# Методический подход к оценке оптимальных масштабов развития распределенной когенерации в ЕЭС России на долгосрочную перспективу

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

«Системные исследования в энергетике – 2019», ИСЭМ СО РАН

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

Иркутск, 28-30 мая 2019 г.



# Распределенная генерация в России

По данным Росстата в 2016 г. в России работало более **36 тыс.** электростанций мощностью не более 25 МВт (мощностью около 13 ГВт).

Около **4,5 ГВт** используются потребителями, подключенными к ЕЭС, для резервирования поставок из сети и самообеспечения электрической энергией и теплом.

Относительный прирост общей установленной мощности электростанций до 25 МВт за последние 10 лет составил **около 30 %**, а крупных электростанций - **15,5 %**. Таким образом, доля РГ в суммарной мощности электростанций России увеличилась с 4,5 до 4,9 %, а в производстве электроэнергии – с 2,0 до 2,6 %.

Поворот потребителей к собственным ТЭЦ малой мощности в последние годы является естественной рыночной реакцией на сложность и дороговизну подключения к тепловым и электрическим сетям в централизованной зоне, а также на высокие тарифы при низком качестве электро- и теплоснабжения.

## Подход к оценке РГ и РКГ

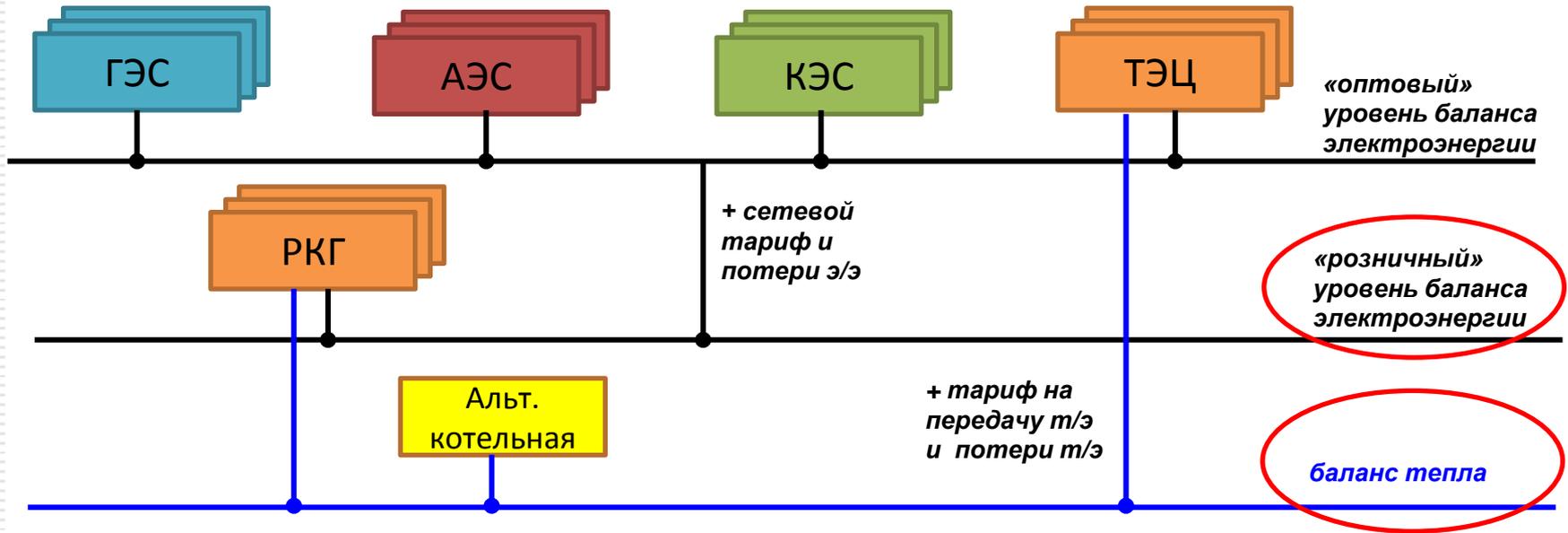
Количественная оценка потенциальных масштабов развития распределенной тепловой генерации/когенерации, осуществляется в несколько этапов (аналогично оценке крупной «системной» генерации):

- **На первом этапе** оценивается **конкурентоспособность** распределенной генерации/когенерации 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 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.**

