

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГО И ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ КРЫМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЩНОСТЕЙ РОСТОВСКОЙ АЭС И «АККУМУЛЯТОРНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ-РЕГУЛЯТОРОВ» (АПР)

Сопленков К.И., Чаховский В.М., Молошников А.С., АО «ВНИИАЭС», г. Москва
Стаценко И.Н., ИПТС РАН, г. Севастополь
Анисимов А.М., ООО «Энергоресурс-Т», г. Петрозаводск

Энергосистема РФ (как и зарубежные энергосистемы) характеризуются неравномерным графиком несения нагрузки. В ночное время (~ 8 часов) снижение мощности энергосистемы РФ составляет от 20 % до 30 % $N_{ном}$.

На рис. 1 представлен типичный график несения нагрузки, который характеризуется коэффициентом неравномерности

$$K_{нер} = N_{min} / N_{max}$$

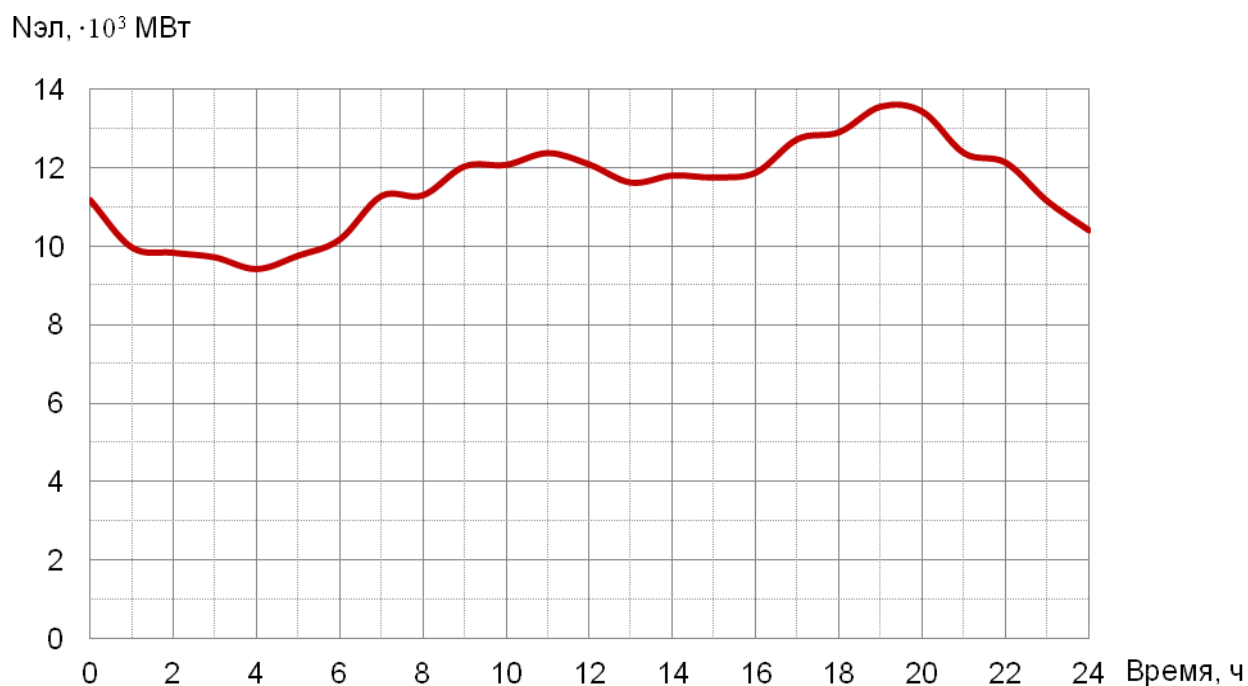
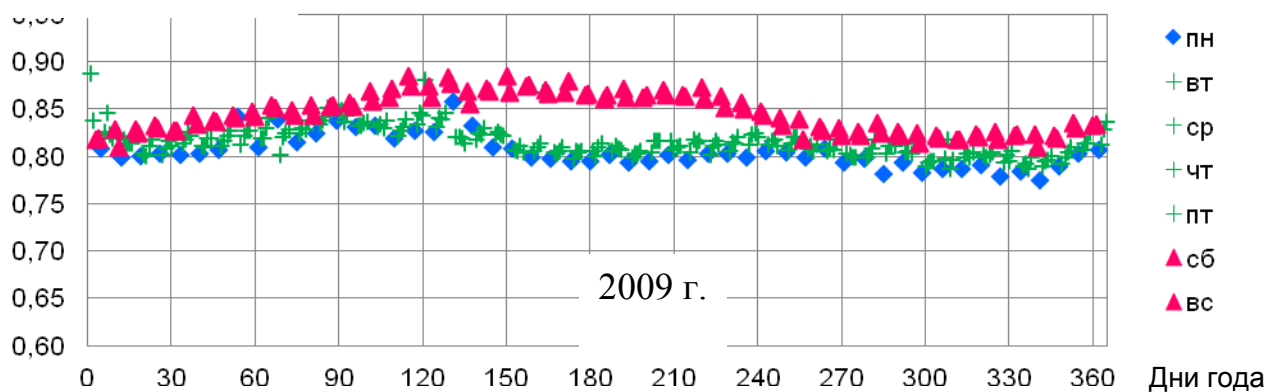


