

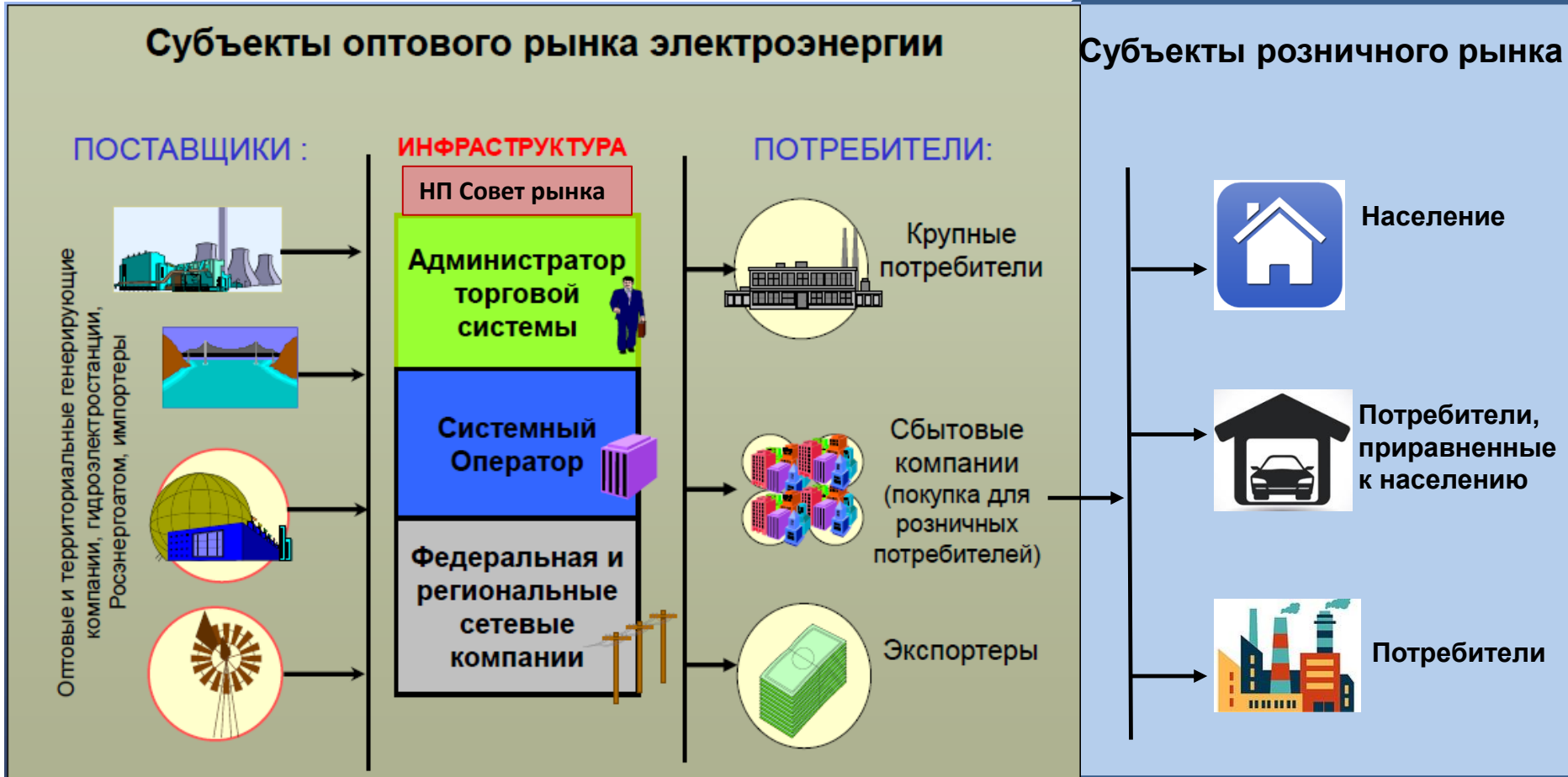
Математическая модель управления энергосистемой в условиях конкурентного оптового рынка электроэнергии и мощности в России

Давидсон М.Р., Крейнс Е.М., Новикова Н.М.,
Удальцов Ю.А., Ширяева Л.В., Догадушкина Ю.В.,
Селезнев А.В.