# РКГ на рынках тепла и электроэнергии



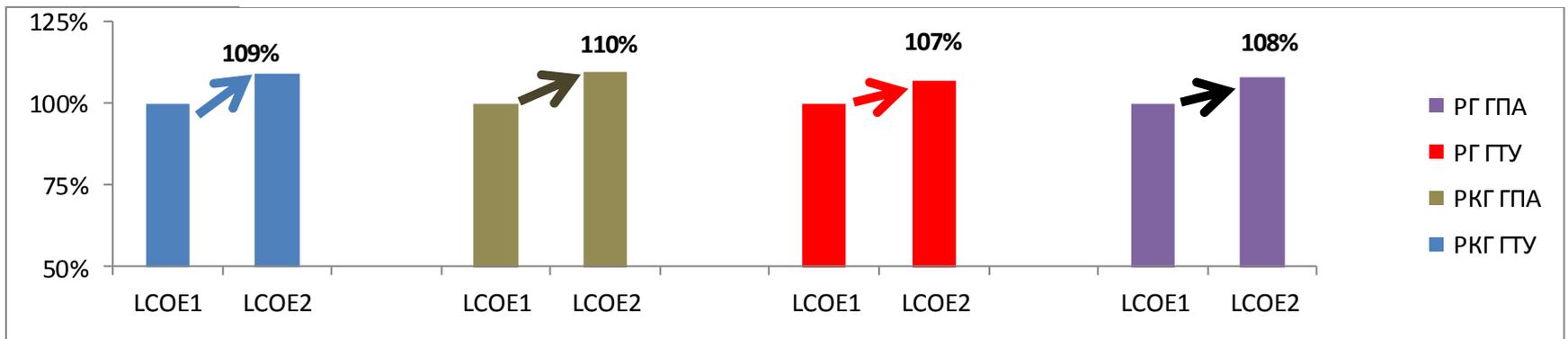
# Критерии оценки конкурентоспособности

Классический подход – сопоставление технологий по условиям общественной эффективности (IEA, IAEA, IRENA, NEA)

$$LCOE1 = \frac{\sum_{t=1}^T (KB^t + I_{\text{топл}}^t + I_{\text{пост}}^t + \text{Дем}^t + I_{\text{CO}_2}^t) / (1+d)^t}{\sum_{t=1}^T \bar{W}^t / (1+d)^t}$$

При сопоставление технологий по условиям коммерческой эффективности (EIA, NREL, EPRI, Bloomberg)

$$LCOE2 = \frac{I_{\text{топл}} + I_{\text{пост}} + I_{\text{CO}_2} + I_{\text{налог}} + (KB_{\text{прис}}^{\Sigma} \cdot A) / (1 - \text{НП}) - P_{\text{heat}} \cdot Q}{\bar{W}}$$



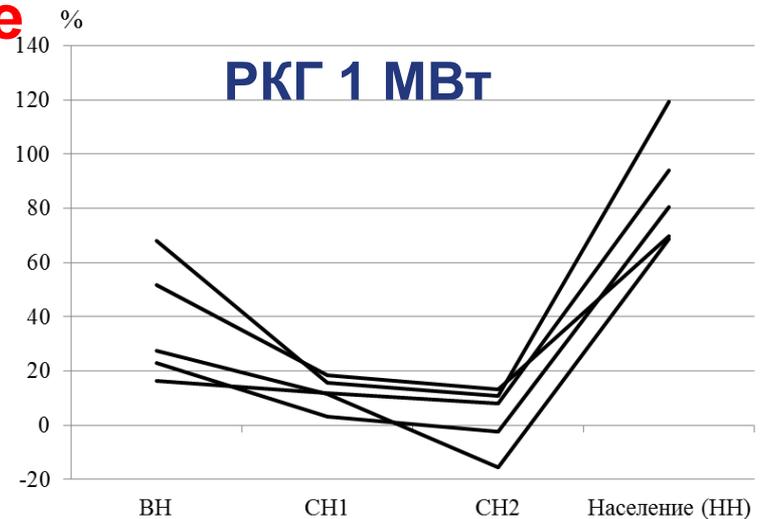
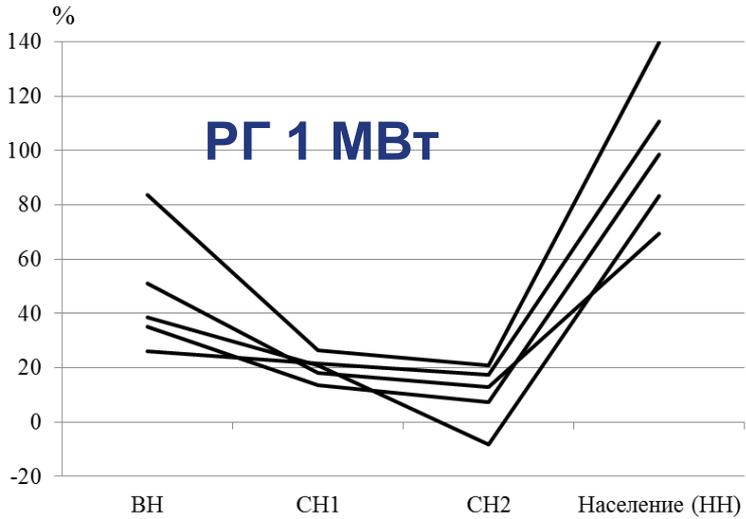
# Розничные тарифы vs. LCOE РГ и РКГ

