

# Прогнозирование цен на оптовом рынке электроэнергии в России

Щурупова Д. В., Максимов А.Г.

НИУ ВШЭ – Нижний Новгород

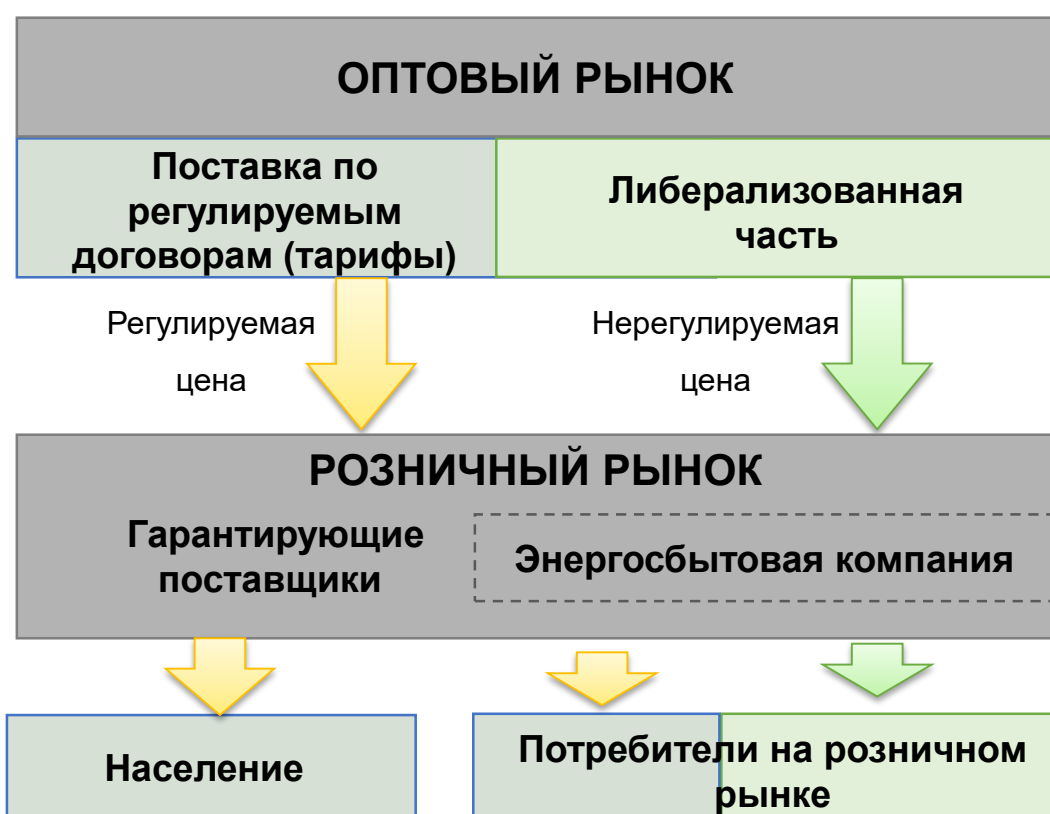
## Аннотация

На основе временного горизонта за 2014 год построены и оценены модели, описывающие динамику почасовых цен на «рынке на сутки вперед» для первой и второй ценовых зон России. Предлагается совокупность из 16 моделей типа ARMA близких по сути и качеству описания динамики, но с разными наборами экзогенных регрессоров и различной лаговой структурой (регрессоров и случайного слагаемого) (по 8 моделей для почасовых динамик для каждой зоны). На основе предложенных моделей динамическое прогнозирование на месяц вперед для 15 прогнозных периодов (январь 2015 - март 2016), выделены «лучшие» с точки зрения качества прогноза.

