

# ВІСНИК

ВІННИЦЬКОГО  
ПОЛІТЕХНІЧНОГО  
ІНСТИТУТУ

---

---

6

2002

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ  
ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО  
ІНСТИТУТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у грудні 1993 року

Виходить 6 раз на рік

---

**6 (45) — 2002**

---

**ЗМІСТ**

**АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА**

- Азаров О. Д., Захарченко С. М., Архипчук О. А.** Метод самокалібрування похибок порозрядних АЦП з ваговою надлишковістю ..... 5

**БУДІВНИЦТВО**

- Моргун А. С.** Аналіз впливу коефіцієнтів глобальної матриці методу граничних елементів на величини переміщень пірамідальної палі в статичній задачі теорії пружності ..... 9

**ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА ЕКОЛОГІЯ**

- Мокін Б. І., Ротштейн О. П., Острий І. Ф.** Управління запасами на основі нечіткої логіки ..... 12
- Матвійчук А. В.** Аналіз залежності структури оптимального портфеля цінних паперів від вигляду функції ризику ..... 19
- Задорожна О. Л.** Освітній потенціал і конкурентоспроможність робочої сили в умовах ринкових відносин в Україні ..... 25
- Шуфрич Н. І.** Реформування земельної власності у постсоціалістичних країнах Східної Європи в світлі загальних соціально-економічних трансформацій ..... 33

**ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

- Кобилянський О. В., Когутницький В. М.** Комплексний захист асинхронного приводу вентиляційного обладнання ..... 36
- Дудко В. Б., Мокін Б. І., Розводюк М. П.** Математичні моделі прогнозу споживання електроенергії трамваями на маршрутах ..... 38
- Чепурний М. М., Попов О. Я., Куть Т. П., Федун А. Ю.** Визначення ефективності використання палива в парогенераторах, які працюють на мазуті ..... 44
- Бурбело М. Й.** Вплив вищих гармонік на похибки вимірювання комплексних опорів ..... 49
- Журахівський А. В., Кенс Ю. А., Мединський Р. В.** Розрахунок та комп'ютерна симуляція однофазних замикань на землю в мережах генераторної напруги електростанцій ..... 52
- Рибалко А. Я., Панченко В. І., Заїка В. Т.** Аналіз способів стабілізації е.р.с. у енергоприймачі безконтактного електровоза під час зсуву щодо тягової лінії ..... 60

### Висновки

1. Внаслідок тривалого часу перебування у резерві без постійного контролю робочого стану електродвигунів з негативним впливом навколишнього середовища можливі відмови у роботі системи аварійної вентиляції і утворення шкідливих і вибухонебезпечних сумішей у повітрі робочої зони виробничих приміщень.

2. Для надійного захисту вентиляційних систем пропонується пристрій комплексного захисту, який дозволяє визначати як стан повітряного середовища в робочій зоні, так і вентиляторів перед пуском і в процесі експлуатації та оптимізувати кількість вентиляторів, що працюють, в залежності від концентрації небезпечних речовин у цій зоні.

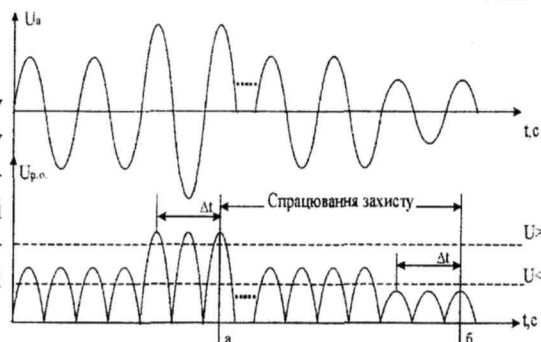


Рис. 7. Напруги мережі живлення та спрацювання реагуювального органу: а – максимальна, б – мінімальна

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник. — Львів: Афіша, 2000. — 352 с.
2. Тубис Я. Б., Белов Г. К. Температурная защита асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве. — М.: Энергия, 1977. — 104 с.
3. Надежность асинхронных двигателей / Под ред. Б. Н. Васильева. — К.: Техника, 1983. — 143 с.