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

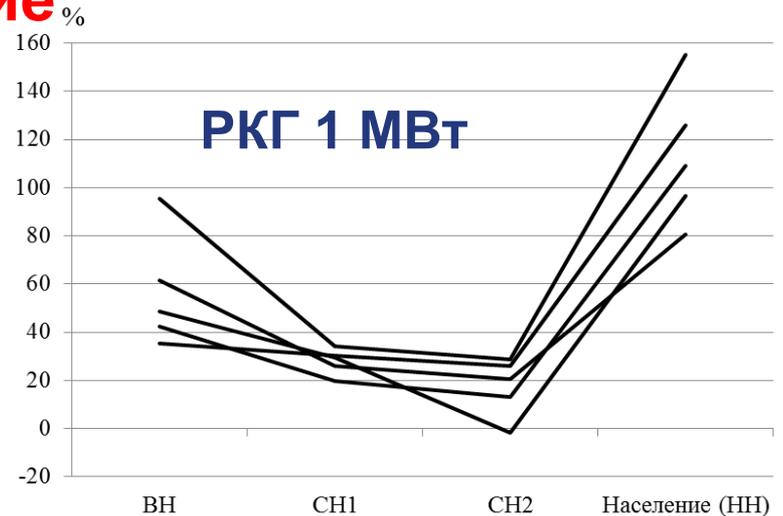
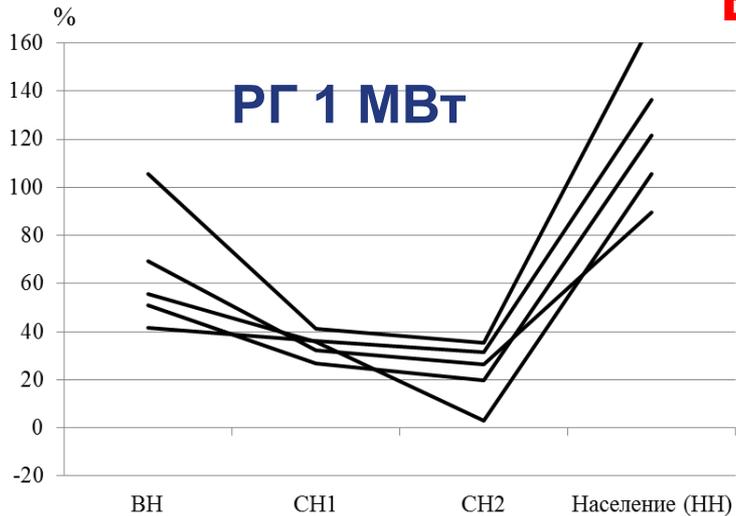
Субъект РФ	Иваново	Калуга	Липецк	Рязань	Тамбов
ВН	3,66	3,95	2,82	3,41	4,01
СН1	4,20	4,70	4,11	4,37	4,17
СН2	5,54	4,98	4,28	4,57	4,32
НН (Население)	2,77	2,69	2,16	3,05	2,40
LCOE РГ 1 МВт	5,01-5,83	5,30-6,06	5,12-5,92	5,09-5,90	4,99-5,82
LCOE РКГ 1 МВт	4,31-5,92	4,51-6,08	4,39-5,98	4,37-5,97	4,29-5,91

# LCOE РГ и РКГ 1 МВт при варьировании УКВ

**Низкие  
УКВ**



**Высокие  
УКВ**



# Изменения модельного инструментария

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

$$\begin{cases} \sum_i W_{i,r,t} + \sum_s (W_{s,r,t}^{действие} + W_{s,r,t}^{нов}) = E_{r,t}^{ээсеть} + \sum_s (W_{r,s,t}^{действие} + W_{r,s,t}^{нов}), i \notin I^{MG} \\ (1 - K_{\vartheta(r)}^{nom}) \cdot E_{r,g}^{ээсеть} + \sum_i W_{i,r,t} = E_{r,t}^{ээ} / (1 + K_{\vartheta(r)}^{nom}), i \in I^{MG} \end{cases}$$