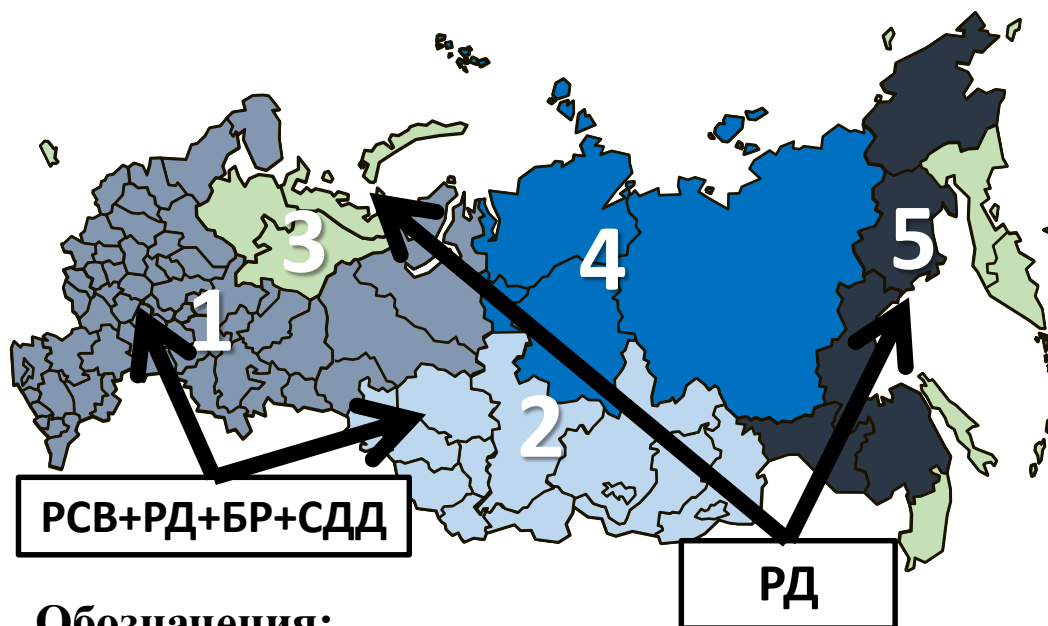
## Вступление

**Цель исследования:** изучение различных аспектов ценообразования на **оптовом** рынке электроэнергии в России с дальнейшим созданием эконометрических моделей прогнозирования цен на электроэнергию

## Структура рынка электроэнергии



## Территориальное деление



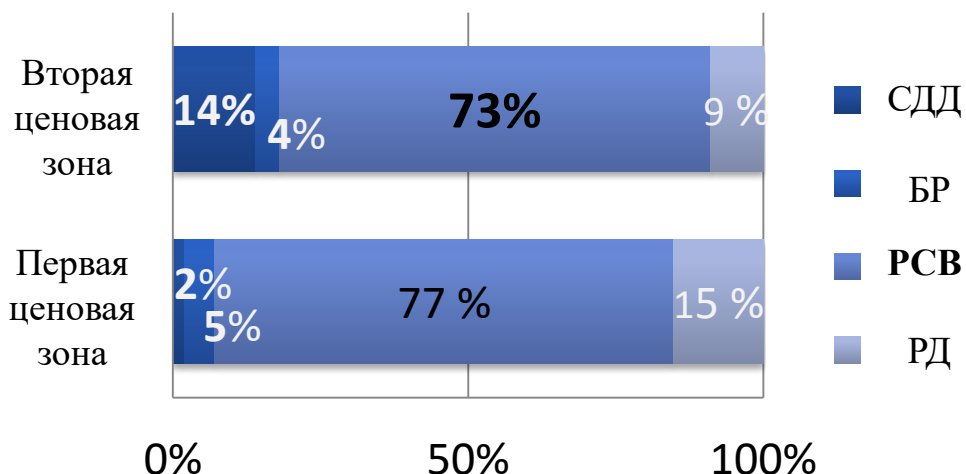
### Обозначения:

