

Г.І. Сторожилова, канд. техн. наук, доц., Я.М. Демчик, аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НА ТОЧНІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ЕНЕРГОРИНКУ

В роботі розглянуто, яким чином параметри методів прогнозування впливають на подальший прогноз електроспоживання. В процесі дослідження використано модель експоненціального згладжування першого порядку, модель Хольта, модель Вінтера та модель Бокса-Дженкінса. Застосовані методи вибору параметрів, які впливають на прогнозування, дозволили зробити висновки щодо поведінки точності прогнозування в залежності від параметрів моделей. Стаття може суттєво вплинути на правильність вибору як параметрів моделей, так і методу прогнозування електричної енергії. Дослідження дозволить у виробничому процесі здійснювати прогноз електроспоживання промислових об'єктів.

Ключові слова: експоненціальне згладжування, модель Бокса-Дженкінса, модель Хольта, модель Вінтера, коефіцієнт згладжування, тренда, сезонності, параметри моделі.

Вступ. Суттєвий вплив на величину спожитої електроенергії має структура конкретного підприємства, особливості його роботи та одним із важливих методів є вибір методу прогнозування. Для точності визначення прогнозних величин електричної енергії потрібно правильно вибирати метод прогнозування та коефіцієнти, які впливають на подальшу точність прогнозування електричного споживання. Управління електроенергетикою промислових підприємств є важливим як для виробника електричної енергії, так і для її споживача [1, 2]. Для виробництва електроенергії прогнозування електроспоживання є суттєвим для вирішення задач оптимізації поставки і резервування електроенергії, проведення профілактичних робіт і забезпечення безпеки функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС). Споживачу прогноз важливий для зниження похибки і зменшення ціни з оплати штрафів у разі перевищення лімітів по потужності і з переплатою за заявлену і не використану потужність, а також з невикористанням технологічного обладнання в випадку дефіциту потужності в ЕЕС [1]. У зв'язку з цим за тривалий час в енергетичній сфері було створено велику кількість методів прогнозування електроспоживання [3-5]. Більшість методів прогнозування можна використовувати для короткострокового та середньострокового періоду прогнозування (дні, тижні та місяці). Таким чином, розглядаються такі проблеми: по-перше, чи можливо за допомогою відомих методів описати статистичний ряд і з прогнозувати його з заданою точністю; по-друге, якщо використані методи прогнозування дають хороший прогноз, встановити вплив коефіцієнтів на точність прогнозування; по-третє, показати на прикладі практичні результати дослідження [6]. В якості методів дослідження було вибрано модифікації методу експоненціального згладжування та методу Бокса-Дженкінса, а в якості методів вибору коефіцієнтів було вибрано методи оптимізації: випадкового пошуку та метод покоординатного спуску.

Постановка проблеми. Збільшення точності прогнозування електроспоживання на об'єктах енергоринку в залежності від методу прогнозування та їх коефіцієнтів. Зниження похибки при прогнозуванні електроенергії за рахунок дослідження закономірності при виборі методу розрахунку коефіцієнтів згладжування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням прогнозування електроспоживання об'єктів енергоринку займалися такі провідні українські вчені, як П.О. Черненко, А.В. Праховник, В.П. Розен, М.М. Кулик. Серед іноземних дослідників теоретичними та практичними питаннями енергетичного прогнозування Й. Дікман, Й. Хорн, М.В. Кондрашова, В.М. Васильєв. Дослідження вищеперелічених вчених створили умови для подальшої роботи над удосконаленням методів прогнозування. В статті [7] розглянуто методи експоненціального згладжування та його модифікації, і зроблено висновок, яким чином поводить себе прогноз у залежності від методу прогнозування та коефіцієнту згладжування. В статті [6] також проведено порівняльний аналіз методів Бокса-Дженкінса та експоненціального згладжування.

Мета дослідження. Метою проведених досліджень є розробка початкових умов, за яких вибір методу прогнозування та коефіцієнту згладжування буде скорочений в часі за рахунок зведених таблиць, в яких показано залежність точності, та зменшення похибки прогнозування.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Експоненціальне згладжування.

Метод є простим варіантом самонавчальної моделі. Обчислення виконуються ітеративно.

Експоненціальне згладжування ряду здійснюється за рекурентною формулою[7]:

$$S_t = \alpha x_{t-1} + (1 - \alpha) S_{t-1}, \quad (1)$$

де, $0 < \alpha < 1$ параметр згладжування.