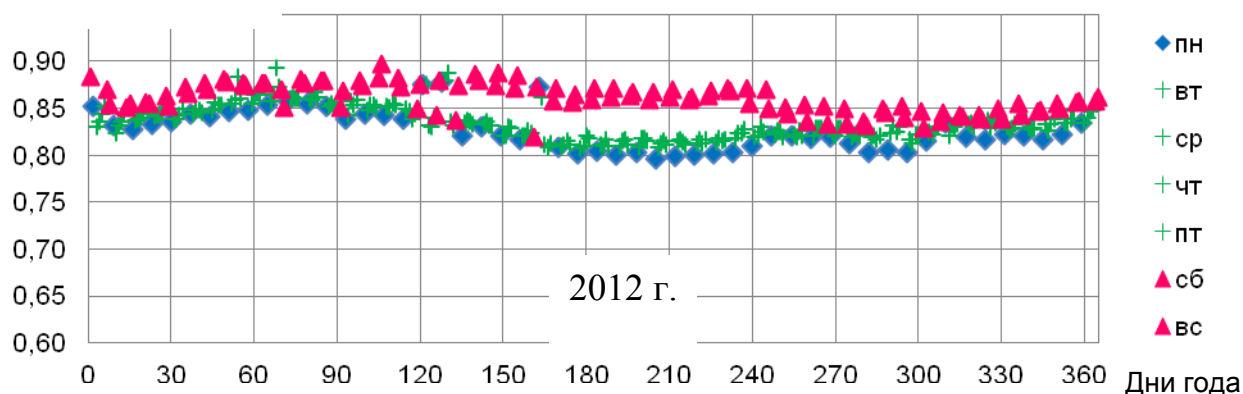
Рис. 1

На рис. 2 представлены значения $K_{нер}$ в 2009, 2012, 2014 гг. Отметим консерватизм коэффициента неравномерности $K_{нер}$ и достаточно высокое значение $\sim 0,8$.