Известия РАН Теория и управления системами 2009, №2

НУГ «Эмпирическая оценка спроса»

Структура рынка электроэнергетики России



Алгоритм работы оптового рынка электроэнергетики России

ВСВГО

- Участвуют только Генерации
- Какой блок какой электростанции включать?
- Для включенного блока определяется Макс и Мин выработка.
- За 1 неделю до поставки

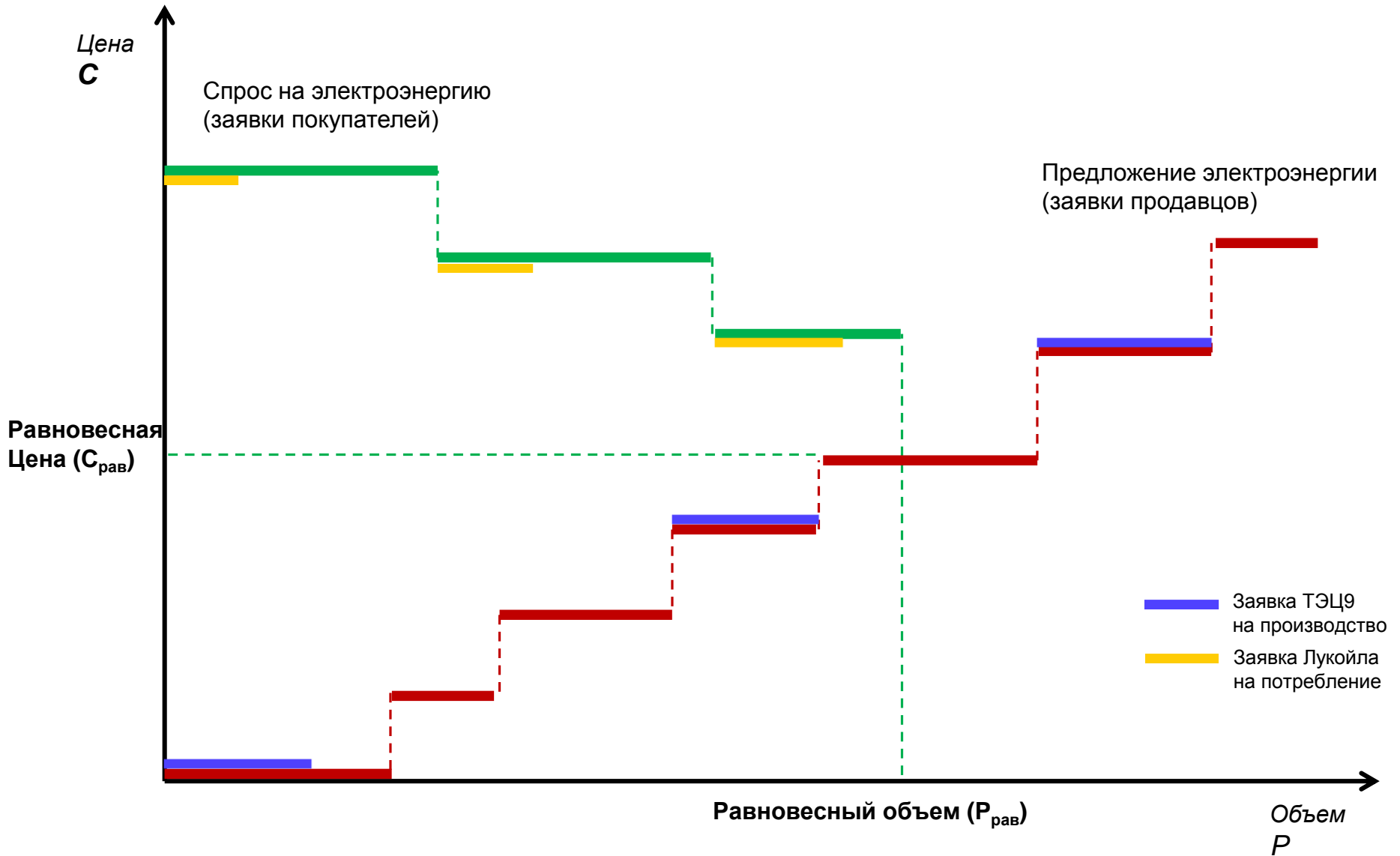
Рынок на сутки вперед

- Участвуют Генерации и Потребители
- Сколько МВт будет вырабатывать каждый блок в определенный час?
- Сколько МВт будет потреблять каждый Потребитель в определенный час?
- За 1 сутки до поставки

Балансиру ющий рынок

- Не участвуют Генерации и Потребители
- Сколько МВт **реально** будет вырабатывать каждый блок в определенный час?
- За 4 часа до поставки

Рынок на сутки вперед, описание



Рынок на сутки вперед, целевая функция модели

Максимизируем общественное благосостояние:

$$\sum_{t=0}^{23} \left\{ \sum_c \sum_m C_{ct}^m P_{ct}^m - \sum_g \sum_m C_{gt}^m P_{gt}^m \right\} \rightarrow \max.$$

Стоимость, которую готов потребитель c заплатить за электроэнергию.