Експоненціальну середню S_t можна виразити через значення часового ряду.

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) (\alpha x_{t-1} + (1 - \alpha) S_{t-2}) = \alpha \sum_{i=0}^{t-1} (1 - \alpha)^i x_{t-i} + (1 - \alpha)^t S_0, \quad (2)$$

Якщо горизонт прогнозування d дуже великий то для розв'язання задачі прогнозування вибираємо модель Брауна [11]:

$$\hat{y}_{t+d} = \alpha x_t + (1 - \alpha) \hat{y}_{t-1}, \quad (3)$$

Модель Хольта або експоненціального згладжування з лінійним трендом – родоначальник методів адаптивного прогнозування [7]:

$$\hat{y}'_{t+d} = a_t + d b_{t-1}, \quad (4)$$

де, a_t – прогноз, очищений від тренда; b_t – параметр лінійного тренда.

$$a_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) (a_{t-1} - b_{t-1}), \quad (5)$$

$$b_t = \beta (a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta) b_{t-1}, \quad (6)$$

Модель Хольта-Вінтера або метод Вінтера, [7]:

Розрахунок експоненціально згладженого ряду:

$$L_t = \alpha Y_t / S_{t-s} + (1 + \alpha) (L_{t-1} + T_{t-1}), \quad (7)$$

Визначення значення тренда:

$$T_t = \beta (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1}, \quad (8)$$

Оцінка сезонності:

$$S_t = \gamma Y_t / L_t + (1 - \gamma) S_{t-s}, \quad (9)$$

Проводиться прогноз:

$$Y_{t-p} = (L_{t+p} + p T_t) S_{t-s+p}, \quad (10)$$

де, L_t - згладжувана величина на момент розрахунку; α - коефіцієнт згладжування ряду; S_{t-s} - коефіцієнт сезонності попереднього ряду; Y_t - значення періода; L_{t-1} - згладжування величина за попередній період; T_{t-1} - значення тренда за попередній період; T_t - значення тренда на момент розрахунку;

β - коефіцієнт згладжування тренда; S_t - коефіцієнт сезонності на момент розрахунку; γ - коефіцієнт згладжування сезонності; Y_{t-p} - прогноз по моделі Хольта-Вінтерса на p періодів вперед; p - порядковий номер на який робимо прогноз; S_{t-s+p} - коефіцієнт сезонності за цей же період в останньому сезоні.

Таким чином, з одної сторони, потрібно збільшувати статистичний ряд та більш правильно вибирати коефіцієнти згладжування. Таким чином пошук компромісних значень α , β , γ складає задачу оптимізації моделі. Однією з важливих складових являється вибір коефіцієнта який впливає на похибку прогнозування і в подальшому на точність прогнозу.

Метод випадкового пошуку ефективний із використанням ЕОМ для розв'язання задач оптимізації.

В основу методу покладено генерування випадкових чисел, які мають рівномірний розподіл в інтервалі $[0, 1]$. Випадкові числа отримані на ЕОМ називаються псевдовипадковими числами.

Генерують числа α , β , γ , від 0 до 1. Визначають модельні значення:

Серед множини значень коефіцієнтів знаходять рішення α , β , γ за якими функція цілі приймає високу точність значення.

Розглянемо метод нульового порядку, що знайшов широке використання в автоматизованих системах керування – метод покоординатного спуску. Відповідно до цього методу напрямком спуску вибирають паралельно координатним осям. Спочатку роблять спуск уздовж осі α , потім – уздовж осі β , і т.д. аж до осі γ .

Позначимо через l_i вектор, у якого всі компоненти крім i -го є нульовими. Нехай $x_j^{(0)}$ – початкова точка і a – довжина кроку. Обчислюємо значення функції $F(x)$ за формулою $x_j = x_j^{(0)} + a l_1$, і перевіряємо виконання нерівності:

$$F(x_j^{(0)} + a l_2) < F(x_j^{(0)}), \quad (11)$$

яка може бути представленою та іншим чином:

$$F(\alpha^{(0)} + a, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}) < F(\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}).$$

Якщо умова (11) виконується, тобто значення цільової функції зменшилося, то вважають крок успішним і приймаємо:

$$x_j^{(1)} = x_j^{(0)} + a l_1 = (\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}).$$