$$K_{нер} = N_{min} / N_{max}$$



$$K_{нер} = N_{min} / N_{max}$$



$$K_{нер} = N_{min} / N_{max}$$

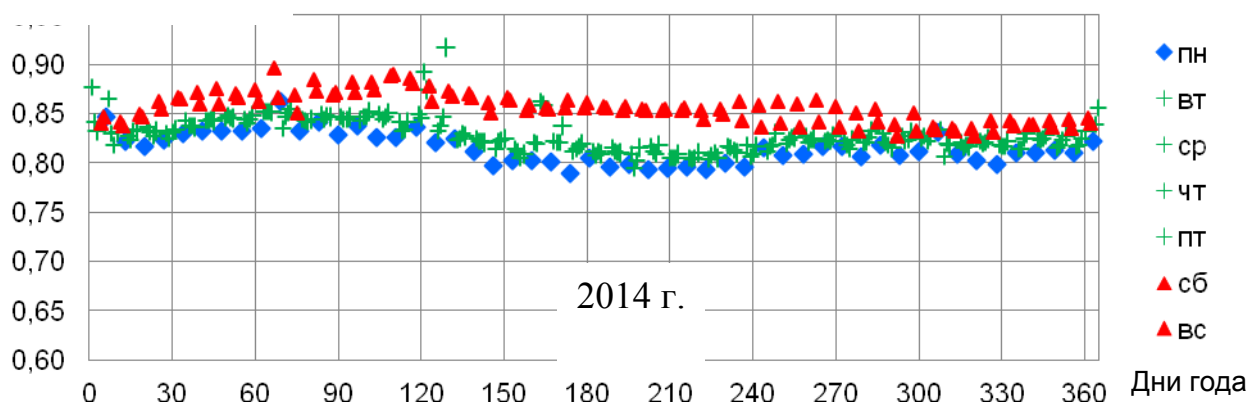


Рис. 2 Коэффициент суточной неравномерности графика нагрузки в ЕЭС России за 2009, 2012 и 2014 гг.

Энергоблоки АЭС российских (советских) проектов проектировались для работы в базовом режиме. Создание маневренного энергоблока АЭС является проблемным и в настоящее время. Например, в проекте АЭС-2006 заложена работа энергоблока в базовом режиме.

Анализ функционирования энергосистем с действующими АЭС показывает, что при суммарной мощности АЭС более 20 % в балансе энергосистемы, возникает потребность привлечения АЭС к участию в суточном регулировании мощности, либо в специальных мерах, включая ограничение мощности АЭС, для устойчивой работы энергосистемы.

В некоторых энергорайонах РФ доля мощностей АЭС превышает эту величину (20 %) и требования оператора сети по участию АЭС в маневренных режимах становится актуальным или неизбежным.

Например, после ввода в действие 4-х энергоблоков Ростовской АЭС (далее – РСТ АЭС, суммарная мощность ~ 4170 МВт) доля АЭС в ОЭС Юга составит ~ 29 %, образуется избыток производства электроэнергии на АЭС в ночное время до 1000 МВт.

Как можно использовать избыток электроэнергии при работе энергоблоков Ростовской АЭС в базе?

Доступный в настоящее время способ – «утилизация» избыточных мощностей АЭС путем создания постоянно действующих «аккумуляторных потребителей-регуляторов».

Рассмотрим работу Объединенной энергосистемы Юга (далее – ОЭС Юга) с включенной РСТ АЭС.

- Мощность потребления (максимальная) в ОЭС Юга порядка $(12-14) \cdot 10^3$ МВт, мощность РСТ АЭС ~ 3070 МВт (3 энергоблока).

- В настоящее время суточный график нагрузки ОЭС Юга характеризуется достаточно низким значением $K_{нер} \sim 0,7$ и ниже (рис. 3), т.е. требуются существенные регулировочные мощности.

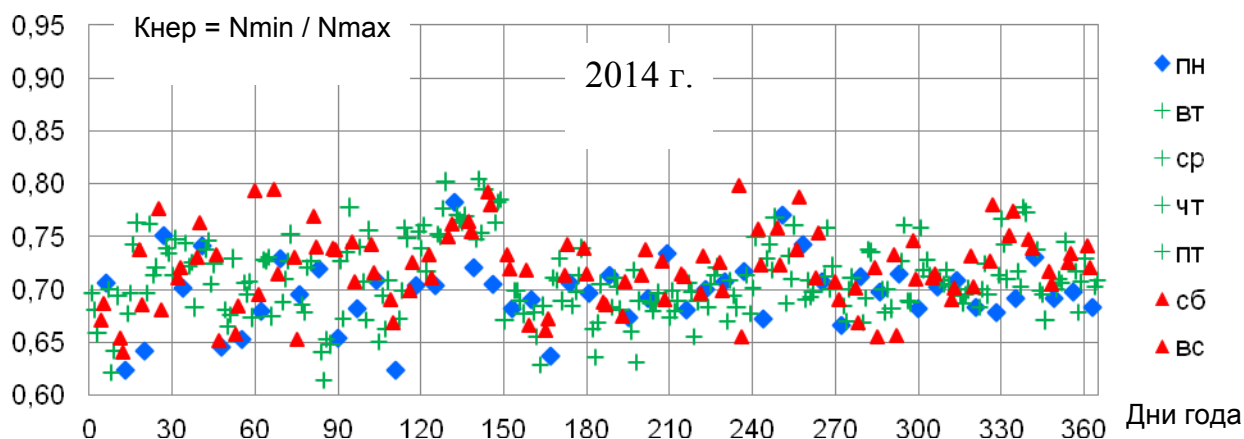


Рис. 3 – Коэффициент суточной неравномерности графика нагрузки в ОЭС Юга за 2014 год