Рекомендована кафедрою охорони праці та безпеки життєдіяльності

Надійшла до редакції 9.07.02  
Рекомендована до друку 15.07.02

**Кобилянський Олександр Володимирович** — доцент, **Когутницький В'ячеслав Миколайович** — пошукач.

Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Вінницький державний технічний університет

УДК 656(1-21):681.5+658.58

**В. Б. Дудко; Б. І. Мокін, д. т. н., проф.; М. П. Розводюк, асп.**

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЯМИ НА МАРШРУТАХ

### Постановка задачі

Оскільки трамвайний парк відноситься до розряду найбільших споживачів електроенергії в кожному місті, де він є, то актуальною є задача мінімізації витрат електроенергії на кожний трамвай, що працює на маршруті.

Наші спостереження за водіями трамваїв Вінницького трамвайного-тролейбусного управління (ТТУ) показали, що ці витрати в значній мірі залежать від кваліфікації водіїв трамваїв і можуть відрізнитись під час роботи на одному і тому ж маршруті дуже суттєво, а в окремих випадках навіть у два рази.

Для того, щоб стимулювати бажання водіїв трамваїв підвищувати свою кваліфікацію і знижувати витрати електроенергії на маршруті, керівництво Вінницького ТТУ запровадило систему преміювання за економію електроенергії. Але ця система не ґрунтується на чіткій шкалі, яка не викликала б незгоди водіїв із рішеннями керівництва.

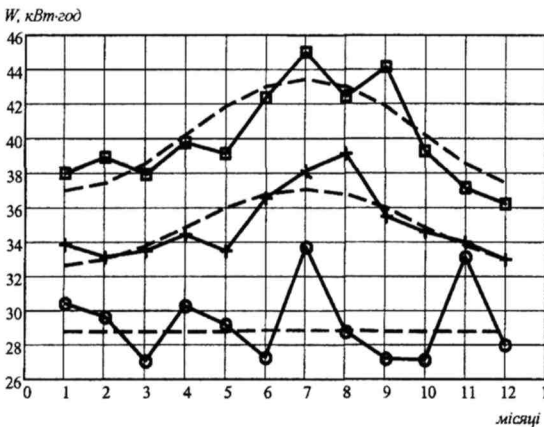
Автори цієї роботи поставили собі за мету створити об'єктивну базу знань про роботу кожного водія трамвая ТТУ в цілому і методологію її оцінки за критерієм витрат електроенергії на функціонування трамваїв під час роботи на маршрутах.

Методологію пропонується побудувати із застосуванням математичних моделей, основаних на використанні часових рядів [1].

Синтезу математичних моделей, як першому кроку в побудові методології, присвячена стаття.

Для дослідження виберемо двох водіїв, трамваї яких за однаковий проміжок часу в середньому споживають відповідно мінімальну і максимальну кількості електроенергії: назвемо їх відповідно водій «Ч», трамвай якого споживає електроенергію  $W_t^{(Ч)}$ , та водій «К», трамвай якого споживає електроенергію  $W_t^{(К)}$ . Побудуємо також математичну модель і «усередненого» водія депо «Д» для порівняння водіїв «Ч» та «К» не лише між собою, але й з «усередненим» по депо водієм «Д». Витрати електроенергії «усередненим» трамваем будемо розраховувати як частку від ділення витрат електроенергії усіма трамваями, які в досліджуваній період працювали на маршрутах, на їх кількість. Споживання електроенергії «усередненим» трамваем депо на маршруті позначимо через  $W_t^{(Д)}$ . Як статистичні дані візьмемо величини спожитої електроенергії трамваями обох водіїв протягом одного й того ж періоду, тобто виберемо такі місяці, на протязі яких і водій «Ч», і водій «К» працювали без простоїв та відпусток, а також статистику споживання електроенергії трамваями по депо в цілому за цей же період. Враховуючи такі міркування, можемо вибрати із відповідних відомостей по трамвайному депо річну статистику з 1 липня 2000 року по 30 червня 2001 року.