Якщо умова (11) не виконується, то здійснюємо крок у протилежному напрямку, тобто перевіряємо умову:

$$F(x_j^{(0)} - a l_1) < F(x_j^{(0)}). \quad (12)$$

У випадку виконання умови (2.3) вважають, що:

$$x_j^{(1)} = x_j^{(0)} - a l_1 = (\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}, \dots, \gamma^{(0)}).$$

Якщо ж обидві умови (11) і (12) не виконуються, то вважають $x_j^{(1)} = x_j^{(2)}$

Другий крок виконуємо аналогічним чином, але вздовж осі β . У результаті перегляду всіх n координатних осей буде визначена точка $x_j^{(k)}$. На цьому завершується перший цикл перегляду змінних (перша ітерація). Якщо на кожному кроці жодна з умов виду (11) чи (12) не виконувалася, то варто зменшити довжину кроку і здійснити наступну ітерацію за новим значенням довжини кроку.

Звичайно ітераційний процес продовжують доти, поки не буде виконана умова:

$$|F(x_j^{(k+1)}) - F(x_j^{(k)})| \leq \varepsilon, \quad (13)$$

де ε – додатне число, що характеризує точність розв'язання, величина якого задається на початку розрахунків.

Необхідно відзначити, що ознакою завершення розрахунків може бути не лише умова (13). У тому випадку, якщо по змісту розв'язуваної задачі змінювати довжину кроку a не можна, то ознакою зупинки на деякому циклі перегляду може бути і умова $x_j^{(n)} = x_j^{(0)}$.

Існує кілька модифікацій методу покоординатного спуску. Одна з них полягає в наступному.

Метод покоординатного спуску застосовується й у тому випадку, якщо на змінні накладаються обмеження типу $x_j \geq b_i$ чи $x_j \leq b_i$. Перевірка дотримання останніх легко реалізується на довільному кроці оптимізації.

Процес розв'язання задачі на основі методу покоординатного спуску, з довжиною кроку $a = 0,1$, крім значень змінних на кожному кроці оптимізації наводиться інформація про відповідні значення цільової функції втрат $F(x_j^{(k)})$, а також про результативність кроку (успішний – "+" чи не успішний – "-").

Метод Бокса-Дженкінса.

ARIMA або модель Бокса-Дженкінса – інтегрована модель авторегресії – змінного середнього модель і методологія аналізу часового ряду. Являється розширенням моделей ARMA для нестационарних часових рядів, які можна зробити стаціонарним взяттям різниці деякого порядку від вихідного часового ряду. Модель ARIMA (p, d, q) означає, що різниці часового ряду порядку d підкоряється моделі ARIMA (p, q) [10].

Модель ARIMA (p, d, q) для нестационарного часового ряду X_t має вигляд:

$$\Delta^d X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} \varepsilon_t \quad (14)$$

де ε_t – стаціонарний часовий ряд;

c, a_i, b_j – параметри моделі,

Δ^d – лператор різниці часового ряду порядку d .

Також дана модель інтерпритується як ARIMA ($p+d, q$) модель з d одиничними корнями. При $d=0$ маємо звичайні ARIMA-моделі.

Підхід ARIMA до часових рядах полягає в тому, що в першу чергу оцінюється стаціонарність ряду. Далі при необхідності ряд перетворюється взяттям різниці відповідного порядку і вже для перетвореної моделі будується деяка ARMA-модель, оскільки передбачається, що отриманий процес є стаціонарним, на відміну від вихідного нестационарного процесу.

Результати роботи В роботі розглянуто 4 методи прогнозування при яких змінювалися параметри моделей та робився аналіз даних прогнозування.

Метод простого експоненціального згладжування метод Хольта та метод Вінтера вибрано 15 найкращих результатів. Методи простого експоненціального згладжування та метод Хольта не показали результатів прогнозування з похибкою меншою ніж 30%. В таблиці 1 показано залежність коефіцієнта згладжування, коефіцієнта тренда та коефіцієнта сезонності які вибираються випадковим пошуком від похибки прогнозування. Це дало змогу досягнути похибки в 16% при параметрах коефіцієнта згладжування 0,1 коефіцієнта тренда 0,8 та коефіцієнта сезонності 1,0.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця коефіцієнтів згладжування, тренда та сезонності з похибкою (метод випадкового пошуку коефіцієнтів)

