

**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ****Карнаух Е.В.***доцент;***Киценко Т.А.***студент,**Днепропетровский национальный университет  
имени Олеса Гончара***КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ  
ПО МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОГО ПОДОБИЯ**

Одной из важных составляющих успешного внедрения новой модели рынка электрической энергии Украины является разработка эффективных моделей прогнозирования потребляемой электроэнергии. Высокая точность прогноза позволяет снизить финансовые потери субъекта оптового рынка и дает участникам рынка электрической энергии получить конкурентные преимущества. Точное краткосрочное прогнозирование (на несколько суток вперед) позволяет избежать покупки недостающей электроэнергии на балансирующем рынке по более высокой цене (либо продажи избытка по более низкой).

На сегодняшний день существует множество моделей прогнозирования временных рядов: регрессионные и авторегрессионные модели, нейросетевые модели, модели экспоненциального сглаживания, модели на базе цепей Маркова, классификационные модели и др. [1].

Для решения поставленной задачи была рассмотрена модель EMMSP (extrapolation model on most similar pattern) [2], которая может быть использована для работы, как со стационарными, так и нестационарными временными рядами. Кроме того, идентификация модели сводится к определению всего одного параметра  $M$  (длины выборки максимального подобия), выбор которого производится на основе анализа ошибок прогноза. Экстраполяция  $P$  значений временного ряда за моделью EMMSP определяется формулой

$$\hat{Z}_{T+1}^P = \alpha_1 Z_{kmax}^P + \alpha_0 I^P$$

где  $\hat{Z}_{T+1}^P$  – экстраполированные значения выборки,  $Z_{kmax}^P$  – выборка расположенная на оси времени сразу за выборкой максимального подобия,  $\alpha_1, \alpha_0$  – коэффициенты,  $I^P$  – единичная матрица.

Для сравнения был проведен аналогичный прогноз с помощью модели Хольта-Винтерса [3-4], которая задается такими соотношениями

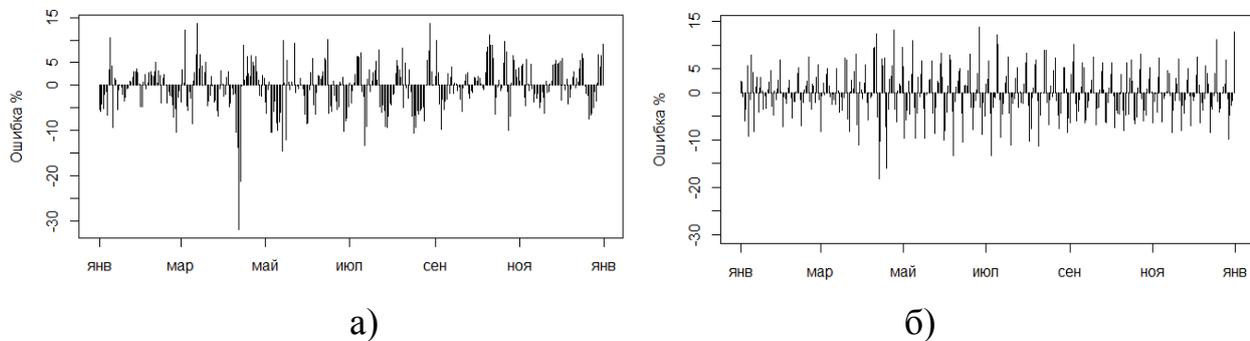
$$\begin{aligned} Z(t) &= (R(t) + G(t)) \cdot S(t) \\ R(t) &= \frac{\alpha \cdot Z(t-1)}{S(t-L)} + (1 + \alpha) \cdot (R(t-1) + G(t-1)) \\ G(t) &= \beta \cdot (S(t-1) - S(t-2)) + (1 - \beta) \cdot G(t-1) \end{aligned}$$

$$S(t) = \frac{\gamma \cdot Z(t-1)}{S(t-L)} + (1-\gamma) \cdot S(t-L)$$

где  $R(t)$  – сглаженный уровень без учета сезонной составляющей,  $G(t)$  – сглаженный тренд,  $S(t)$  – сезонная составляющая.