- 1, 2 – Ценовые зоны
- 3, 5 – Неценовые зоны
- 4 – Изолированные энергосистемы

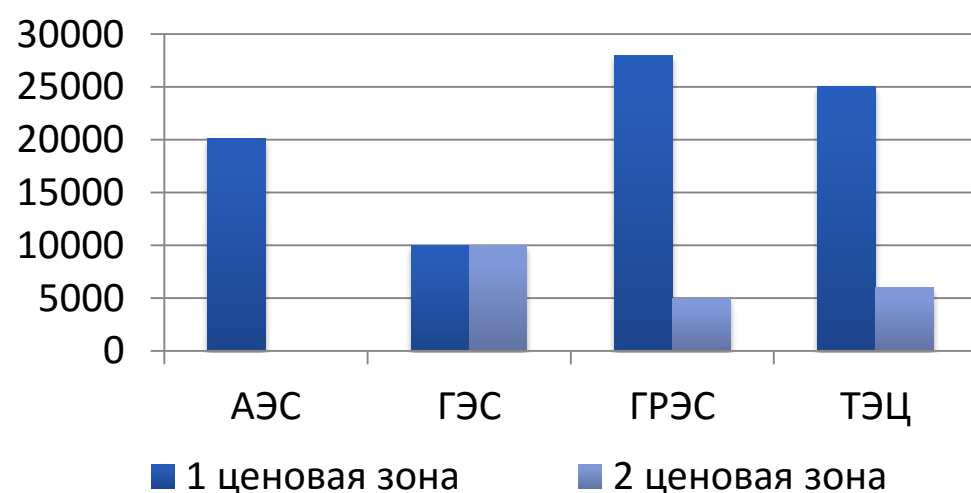
### Сектора оптового рынка электроэнергии:

- РСВ – Рынок на сутки вперед
- РД – Сектор регулируемых договоров
- БР – Балансирующий рынок
- СДД – Сектор свободных двусторонних договоров

## Структура секторов в суточных торгах, %



## Структура генерации в ценовых зонах:



# Прогнозирование цен на оптовом рынке электроэнергии в России

Щурупова Д. В., Максимов А.Г.

НИУ ВШЭ – Нижний Новгород

## Сравнение ценовых зон:

### Отличия зон:

1. Неоднородная структура генерации, неоднородность цен в 1 и 2 ценовых зонах
2. Во 2 ценовой зоне большая протяжённость линий электропередач, определяемая низкой плотностью населения и очаговым характером развития экономики

### Сходства зон:

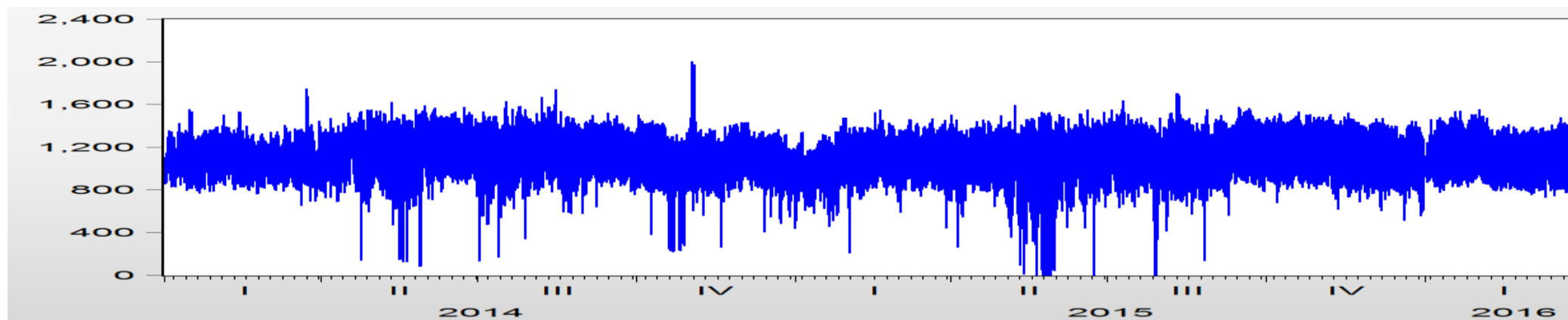
1. Высокая волатильность
2. Наличие выбросов
3. Цикличность ценовой динамики (недельная, внутрисуточная)