Параметри	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	0,9	1,0	0,2	0,3	0,7	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9	1,0	0,4	0,8	0,9
	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
Похибка	0,27	0,25	0,21	0,21	0,26	0,24	0,22	0,20	0,21	0,19	0,18	0,18	0,26	0,16	0,19

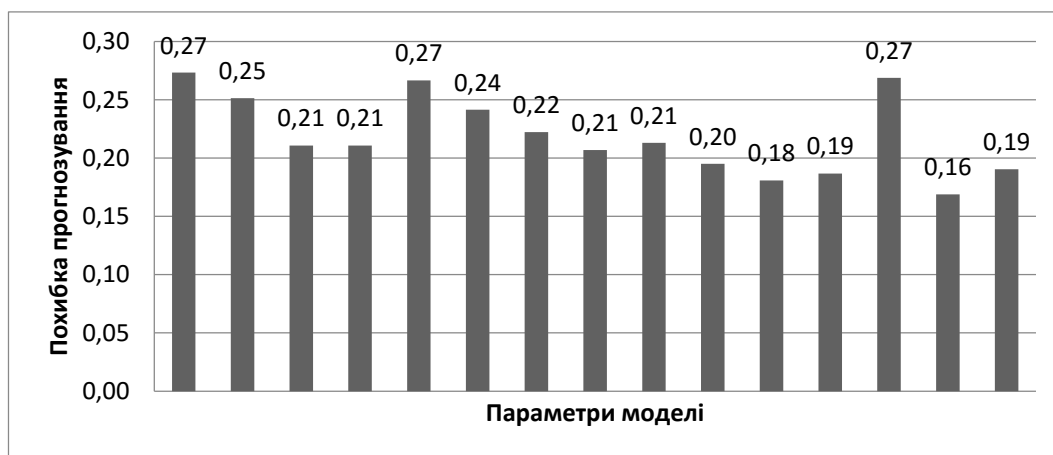


Рисунок 1 – Порівняльний графік параметрів прогнозування та похибки прогнозування потужності

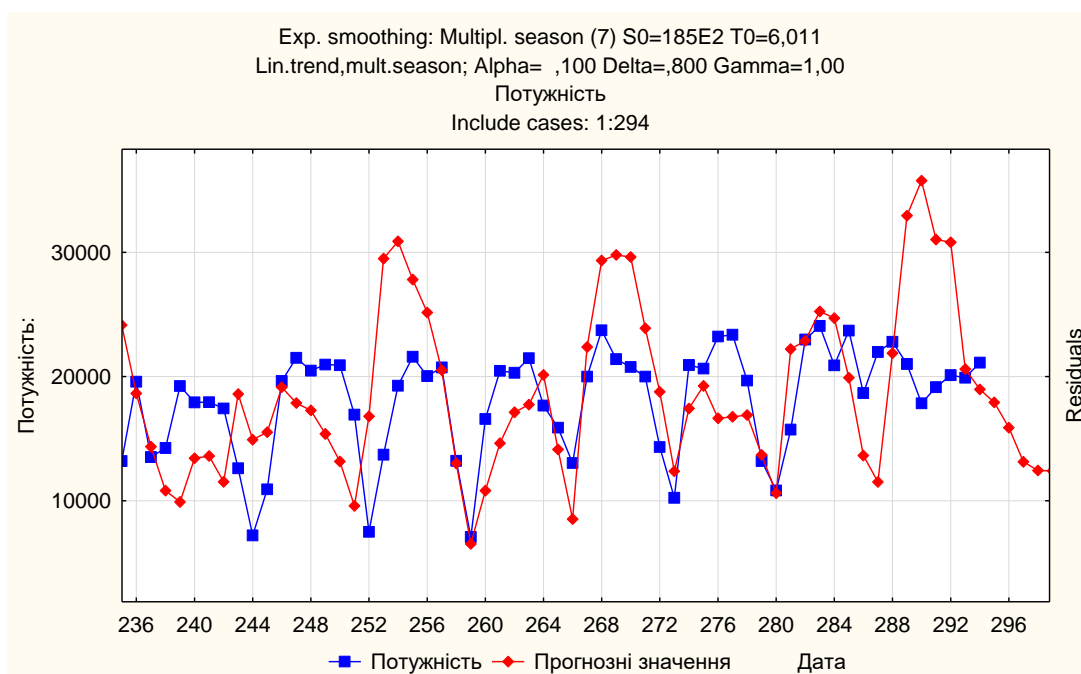


Рисунок 2 – Графік прогнозних та дійсних даних потужності

В табл. 2 показано залежність коефіцієнта згладжування, коефіцієнта тренда та коефіцієнта сезонності які вибираються випадковим пошуком від похибки прогнозування. Це дало змогу досягнути найкращої точності в 81% при параметрах коефіцієнта згладжування 0,1 коефіцієнта тренда 1,0 та коефіцієнта сезонності 0,9.