Стоимость, которую хотела бы Генерация g получить за электроэнергию

Подает ценовую заявку следующую:

- 1 ст.** по цене C_{ct}^1 продаем объем $P_{ct}^{'1}$
- 2 ст.** по цене C_{ct}^2 продаем объем $P_{ct}^{'2}$
- 3 ст.** по цене C_{ct}^3 продаем объем $P_{ct}^{'3}$

при этом

$$C_{gt}^1 > C_{gt}^2 > C_{gt}^3,$$

$$P_{gt}^{'1} < P_{gt}^{'2} < P_{gt}^{'3}$$

Подает ценовую заявку следующую:

- 1 ст.** по цене C_{gt}^1 продаем объем $P_{gt}^{min} + P_{gt}^{'1}$
- 2 ст.** по цене C_{gt}^2 продаем объем $P_{gt}^{min} + P_{gt}^{'2}$
- 3 ст.** по цене C_{gt}^3 продаем объем $P_{gt}^{min} + P_{gt}^{'3}$

при этом

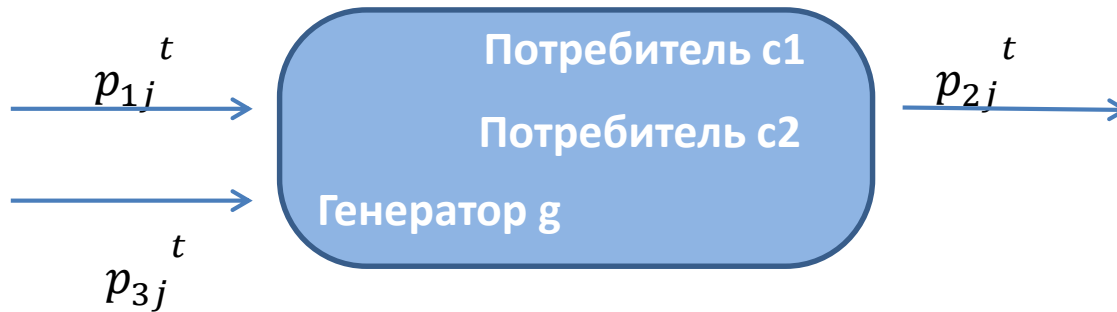
$$C_{gt}^1 < C_{gt}^2 < C_{gt}^3,$$

$$P_{gt}^{'1} < P_{gt}^{'2} < P_{gt}^{'3}$$

Рынок на сутки вперед, ограничения

1. Учитывается схема электрической сети
2. Баланс мощности в каждом узле j (1-ый закон Кирхгофа)

$$\sum_{i \in I(j)} P_{ij}^t + \sum_{g \in G(j)} P_{gt} - \sum_{c \in C(j)} P_{ct} = 0$$



3. Взаимосвязь перетока мощности от модуля/фазы напряжения
4. Ограничения перетока по контролируемым сечениям

$$\sum_{(i,j) \in S} P_{ij}^t \leq P_{st}^{\max}, \quad \sum_{(i,j) \in S} P_{ji}^t \leq P_{st}^{\min}$$

Рынок на сутки вперед, ограничения

5. Ограничения на выработку каждого блока электростанции

$$P_{gt}^{\min} \leq P_{gt} \leq P_{gt}^{\max},$$

6. Ограничения на скорость сброса оборудования по каждой электростанции

$$P_{gt} - n_g^{\min} \leq P_{g(t+1)} \leq P_{gt} + n_g^{\max}$$

7. Заявки генерации на объем выполняются не в полном размере

8. Реальная выработка всегда выше заявки генератора

$$P_{gt} = P_{gt}^{\min} + \sum_m P_{gt}^m.$$

9. Заявки потребителей на объем выполняются не в полном размере

Рынок на сутки вперед, решение задачи

В результате решения задачи на каждый час на 1 сутки вперед определяются:

- Плановый объем потребления каждого Потребителя P_{ct}^m
- Плановый объем выработки каждого блока Электростанций P_{gt}^m
- Плановые перетоки электроэнергии по каждой ветви p_{ij}^t
- Множители Лагранжа при ограничениях:
 - λ_2 (при балансовом ограничении) – цена в каждом узле модели
 - λ_4 (при ограничении на контролируемые сечения) – цена последнего МВт пропускной способности сечения

Рынок на сутки вперед, не рынок совершенной конкуренции

- Не все объемы полностью оплачиваются на рынке, есть договоры по регулируемой цене
- «В условиях совершенной конкуренции (цена в заявке участника не меняет равновесных цен), оптимальной стратегией генераторов является искренняя стратегия»
- Число поставщиков значительно меньше числа покупателей
- Эластичность спроса в краткосрочном периоде низка
- Издержки выработки у разных электростанций различны

Генерации не завышают заявки:

- Необходимость резерва мощности
- ФСТ регулирует тарифы электростанций

Балансирующий рынок, модель

- Потребления анализируют диспетчера
- Генерации не подают заявки, для решения задачи используют их заявки на рынке на сутки вперед (РСВ)

Целевая функция – минимизируем издержки генерирующих компаний

$$\sum_{t=\tau}^{23} \sum_g \sum_m C_{gt}^m P_{gt}^m \rightarrow \min$$

для $\tau = 0, 4, 8, 12, 16, 20$

Ограничения (1)-(8)

Решение:

- Диспетчерский график загрузки электростанции
- λ_2 - индикатор стоимости балансирующей электроэнергии



Отклонения объемов диспетчерского графика от РСВ покупается и продается по цене штрафа