## Эконометрическое моделирование

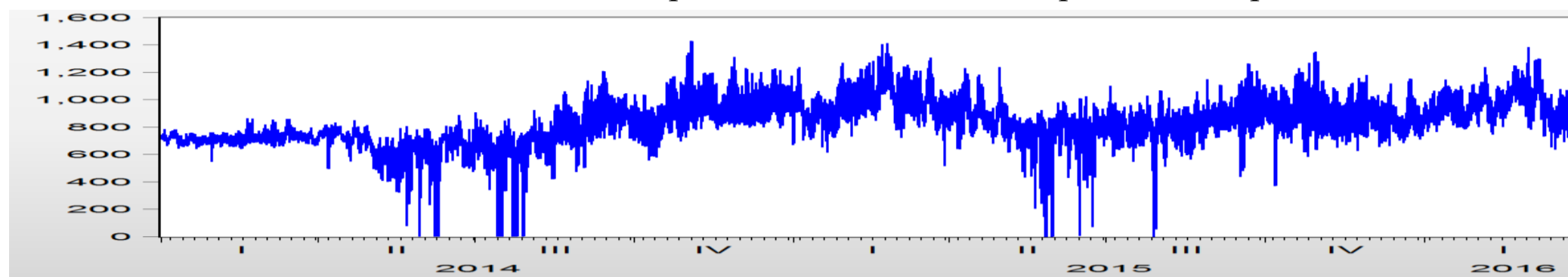
### Потенциальные регрессоры:

1. длина светового дня (daylong), мин.
2. цена на нефть (Urals), долл./баррель
3. температура (temp), градусы Цельсия
4. курс доллара (USD), руб/долл.
5. праздничный день (hol) – бинарная переменная
6. дни недели (mon, tue, wed, thu, fri, sat) – бинарные переменные
7. час операционных суток (hour)
8. спрос на электроэнергию (demand), МВт.ч

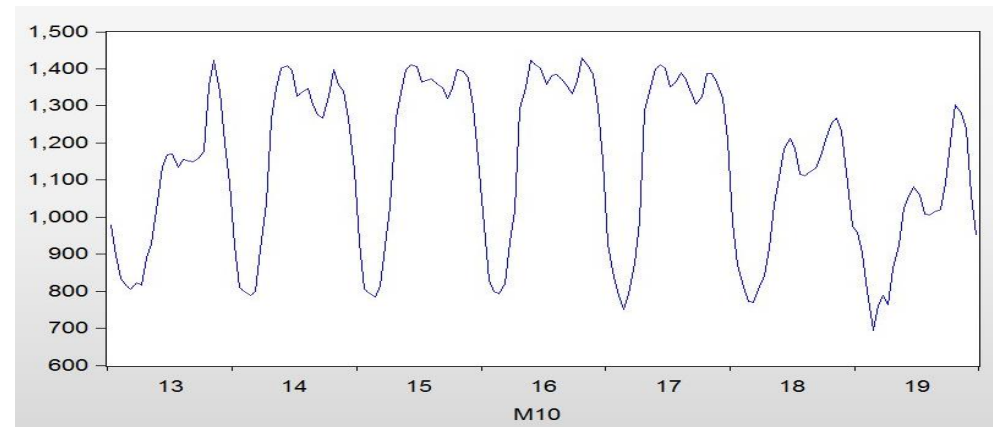
## Ценовая динамика в ценовых зонах:



Динамика почасовых цен в первой ценовой зоне в январе 2014 – марте 2016



Динамика почасовых цен во второй ценовой зоне в январе 2014 – марте 2016



Динамика почасовых цен в первой ценовой зоне 13.10.2014 – 19.10.2014, понедельник - воскресенье

## Описательная статистика по зависимым переменным

	Почасовая цена в 1 ЦЗ	Почасовая цена в 2 ЦЗ
<b>Среднее</b>	1153,63	851,97
<b>Медиана</b>	1213,31	849,88
<b>Максимум</b>	2001,3	1428,3
<b>Наблюдения</b>	19704	19704

# Прогнозирование цен на оптовом рынке электроэнергии в России

Щурупова Д. В., Максимов А.Г.