Споживання електроенергії трамваями обох водіїв та «усередненого» водія «Д» депо за вказаний період можна проілюструвати наочно за допомогою рисунку, з якого видно, що у водія «Ч» прослідковується стабільність споживання електроенергії його трамваем, тобто рівень кваліфікації водія є сталим, оскільки відхилення від тренду не зростають. Щодо водія «К», то від набутого досвіду відхилення споживання електроенергії його трамваем від тренду зменшуються, що свідчить про підвищення ним за цей період в певній мірі своєї кваліфікації.



●●● – споживання електроенергії  $W_t^{(Ч)}$  трамваем водія «Ч»  
 ■■■ – споживання електроенергії  $W_t^{(К)}$  трамваем водія «К»  
 ▲▲▲ – споживання електроенергії  $W_t^{(Д)}$  трамваем «усередненого» водія «Д»  
 --- лінія тренду  $\bar{W}_t$  для споживання електроенергії трамваями

Споживання електроенергії трамваями на протязі досліджуваного періоду

### Синтез математичних моделей

Математичні моделі споживання електроенергії трамваем будемо синтезувати у вигляді суми тренду та авторегресії порядку  $p$ , яку для центрованого часового ряду  $\tilde{W}_t$  будемо шукати у вигляді

$$\tilde{W}_t = \phi_1 \tilde{W}_{t-1} + \phi_2 \tilde{W}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{W}_{t-p} + a_t, \quad (1)$$

де  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  – коефіцієнти авторегресії порядку  $p$ ;  $a_t$  – імпульс білого шуму [1, 2].

Для розв'язання поставленої задачі насамперед нам необхідно визначити коефіцієнти

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  виразу (1). Це можна зробити, використовуючи матричні рівняння Юла-Уокера [1, 2]:

$$M_k \Phi_k = \rho_k, \quad (2)$$

$$\text{де } M_k = \begin{bmatrix} \rho_0 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & \rho_0 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \rho_2 & \rho_1 & \rho_0 & \dots & \rho_{p-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \rho_{p-3} & \dots & \rho_0 \end{bmatrix} \quad \text{— квадратна матриця розміром } (p \times p) \text{ значень коефіцієнтів автокореляції для часового ряду } \tilde{W}_t;$$

$$\Phi_k = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \dots \\ \phi_p \end{bmatrix} \quad \text{— матриця-стовпчик розміром } (p \times 1) \text{ коефіцієнтів } \phi_k \text{ для рівняння авторегресії (1);}$$

$$\rho_k = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \\ \dots \\ \rho_p \end{bmatrix} \quad \text{— матриця-стовпчик розміром } (p \times 1) \text{ коефіцієнтів автокореляції часового ряду } \tilde{W}_t, \text{ які можна визначити за формулою}$$

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}, \tag{3}$$

де  $\gamma_k$  — коефіцієнти автоковаріації, розраховувати які будемо за формулою

$$\gamma_k = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-k} \tilde{W}_t \tilde{W}_{t+k}, \tag{4}$$

де  $N$  — кількість статистичних даних;  $\tilde{W}_t$  — центрований часовий ряд, який можна отримати за допомогою виразу

$$\tilde{W}_t = W_t - \mu_t, \tag{5}$$

де  $\mu_t$  — тренд часового ряду  $W_t$ , який для нашої задачі можна знайти із виразу

$$\mu_t = A_0 + A \sin(\omega(t-1) + \psi), \tag{6}$$

де  $A_0, A$  — середнє значення й амплітуда синусоїди відповідно;  $\omega$  — частота,

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \tag{7}$$

де  $T$  — період ( $T = 12$  місяців);  $\psi$  — фаза.