Таблиця 2. Порівняльна таблиця коефіцієнтів згладжування, тренда та сезонності з похибкою (покоординатний пошук коефіцієнтів)

Параметри моделі	0,1 0,9 0,7	0,1 1,0 0,7	0,1 0,2 0,8	0,1 0,3 0,8	0,1 0,7 0,8	0,1 0,8 0,9	0,1 1,0 0,9
Похибка	0,27	0,25	0,21	0,21	0,27	0,20	0,19

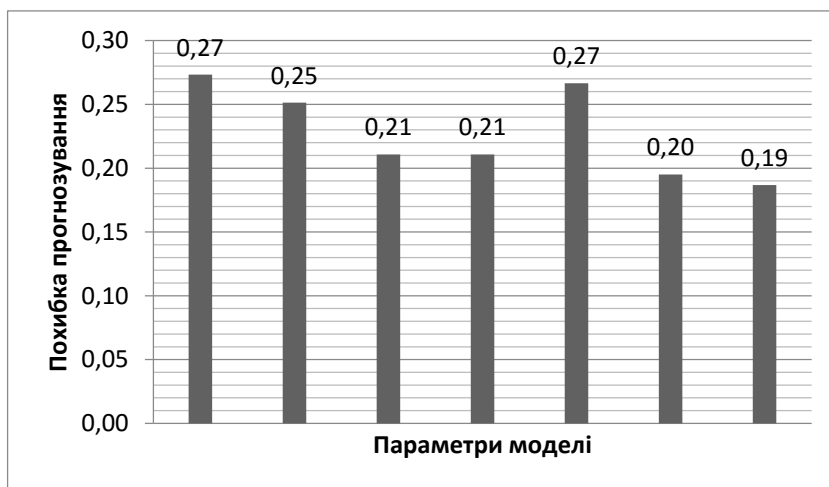


Рисунок 3 - Порівняльний графік параметрів прогнозування та похибки прогнозування потужності

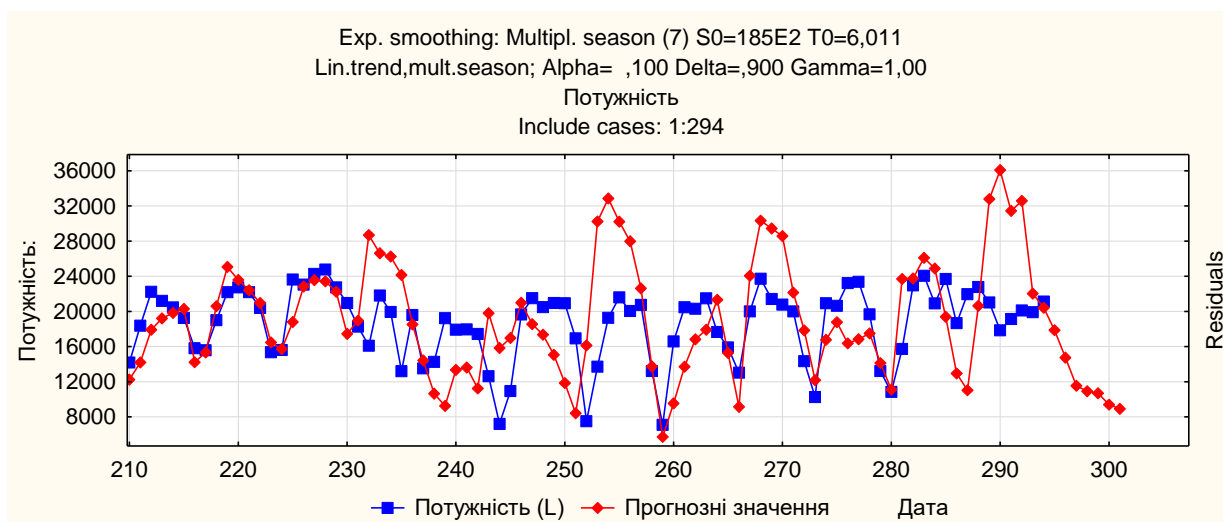


Рисунок 4 – Графік прогнозних та дійсних значень потужності

При прогнозуванні даних, модель Бокса-Дженкінса показала найкращий результат по часу та похибку прогнозування в 19%.