НИУ ВШЭ – Нижний Новгород

## Сравнение подходов к ценообразованию

Подходы	Акцент	Недостатки	Достоинства
Теория игр	Поведенческая сторона ценообразования	Много допущений, отдаляющих модели от реальности	Хорошо изучены
Оптимизационный	Техническая сторона ценообразования	Сложность методов	Точные модели
Эконометрика	Экономическая сторона ценообразования	Недостаточно протестированы на российском рынке (может возникнуть угроза, что они не подходят)	Есть возможность прогнозирования

## Модели для цены на РСВ для первой ценовой зоны

	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5	Модель 6	Модель 7	Модель 8
C	755,47*	754,71*	-1088,013	-1057,036*	-1719,6*	-1622,45*	-15415*	-1177,4*
USD*URALS	0,05	0,068**	0,085	0,0737	-	-	-	-
URALS	-	-	-	-	4,51**	-4,4809*	-4,47*	6,07*
HOL	-	-	-	-	-	-	-	33,454
HOUR(-1)	-	-	-	-	-	-	1,450**	-
HOUR	44,276*	-121,52*	-125,53*	-44,33*	-	-	-	-
HOUR^2	-1,646*	27,478*	12,12**	5,8566	-	-	-	-
HOUR^3	-	-1,583*	4,088*	0,984	-	-	-	-
HOUR^4	-	0,027*	-0,63*	-0,1795**	-	-	-	-
HOUR^5	-	-	0,0313*	0,009*	-	-	-	-
HOUR^6	-	-	-0,0005*	-0,00015*	-	-	-	-
DAYLONG	-	-	-	-	-	94,186*	89,96*	-
TEMP	1,31**	-	1,166**	-	3,341*	-	-	2,91*
TEMP^2	-0,036	-	-	-	-	-	-	-
DEMAND	-	-	-	0,022*	0,027*	0,024*	0,023*	0,019*
AR(1)	0,828	0,824*	0,831*	0,971*	0,981*	0,849*	0,644*	0,678*
AR(2)	-	-	-	-	-	-	0,142*	0,116*
SAR(24)	0,443*	0,400*	0,352*	0,348*	0,35*	0,679*	0,705*	0,772*
SAR(168)	0,422*	0,377*	0,329*	0,255*	0,250*	0,168*	0,155*	0,157*
MA(1)	-0,072*	-0,052*	-0,057*	-0,235*	-0,25*	-0,052*	0,120*	0,087*
MA(2)	-0,058*	-0,058*	-0,066*	-0,198*	-0,201*	-0,055*	-	-
MA(3)	-	-	-	-	-0,098*	-	-	-
MA(24)	-	-	-	-	-	-0,3828*	-0,425*	-0,503*
R-squared	0,93975	0,94126	0,943015	0,94552	0,9455	0,94680	0,94718	0,94654

\* - 1% уровень значимости

\*\* - 5% уровень значимости

# Прогнозирование цен на оптовом рынке электроэнергии в России

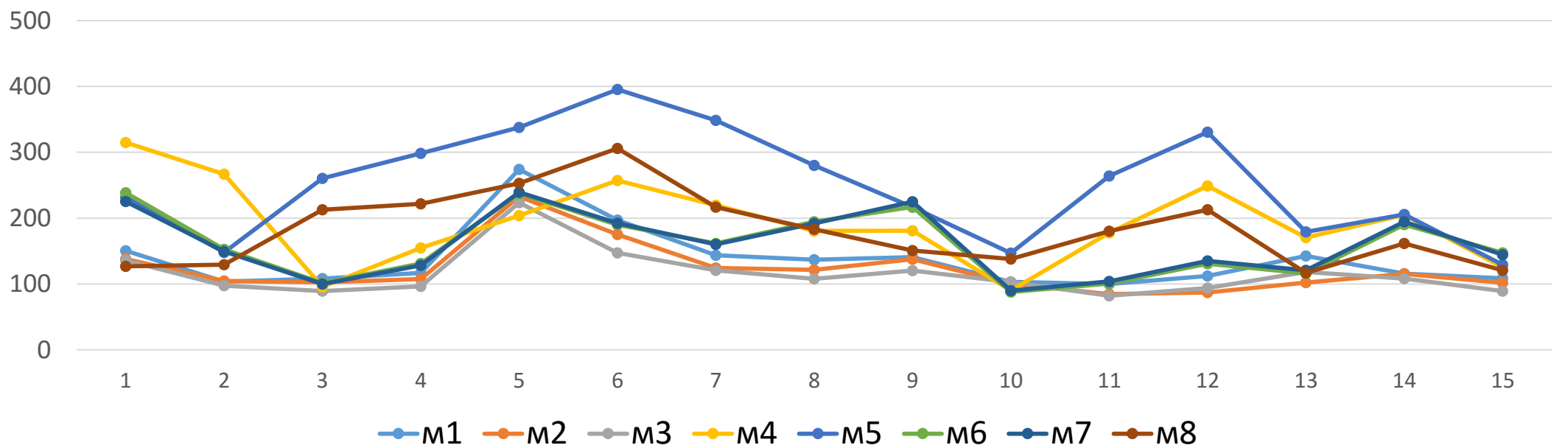
Щурупова Д. В., Максимов А.Г.