В зв'язку з тим, що початок відліку ми взяли з липня місяця, а саме на цей місяць припадає період найвищих річних температур, коли споживання електроенергії трамваями мінімальне, тому тренд у липні повинен мати найменше значення. А це означає, що фазу  $\psi$  синусоїди необхідно зсунути на кут

$$\psi = -\frac{\pi}{2}. \tag{8}$$

У виразі (6) параметр  $t$  зсунуто на одну одиницю назад через те, що відлік місяцям ми беремо не з величини 0, а з 1.

Маючи числові значення частоти  $\omega$  та фази  $\psi$ , коефіцієнти синусоїди  $A_0$  й  $A$  легко знайти за стандартною процедурою методу найменших квадратів, закладеною в кожній версії Mathcad.

Зрозуміло, що у виразі (3) величина

$$\gamma_0 = \sigma_W^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (W_t - \mu_t)^2 \quad (9)$$

є дисперсією часового ряду  $W_t$ .

Розв'язок рівнянь (2) Юла-Уокера можна знайти у вигляді [1, 2]

$$\Phi(p) = M_p^{(-1)} \rho_p. \quad (10)$$

Для визначення гаусового білого шуму  $a_t$  з нульовим середнім значенням та дисперсією  $\sigma_a^2$  скористаємося формулою

$$\sigma_a^2 = \sigma_W^2 - \phi_1 \gamma_1 - \phi_2 \gamma_2 - \dots - \phi_p \gamma_p. \quad (11)$$

Використовуючи вищевикладений алгоритм, синтезуємо тренди та авторегресійні моделі для споживання електроенергії трамваями «усередненого» водія «Д» та водіїв «Ч» і «К».

Споживання електроенергії «усередненим» трамваем депо відобразимо часовим рядом

$$W_t^{(D)} = \{33,76; 33,06; 33,43; 34,37; 33,42; 36,48; 38,06; 39,06; 35,4; 34,51; 33,91; 32,93\}. \quad (12)$$

Тренд  $\mu_t^{(D)}$ , розрахований за формулою (6) із застосуванням стандартної процедури методу найменших квадратів в Mathcad 8, та дисперсія  $\sigma_W^{(D)2}$  ряду (12), розрахована за формулою (9), приймуть такі значення:

$$\mu_t^{(D)} = 34,818 + 2,215 \sin(0,524(t-1) - 1,571); \quad (13)$$

$$\sigma_W^{(D)2} = 1,35. \quad (14)$$

Центрований ряд  $\tilde{W}_t^{(D)}$  спожитої електроенергії «усередненим» трамваем, розрахований за формулою (5) для ряду (12), набуде наступних значень:

$$\tilde{W}_t^{(D)} = \{1,16; 0,16; -0,28; -0,45; -2,51; -0,26; 1,03; 2,32; -0,53; -0,31; 0,2; 0,03\}. \quad (15)$$

Підставивши значення  $\tilde{W}_t^{(D)}$  у вираз (4), отримаємо для  $k = \overline{0, 8}$  такі коефіцієнти автоковаріації:

$$\begin{cases} \gamma_0^{(D)} = 1,35; & \gamma_1^{(D)} = 0,276; & \gamma_2^{(D)} = -0,412; \\ \gamma_3^{(D)} = -0,763; & \gamma_4^{(D)} = -0,325; & \gamma_5^{(D)} = 0,029; \\ \gamma_6^{(D)} = 0,223; & \gamma_7^{(D)} = 0,505; & \gamma_8^{(D)} = -0,182. \end{cases} \quad (16)$$

Підрахуємо автокореляції за формулою (3):

$$\begin{cases} \rho_0^{(D)} = 1; & \rho_1^{(D)} = 0,205; & \rho_2^{(D)} = -0,305; \\ \rho_3^{(D)} = -0,565; & \rho_4^{(D)} = -0,241; & \rho_5^{(D)} = 0,021; \\ \rho_6^{(D)} = 0,165; & \rho_7^{(D)} = 0,374; & \rho_8^{(D)} = -0,135. \end{cases} \quad (17)$$