Для определенности, рассмотрим суточный график несения нагрузки в ОЭС Юга на 11.12.2014 (рис. 4).

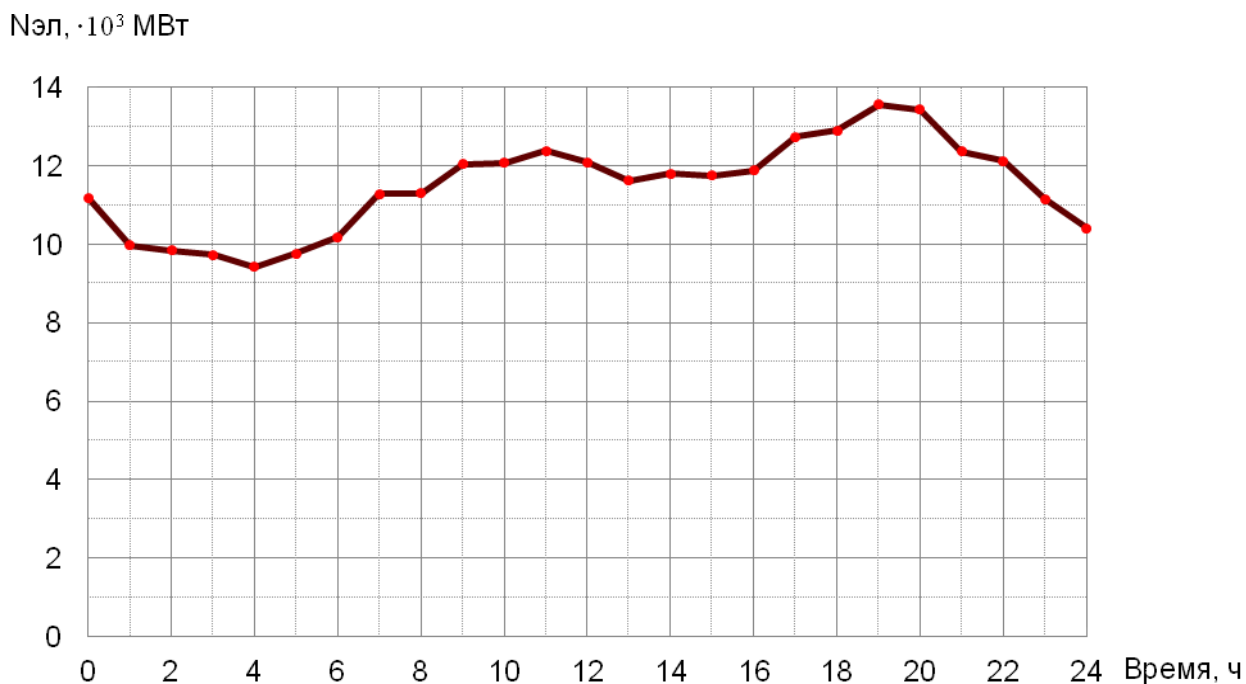


Рис. 4 – Суточный график несения нагрузки в ОЭС Юга 11.12.2014

Коэффициент неравномерности генерации/потребления $K_{нер} \approx 0,7$.

Коэффициент регулирования мощности

$$K_{рег} = \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{max} - N_{АЭС}}$$

определяет суммарный уровень разгрузки энергоблоков, участвующих в суточном регулировании мощности. Для ОЭС Юга $K_{рег} \sim 0,4$, т.е. электрические станции, участвующие в суточном регулировании в ОЭС Юга, должны суммарно разгружаться на 40 %.