НИУ ВШЭ – Нижний Новгород

## Прогнозирование цены в 1 ценовой зоне

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_{forecast_t} - y_t)^2}{n}}$$

$$Mape = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - y_{forecast_t}}{y_t} \right|$$



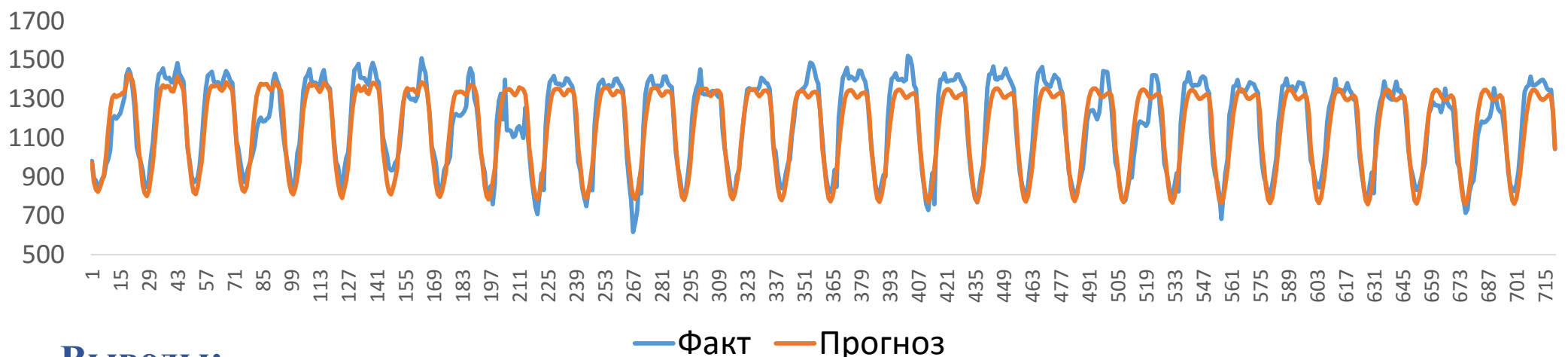
Root-mean-square error для 1 ЦЗ

## Среднее геометрическое MAPE для 1 ЦЗ

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
12,2%	10,4%	<b>10,1%</b>	16,8%	20,7%	14,2%	14,2%	15,5%

## Иллюстрация динамики фактической и прогнозной цены в 1 ценовой зоне

Модель 3:  $PP = C + \alpha_1 * USD * URALS - \alpha_2 * HOUR + \alpha_3 * HOUR^2 + \alpha_4 * HOUR^3 + \alpha_5 * HOUR^4 + \alpha_6 * HOUR^5 + \alpha_7 * HOUR^6 + \alpha_8 * TEMP + (1 - \alpha_8 * L)(1 - \alpha_{10} * L^{24})(1 - \alpha_{11} * L^{168}) + \alpha_{12} * \epsilon_1 + \alpha_{13} * \epsilon_2$



### Выводы:

Результаты почасового моделирования на базе предложенных моделей отражают основные закономерности динамики цен, учитывая сложные внутрисуточную и внутринедельную структуры. В итоге, генераторы и крупные промышленные предприятия могут использовать их для эффективного использования ресурсов и оптимизации издержек, что влияет на эффективность экономики страны в целом. Представленное прогнозирование российских цен на электроэнергию является успешной попыткой апробации эконометрических методов для НОРЭМ в России.