**Баланс тепла** также формируется двухуровневым:

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

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

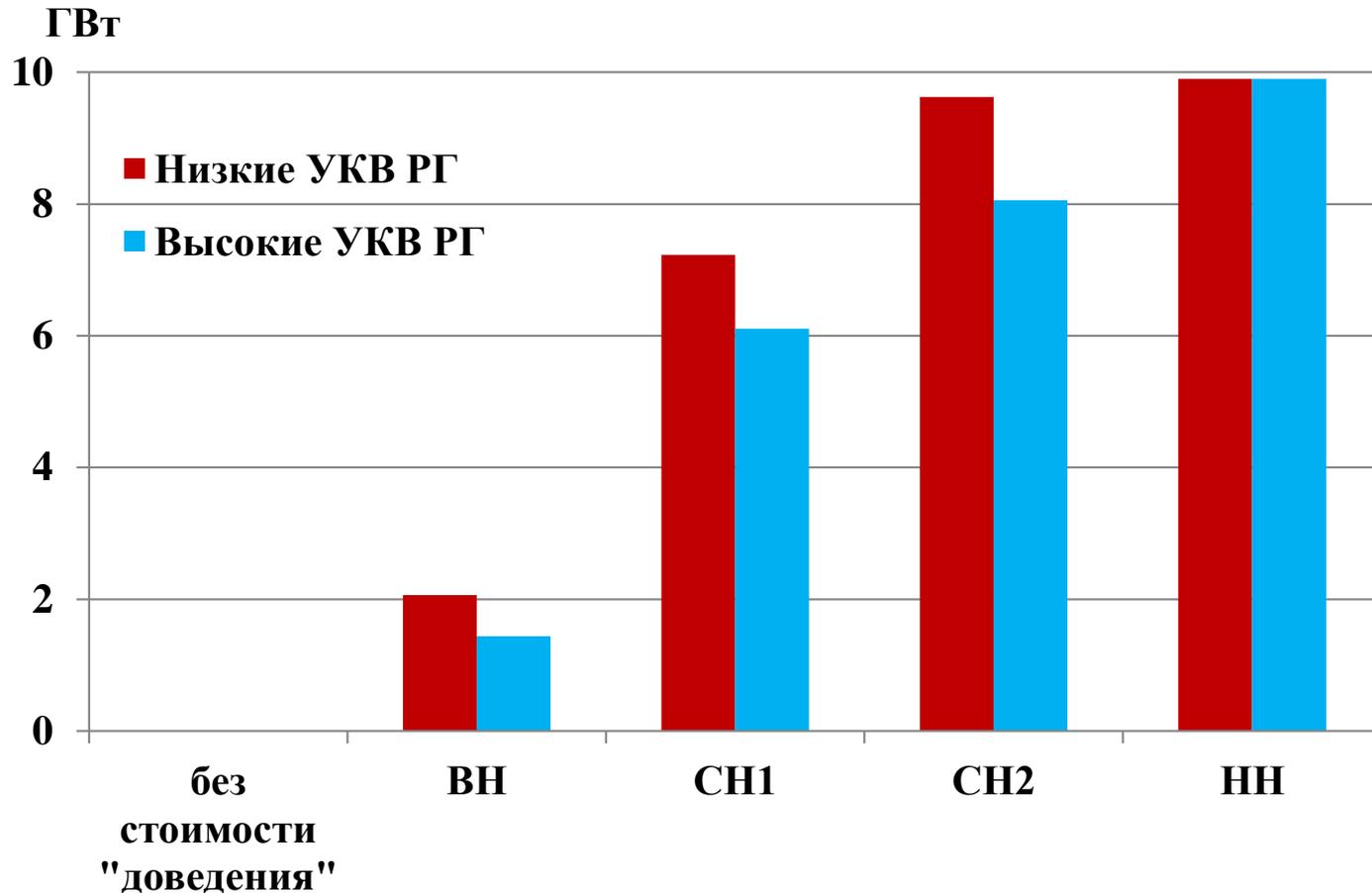
**В целевой функции** необходимо дополнительно учесть затраты на транспорт электроэнергии и тепла с одного уровня на другой

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

# Технико-экономические показатели крупных станций

Показатель	АЭС	ПГЭС	КЭС на угле СКП
Установленная мощность энергоблока, МВт	1255	400	660
Удельные капиталовложения, тыс. руб. 2018 г./кВт	<u>106,8</u>	<u>36,0</u>	<u>66,1</u>
	124,3	45,0	73,6
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

## Зависимость оптимальных масштабов развития РГК в ЕЭС России в 2040 г. от УКВ в РГ и стоимости передачи э/э



-Без модификации модели (т. е. при конкуренции РГК на оптовом рынке) ее развитие неэффективно

-Для категории ВН эффективные масштабы не превысят 1,5-2 ГВт

-Для категории НН масштаб развития РГК достигнут предельного значения (при принятых допущениях)

**Институт энергетических исследований РАН**

[www.eriras.ru](http://www.eriras.ru)

[info@eriras.ru](mailto:info@eriras.ru)

**Хоршев А.А. [epos@eriras.ru](mailto:epos@eriras.ru)**

**Панкрушина Т.Г. [t.pankrushina@eriras.ru](mailto:t.pankrushina@eriras.ru)**

**Спасибо за внимание!**