Ввод четвертого энергоблока РСТ АЭС усложнит ситуацию:

- Мощность РСТ АЭС возрастет до 4170 МВт.
- Доля РСТ АЭС в производстве электроэнергии ОЭС Юга

$$N_{\text{АЭС}} / N_{\text{ОЭС}} \sim 4170 / 13561 \text{ МВт} \sim 0,31.$$
- Крег $\sim 0,44$.

т.е. возрастает нагрузка на регулировочные мощности ОЭС Юга.

Возможно, участие РСТ АЭС в суточном регулировании мощности станет неизбежной.

Подсоединение Крыма к ОЭС Юга

Переток электроэнергии в Крым из ОЭС Юга после прокладки кабеля составит ~ 800 МВт.

Энергосистема Крыма характеризуется низким коэффициентом суточной неравномерности потребления электроэнергии $K_{\text{нер}} \sim 0,5$.

На рис. 5 представлена мощность потребления (генерации) ОЭС Юга с учетом энергосистемы Крыма.

Нэл, 10^3 МВт

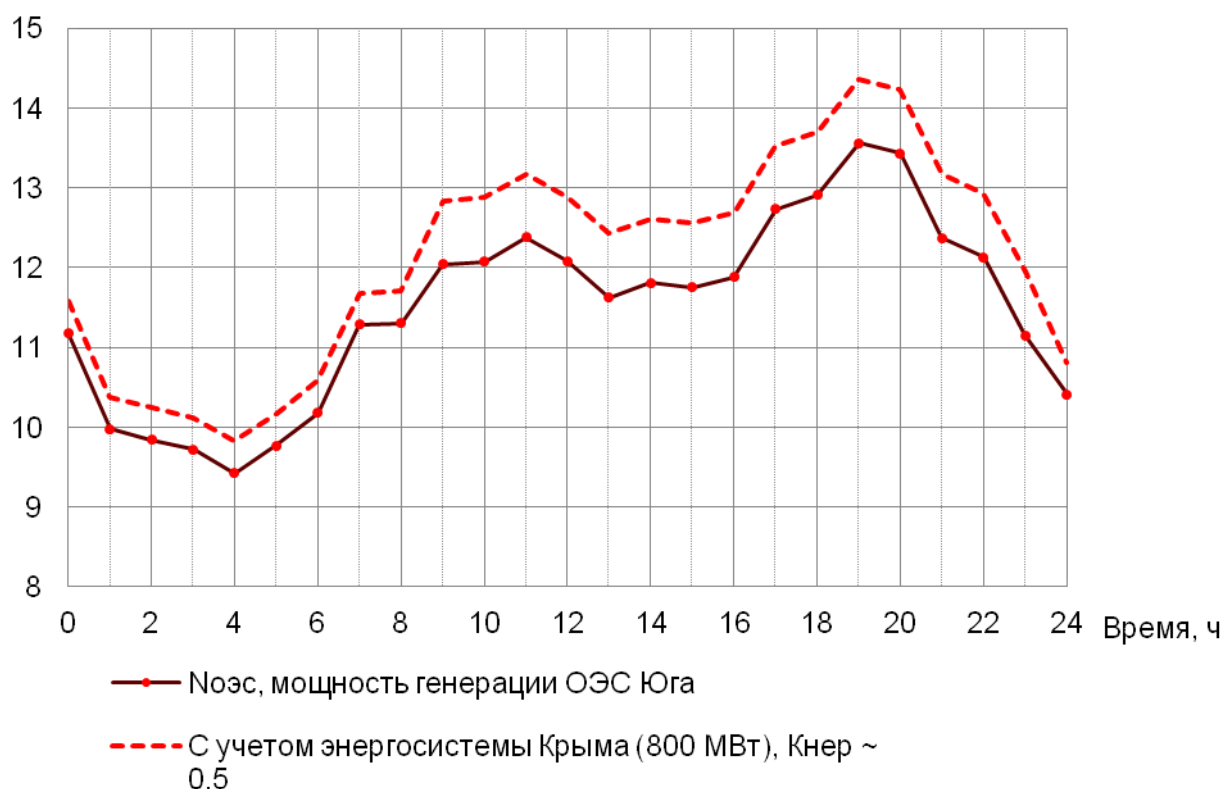
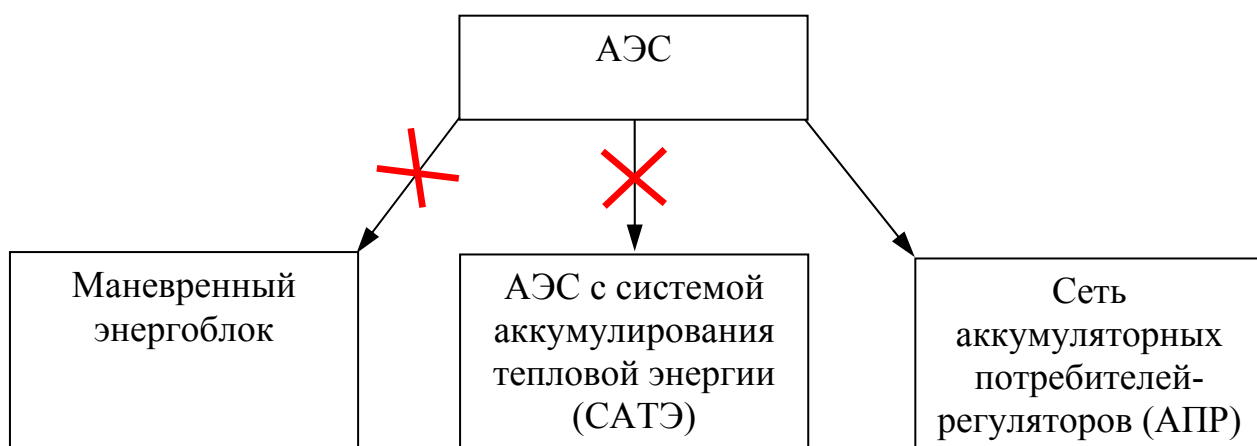