Ідентифікуємо  $\tilde{W}_t^{(D)}$  спочатку авторегресійною моделлю 1-го порядку ( $k = 1$ ). В цьому випадку матричне рівняння Юла-Уокера вироджується до вигляду

$$\rho_0^{(D)} \phi_1^{(D)} = \rho_1^{(D)}. \quad (18)$$

З виразу (17) видно, що

$$\phi_1^{(D)} = \rho_1^{(D)} = 0,205. \quad (19)$$

Для авторегресії 1-го порядку дисперсія білого шуму згідно з (11) повинна мати таке

значення:

$$\sigma_a^{(D)2} = \sigma_W^{(D)2} - \phi_1^{(D)} \gamma_1^{(D)}; \quad (20)$$

$$\sigma_a^{(D)2} = 1,35 - 0,205 \cdot 0,276 = 1,29.$$

Тоді регресійна модель 1-го порядку споживання електроенергії «усередненим» трамваем депо матиме вигляд

$$\tilde{W}_t^{(D, 1)} = 0,205\tilde{W}_{t-1}^{(D)} + a_t^{(D, 1)}, \quad (21)$$

де білий шум  $a_t^{(D, 1)}$  з нульовим середнім визначається дисперсією (20).

Далі синтезуємо авторегресійні моделі вищих порядків. Для зручності результати зведемо до табл. 1.

Таблиця 1

Авторегресійні моделі споживання електроенергії «усередненим» трамваем депо

p	Авторегресійна модель, $\tilde{W}_t^{(D, p)}$	$\sigma_a^{(D, p)2}$
1	$0,205\tilde{W}_{t-1}^{(D)} + a_t^{(D, 1)}$	1,29
2	$0,279\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,362\tilde{W}_{t-2}^{(D)} + a_t^{(D, 2)}$	1,12
3	$0,102\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,226\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,487\tilde{W}_{t-3}^{(D)} + a_t^{(D, 3)}$	0,86
4	$-0,014\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,28\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,463\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - 0,239\tilde{W}_{t-4}^{(D)} + a_t^{(D, 4)}$	0,81
5	$-0,107\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,46\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,572\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - 0,245\tilde{W}_{t-4}^{(D)} - 0,388\tilde{W}_{t-5}^{(D)} + a_t^{(D, 5)}$	0,69
6	$-0,307\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,586\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,866\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - 0,482\tilde{W}_{t-4}^{(D)} - 0,444\tilde{W}_{t-5}^{(D)} - 0,514\tilde{W}_{t-6}^{(D)} + a_t^{(D, 6)}$	0,5
7	$-0,407\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,672\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,96\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - 0,65\tilde{W}_{t-4}^{(D)} - 0,558\tilde{W}_{t-5}^{(D)} - 0,574\tilde{W}_{t-6}^{(D)} - 0,195\tilde{W}_{t-7}^{(D)} + a_t^{(D, 7)}$	0,49
8	$-0,655\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,402\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 1,669\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - 1,477\tilde{W}_{t-4}^{(D)} - 1,778\tilde{W}_{t-5}^{(D)} - 1,429\tilde{W}_{t-6}^{(D)} - 0,713\tilde{W}_{t-7}^{(D)} - 1,271\tilde{W}_{t-8}^{(D)} + a_t^{(D, 8)}$	-0,299

Із табл. 1 випливає, що споживання електроенергії «усередненим» трамваем депо адекватно описується авторегресійною моделлю 6-го порядку у вигляді

$$\tilde{W}_t^{(D)} = -0,307\tilde{W}_{t-1}^{(D)} - 0,586\tilde{W}_{t-2}^{(D)} - 0,866\tilde{W}_{t-3}^{(D)} - 0,482\tilde{W}_{t-4}^{(D)} - 0,444\tilde{W}_{t-5}^{(D)} - 0,514\tilde{W}_{t-6}^{(D)} + a_t^{(D)} \quad (22)$$

з дисперсією білого шуму  $\sigma_a^{(D)2} = 0,5$  і трендом

$$\mu_t^{(D)} = 34,818 + 2,215 \sin(0,524(t - 1) - 1,571), \quad (23)$$

оскільки модель 7-го порядку, додаючи складності, не підвищує ступеня адекватності.