Для построения модели краткосрочного прогнозирования на один период были рассмотрены данные суточного потребления электроэнергии за период с 2012 по 2015 года. В качестве обучающей выборки были взяты данные с 2012 по 2014, а в качестве тестирующей – данные за 2015 год. Все расчеты производились с использованием среды статистического анализа данных R.

Результаты прогнозов представлены на рисунке 1. Здесь изображены графики относительных ошибок между спрогнозированным и фактическим уровнем потребления электроэнергии в случае применения модели EMMSP и модели Хольта-Винтерса, соответственно.



**Рис. 1. Относительные ошибки прогноза на 2015 год при использовании модели а) EMMSP, б) Хольта-Винтерса**

Далее в таблице 1 представлены основные показатели качества прогноза для двух моделей:

Средняя абсолютная ошибка (MAE):  $MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=t}^{t+M-1} |Z(i) - \hat{Z}(i)|$

Средняя относительная ошибка (MAPE):  $MAPE = \frac{1}{M} \sum_{i=t}^{t+M-1} \frac{|Z(i) - \hat{Z}(i)|}{Z(i)}$ .

100%

Максимальная относительная ошибка (MAX):

$$MAX = \max_{t \leq i \leq t+M-1} \frac{Z(i) - \hat{Z}(i)}{Z(i)}$$

Минимальная относительная ошибка (MIN):  $MIN = \min_{t \leq i \leq t+M-1} \frac{Z(i) - \hat{Z}(i)}{Z(i)}$ .

Таблица 1

**Основные показатели качества прогноза на 2015 год.**

	EMMSP	Holt-Winters
MAE (мВт)	650.96	675.79
MAPE (%)	3.96	4.15
MAX	0.1369	0.1378
MIN	-0.3190	-0.1750

Из данных табл. 1 можно сделать вывод, что в данном случае применение модели EMMSP дает более точный в среднем прогноз по сравнению с моделью Хольта-Винтерса. Средняя относительная погрешность для EMMSP составляет 3.96%, а для модели Хольта-Винтерса 4.15%. В отдельных случаях модель EMMSP давала критически большую ошибку, возможным решением этой проблемы может быть включение в модель дополнительных факторов, в первую очередь, фактора температуры и фактора выходного дня.

#### **Список использованных источников:**

1. Hyndman, R. Forecasting: principles and practice. [Text] / R. Hyndman, G. Athanasopoulos. Melbourne: OTexts, 2013. – 292 p.
2. Чучуева, И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального правдоподобия : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 : защищена 20.03.12 / Чучуева Ирина Александровна ; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. – М., 2012. – 143 с.
3. Chatfield, C. The Analysis of Time Series: An Introduction [Text] / C. Chatfield. – N.-Y.: Chapman & Hall, 2003. – 352 p.
4. Box, G.E.P. Time Series Analysis: Forecasting and Control [Text] / G.E.P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel, G.M. Ljung. N.-Y.: Wiley, 2015. – 670 p.

#### **Пирогов В.В.**

*кандидат физико-математических наук, доцент,  
Кировоградский национальный технический университет*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ УСТАНОВИВШИХСЯ ДВИЖЕНИЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ИЗОЛИРОВАННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОВЕРШАЮЩЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ**

Учитывая активное развитие микроэлектроники, технологий и материалов, в космической отрасли различных стран прослеживается тенденция к увеличению доли так называемых малых космических аппаратов (КА) [1], масса которых не превышает 1000 кг. Малые КА обладают рядом важных преимуществ [2; 3] перед большими КА, а именно:

- сравнительно малыми сроками реализации проекта (не более 3–4 лет);
- меньшими расходами и рисками, связанными с разработкой, выводом на орбиту и их дальнейшей эксплуатацией;
- возможностью создания простых, надежных и универсальных платформ для решения различных научных и народнохозяйственных задач.

На дальнейшее активное применение и увеличение доли малых КА указывает и развитие так называемых «кластерных» космических систем связи, дистанционного зондирования космического пространства и Земли, на базе мини-, микро- и наноспутников [4–7]. Такие космические системы имеют повышенный охват пространства, высокую оперативность и надежность