Рис. 5

Параметры суточного регулирования принимают значения: $K_{\text{нер}} \sim 0,68$, $K_{\text{рег}} \sim 0,44 \div 0,45$, т.е. возрастает нагрузка на регулировочные мощности ОЭС Юга.

Одним из решений этой проблемы является увеличение регулировочных мощностей путем привлечения РСТ АЭС к участию в суточном регулировании мощности.

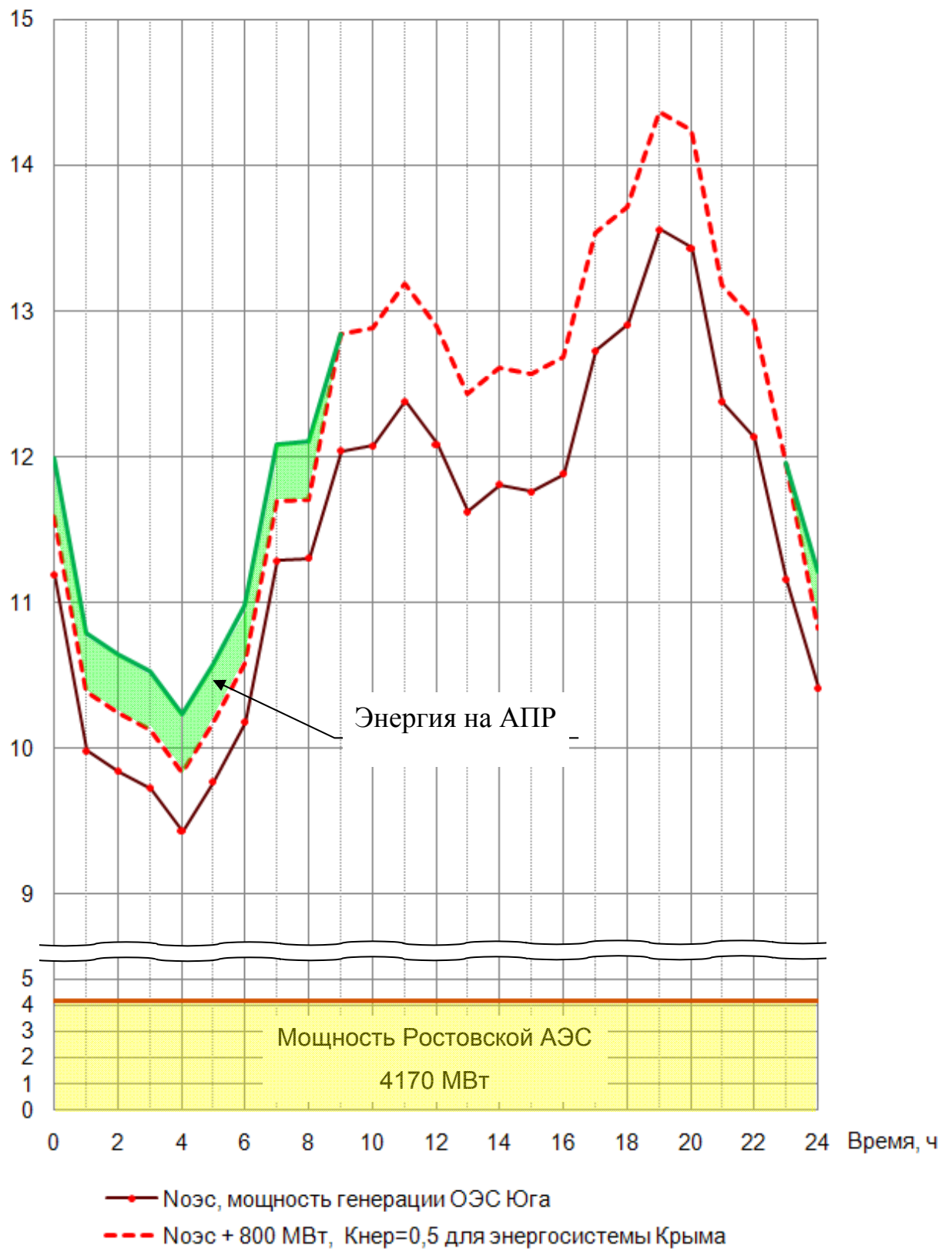
Участие РСТ АЭС в суточном регулировании мощности



В ночное время переток мощности в энергосистему Крыма снижается практически в 2 раза, и эта энергия может быть использована в сети «аккумуляторных потребителей-регуляторов» Крыма.

На рис. 6 представлено суточное изменение мощности ОЭС Юга с учетом функционирования АПР Крыма.

Ноэс, · 10³ МВт



$K_{нер} = 0,71$, $K_{рег} = 0,4$.

Энергия, идущая на АПР, составит $E \sim 400 \text{ МВт} \times 8 \text{ час} = 3200 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$.

Рис. 6

Аналогичная проблема решается в Белоруссии. В связи со строительством Белорусской АЭС в энергосистеме возникает существенный избыток «ночной» электроэнергии. В частности, одним из решений при вводе 1-го энергоблока АЭС рекомендован ввод в эксплуатацию баков аккумуляторов сетевой воды, электродкотлов общей мощностью ~ 160 МВт.

Заключение

1. В ОЭС Юга возникает дефицит регулировочных мощностей за счет увеличения мощности РСТ АЭС, работающей в базе; подсоединения энергосети Крыма с низким коэффициентом неравномерности и др. Это приводит к практической потребности в привлечении АЭС к суточному регулированию мощности.

2. Избыточная мощность РСТ АЭС в ночное время может потребляться АПР Крыма. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой, в частности, на АЭС в ночное время объективно будет снижаться до значений, обеспечивающих условия для создания сети АПР и работе АЭС в базовом режиме.

3. Первым шагом для внедрения АПР, потребляющих «ночную» электроэнергию должно быть освобождение от платы за подсоединение к энергосистеме, т.к. АПР выполняют техническую функцию стабилизации энергосистемы при прохождении ночного минимума потребления электроэнергии.

4. В энергосистеме Крыма имеются все предпосылки для внедрения аккумуляторных потребителей-регуляторов (АПР) и создания района высокой энергоэффективности.

5. Конкретные бизнес-предложения по внедрению энергосберегающих АПР приведены в приложении, в котором представлены также результаты практической реализации в регионах РФ.