Синтезуємо далі авторегресійні моделі споживання електроенергії трамваями водія «Ч» та водія «К», які уособлюють водіїв з найкращою і найгіршою кваліфікацією відповідно.

Споживання електроенергії трамваем водія «Ч» описується часовим рядом

$$W_t^{(Ч)} = \{30,34; 29,58; 26,98; 30,2; 29,13; 27,21; 33,63; 28,7; 27,14; 27,05; 33,07; 27,92\}. \quad (24)$$

Виконавши поетапно всі операції, здійснені для побудови авторегресійної моделі споживання електроенергії «усередненим» трамваем депо, та звівши результати до табл. 2 і 3, отримуємо, що споживання електроенергії трамваем водія «Ч» достатньо адекватно описується трендом

$$\mu_t^{(Ч)} = 28,733 + 0,021 \sin(0,524(t - 1) - 1,571) \quad (25)$$

і авторегресійною моделлю 4-го порядку у вигляді

$$\tilde{W}_t^{(q)} = -0,458\tilde{W}_{t-1}^{(q)} - 0,343\tilde{W}_{t-2}^{(q)} + 0,013\tilde{W}_{t-3}^{(q)} + 0,298\tilde{W}_{t-4}^{(q)} + a_t^{(q)} \quad (26)$$

з дисперсією білого шуму  $\sigma_a^{(q)2} = 3,6$ .

Таблиця 2

**Статистичні, автоковаріаційні та автокореляційні характеристики ряду (24)**

Тренд, $\mu^{(q)}$	$\mu_t^{(q)} = 28,733 + 0,021 \sin(0,524(t-1) - 1,571)$
Дисперсія, $\sigma_W^{(q)2}$	5,44
Центрований ряд $\tilde{W}_t^{(q)}$	{1,63; 0,87; -1,74; 1,47; 0,39; -1,54; 4,88; -0,05; -1,6; -1,68; 4,35; -0,8}
Коефіцієнти автоковаріації, $\gamma_k^{(q)}$	$\gamma_0^{(q)} = 5,439$ ; $\gamma_1^{(q)} = -1,676$ ; $\gamma_2^{(q)} = -1,59$ ; $\gamma_3^{(q)} = 0,873$ ; $\gamma_4^{(q)} = 1,742$ ; $\gamma_5^{(q)} = -1,683$
Автокореляція, $\rho_k^{(q)}$	$\rho_0^{(q)} = 1$ ; $\rho_1^{(q)} = -0,308$ ; $\rho_2^{(q)} = -0,292$ ; $\rho_3^{(q)} = 0,161$ ; $\rho_4^{(q)} = 0,32$ ; $\rho_5^{(q)} = -0,309$

Таблиця 3

**Авторегресійні моделі споживання електроенергії трамваем водія «Ч»**

$p$	Авторегресійна модель, $\tilde{W}_t^{(q, p)}$	$\sigma_a^{(q, p)2}$
1	$-0,308\tilde{W}_{t-1}^{(q)} + a_t^{(q, 1)}$	4,92
2	$-0,44\tilde{W}_{t-1}^{(q)} - 0,428\tilde{W}_{t-2}^{(q)} + a_t^{(q, 2)}$	4,02
3	$-0,498\tilde{W}_{t-1}^{(q)} - 0,488\tilde{W}_{t-2}^{(q)} - 0,135\tilde{W}_{t-3}^{(q)} + a_t^{(q, 3)}$	3,95
4	$-0,458\tilde{W}_{t-1}^{(q)} - 0,343\tilde{W}_{t-2}^{(q)} + 0,013\tilde{W}_{t-3}^{(q)} + 0,298\tilde{W}_{t-4}^{(q)} + a_t^{(q, 4)}$	3,6
5	$-0,452\tilde{W}_{t-1}^{(q)} - 0,342\tilde{W}_{t-2}^{(q)} + 0,006\tilde{W}_{t-3}^{(q)} + 0,289\tilde{W}_{t-4}^{(q)} - 0,019\tilde{W}_{t-5}^{(q)} + a_t^{(q, 5)}$	3,6

