

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СПОТОВЫХ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ НА ОСНОВЕ АВТОРЕГРЕССИОННЫХ ДРОБНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ

Щетинин Е.Ю.<sup>1,2</sup>, Зиновьев В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБГОУ Тверской Государственный Университет, tiviera-molto@mail.ru

<sup>2</sup>ФГУП ВНИИ ГОиЧС, ул. Давыдковская д.5, г. Москва

В работе исследуются модели спотовых (в реальном времени) цен на электроэнергию в рамках развиваемой авторами теории дробно-интегрируемых авторегрессионных процессов [1,2]. Проведен сравнительный анализ различных моделей из этого класса, получены оценки краткосрочного прогноза спотовых цен рынков электроэнергии аукционного типа (Калифорния CalPX oasis.caiso.com, Северная Европа NORD POOL www.nordpool.com), а также построены доверительные интервалы для них.

В качестве исследуемых данных нами брались почасовые значения спотовых цен. При разработке модели стоимостных показателей цен на электроэнергию мы провели их предварительное логарифмирование и удаление среднего по цене  $p_t = \log P_t$  и медианы по показателю загрузки (температура), как экзогенному фактору  $z_t = \log Z_t$ . Феноменология спотовых цен обнаруживает внутрисуточную и внутринедельную сезонные компоненты, а также следующие экзогенные переменные: загрузку линии  $z_t$ , факторы понедельника  $D_{mon}$ , субботы  $D_{sat}$ , воскресенья  $D_{sun}$ . Таким образом, модель представляет собой следующее выражение:

$$p_t = \varphi_1 p_{t-24} + \varphi_2 p_{t-168} + \varphi_3 m p_t + \psi_1 z_t + d_1 D_{mon} + d_2 D_{sat} + d_3 D_{sun} + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Оценивание оставшихся параметров модели (1) выполнялось с помощью функции максимального правдоподобия:

$$L = -\frac{T}{2} \ln \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \tilde{\varepsilon}_{s_t,t}^2 \right) - \frac{T}{2} (1 + \ln(2\pi)),$$

Где  $\tilde{\varepsilon}_{s_t,t}^2 = \tilde{\Phi}_{s_t}(L) (1 - \tilde{\alpha}_{s_t} L^{24}) (1 - L)^{\tilde{d}_{s_t}} (y_t - \tilde{\mu}_{s_t})$ ,  $s_t = 0, 1$ .

Оценки ошибки прогноза вычислялись как  $MDE = \frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} \frac{|p_h - p_h^{est}|}{\bar{p}_{24}}$ , где  $\bar{p}_{24}$  – среднее

цены за день,  $p_h^{est}$  – прогноз цены на данный час;  $MWE = \frac{1}{168} \sum_{h=1}^{168} \frac{|p_h - p_h^{est}|}{\bar{p}_{168}}$ ,  $\bar{p}_{168}$  – среднее цены за неделю.

Сравнительный анализ результатов применения моделей (3), ARMAX, TARX, ARIMA к расчетам прогноза цен на сутки вперед в системе NORD POOL показал высокую предсказательную мощность (1) благодаря включению фактора мультирежимности поведения цен на электроэнергию, а также учета влияния эффектов длинной памяти.