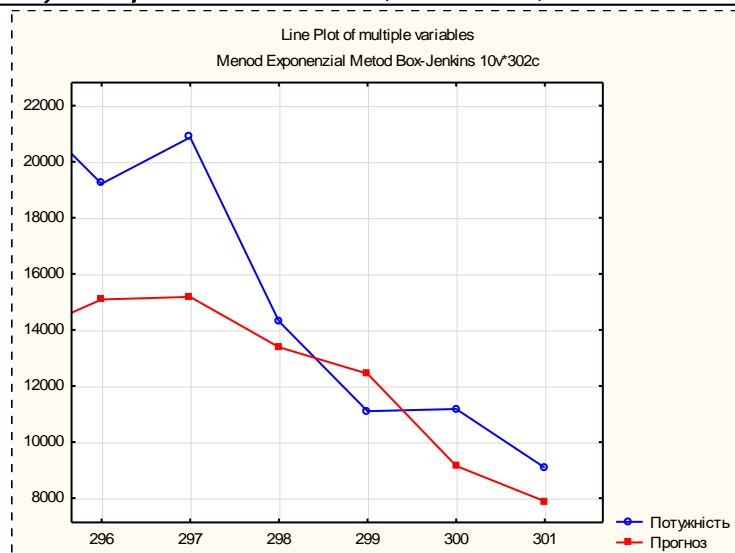


Рисунок 5 – Графік прогнозних та дійсних значень потужності

На рисунку 5 показано результати моделювання методом Бокса-Дженкінса. Аналіз графіка дозволяє зробити висновок результатами прогнозування досягнуто похибки в 19%. Але як видно з графіка прогнозних та дійсних значень модель працює з запізненням.

Висновки:

1. Дослідження показало, що моделі прогнозування дозволяють робити точний прогноз за короткий час, при цьому похибка прогнозування досягається близько 10%.
2. Методи вибору параметрів показали, що випадковий пошук дозволяє робити прогноз з високою точністю, але пошук параметрів моделей затратний в часі. При використанні методу покоординатного спуску отримуємо швидкий результат прогнозування, але при цьому точність прогнозування знижується.
3. Метод Бокса-Дженкінса дозволяє прогнозувати в короткий термін і з похибкою прогнозування близькою 19%.

Список використаної літератури

1. Прогнозирование электропотребления: современные методы и пример исследования / [Л. А. Большов, М. Ф. Каневский, Е. А. Савельева та ін.]. // Известия академии наук. Энергетика. – 2004. – №6. – С. 74–93.
2. Васильев Д. А. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий / Д. А. Васильев, В. А. Иващенко. // Управление большими системами. – 2012. – №34. – С. 254–266.
3. Кулик М. М. Прогнозування графіків електричних навантажень об'єднаної енергосистеми на довгострокову перспективу / М. М. Кулик, С. В. Дубовський, П. П. Корбін. // Проблеми загальної енергетики. – 2004. – №10. – С. 7–11.
4. Арзамасцев Д. А. Модели и методы оптимизации развития энергосистем. / Д. А. Арзамасцев, А. В. Липес, А. Л. Мызин. – Свердловск: УПИ, 1976. – 146 с.
5. Веников В. А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. Учебник для вузов. / В. А. Веников, В. Г. Журавлев, Т. А. Филипова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
6. Кондрашова Н. В. Сравнительный анализ методов сглаживания и МГУА для прогнозирования временных рядов / Н. В. Кондрашова, Н. В. Павлов. // УСиМ. – 2009. – С. 84–101.
7. Алексеева И. Ю. Метод экспоненциального сглаживания линии тренда временного ряда в сочетании с методом индексов сезонности при краткосрочном прогнозировании электропотребления / И. Ю. Алексеева, В. П. Степанов, А. С. Ведерников. // Вестн. Самар. гос. тех. ун-та сер. тех науки. – 2008. – №1. – С. 137–143.
8. Седов А. В. Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства / А. В. Седов, И. И. Надтока. – Ростов-н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 2002. – 170 с.
9. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. Учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
10. Пашкеев С. Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. Учебное пособие для вузов. / С. Д. Пашкеев. – М.: Связь, 1976.

EFFECT ON PARAMETERS MODEL FORECASTING ACCURACY POWER CONSUMPTION AT THE FACILITY ENERGY MARKET

We consider how the parameters affect the methods of forecasting future electricity consumption forecast. The study used a model of exponential smoothing of the first order, the model Holt, Winter model and model Box-Jenkins. The applied methods of selecting options that affect forecasting allow conclusions on the behavior prediction accuracy depending on the model parameters. The article can significantly affect how the right choice of the models and methods of forecasting electricity. The study will allow the production process to carry electricity consumption forecast industrial facilities.

Keywords: exponential smoothing, Box-Jenkins model, model Holt, model Winter, smoothing factor, trend, seasonality, model parameters.

References

1. elektropotreblenyya prediction: Modern Methods and Example Studies / [L. A. Bolshov, MF Kanevskyy, EA Savelyeva et al.]. // Proceedings of the Academy of Sciences. Energetika. - 2004. - №6. - P. 74-93.
2. Vasilyev DA Models avtomatyzirovannoho prediction of industrial enterprises electric nahruzok / DA Vasilyev, VA Yvaschenko. Big // Management systems .. - 2012. - №34. - S. 254-266.
3. Kulik MN Prediction schedules of electrical loads integrated power system for the long term / M. Kulyk, SV Dubovskoy, PP Corbin. // Problems of Energy. - 2004. - №10. - P. 7-11.
4. Arzamastsev DA Models and methods optimization enerhosystem development. / DA Arzamastsev, AV Lypes, AL Мызын. - Sverdlovsk: UPY, 1976. - 146 p.
5. Venykov VA Optimization enerhosystem regimes and power plants. Textbook for Universities. / VA Venykov, VG Zhuravlev, TA Filipova. - M.: Energoatomizdat, 1990. - 352 p.
6. Kondrashov NV Comparative analysis methods and shlazhyvaniya GMDH for forecasting ordinary vremennykh / NV Kondrashov, NV Pavlov. Uusimaa // .. - 2009. - S. 84-101.
7. Alekseeva I. Yu method eksponentsyalnoho shlazhyvaniya LINE trend temporarily in rjada The combination with yndeksov by seasonal forecasting at kratkosrochnom elektropotreblenyya / AI Alekseeva Yu, VP Stepanov, A. Vedernikov. // Vestn. Samar.hos. those. University Press sir. tech science. - 2008. - №1. - S. 137-143.
8. Sedov AV control system, raspoznavaniya and forecasting elektropotreblenyya: models, methods, algorithms and sredstva / AV Sedov, I. I. Nadtoka. - Rostov n / D: Publishing House of Rostov University Press, 2002. - 170 p.
9. Lukashin Y. Adaptivnye forecasting methods kratkosrochnoho vremennykh private. Uchebnoe posobyе / YP Lukashin. - M.: Finance and Statistics, 2003. - 416 p.
10. Pashkeev SD, machine optimization methods in communication technician. Uchebnoe posobyе for universities. / SD Pashkeev. - M.: Communications, 1976.

УДК 621.311 621.31:51

Г.И. Сторожилова, канд. техн. наук, доц., Я.М. Демчик, асп.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГОРЫНКА

В работе рассмотрено, каким образом параметры методов прогнозирования влияют на дальнейший прогноз электропотребления. В процессе исследования использована модель экспоненциального сглаживания первого порядка, модель Хольта, модель Винтера и модель Бокса-Дженкинса. Примененные методы выбора параметров влияющих на прогнозирование позволили сделать выводы по поведению точности прогнозирования в зависимости от параметров моделей. Статья может существенно повлиять на правильность выбора в качестве параметров моделей так и метода прогнозирования электрической энергии. Исследование позволит осуществлять прогноз электропотребления промышленных объектов в производственном процессе.

Ключевые слова: экспоненциальное сглаживание, модель Бокса-Дженкинса, модель Хольта, модель Винтера, коэффициент сглаживания, тренда, сезонности, параметры модели.

Надійшла 24.10.2016

Received 24.10.2016