Споживання електроенергії трамваем водія «К» описується часовим рядом

$$W_t^{(K)} = \{37,92; 38,87; 37,85; 39,72; 39,04; 42,27; 44,94; 42,38; 44,1; 39,25; 37,1; 36,13\}. \quad (27)$$

Як і в попередньому випадку, можна отримати розрахункові дані, представлені в табл. 4, та регресійні моделі споживання електроенергії трамваем водія «К» – в табл. 5.

Таблиця 4

**Статистичні, автоковаріаційні та автокореляційні характеристики ряду (27)**

Тренд, $\mu^{(K)}$	$\mu_t^{(K)} = 40,139 + 3,24 \sin(0,524(t-1) - 1,571)$
Дисперсія, $\sigma_W^{(K)2}$	2,21
Центрований ряд $\tilde{W}_t^{(K)}$	{1,02; 1,54; -0,67; -0,42; -2,72; -0,67; 1,56; -0,56; 2,34; -0,89; -1,42; -1,2}
Коефіцієнти автоковаріації, $\gamma_k^{(K)}$	$\gamma_0^{(K)} = 2,215$ ; $\gamma_1^{(K)} = 0,129$ ; $\gamma_2^{(K)} = -0,119$ ; $\gamma_3^{(K)} = -0,918$ ; $\gamma_4^{(K)} = -1,49$ ; $\gamma_5^{(K)} = 0,372$
Автокореляція, $\rho_k^{(K)}$	$\rho_0^{(K)} = 1$ ; $\rho_1^{(K)} = 0,058$ ; $\rho_2^{(K)} = -0,054$ ; $\rho_3^{(K)} = -0,414$ ; $\rho_4^{(K)} = -0,673$ ; $\rho_5^{(K)} = 0,168$

В результаті обчислень можемо сказати, що споживання електроенергії трамваем водія «К» достатньо адекватно описується трендом

$$\mu_t^{(K)} = 40,139 + 3,24 \sin(0,524(t-1) - 1,571) \quad (28)$$

і авторегресійною моделлю 4-го порядку



$$\tilde{W}_t^{(K)} = -0,277\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,056\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - 0,381\tilde{W}_{t-3}^{(K)} - 0,769\tilde{W}_{t-4}^{(K)} + a_t^{(K)} \quad (29)$$

з дисперсією білого шуму  $\sigma_a^{(K)2} = 0,75$ .

Таблиця 5

Авторегресійні моделі споживання електроенергії трамваєм водія «К»

$p$	Авторегресійна модель, $\tilde{W}_t^{(K, p)}$	$\sigma_a^{(K, p)2}$
1	$0,058\tilde{W}_{t-1}^{(K)} + a_t^{(K, 1)}$	2,21
2	$0,062\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,057\tilde{W}_{t-2}^{(K)} + a_t^{(K, 2)}$	2,2
3	$0,038\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,032\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - 0,41\tilde{W}_{t-3}^{(K)} + a_t^{(K, 3)}$	1,83
4	$-0,277\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,056\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - 0,381\tilde{W}_{t-3}^{(K)} - 0,769\tilde{W}_{t-4}^{(K)} + a_t^{(K, 4)}$	0,75
5	$-0,317\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,076\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - 0,384\tilde{W}_{t-3}^{(K)} - 0,783\tilde{W}_{t-4}^{(K)} - 0,052\tilde{W}_{t-5}^{(K)} + a_t^{(K, 5)}$	0,75

### Висновки

Поставлена задача створення методології об'єктивної оцінки роботи водіїв трамваїв за критерієм витрат електроенергії на функціонування трамваїв на маршрутах.

Побудовані математичні моделі процесу споживання електроенергії трамваями як для «усередненого» трамвая депо, так і для двох трамваїв, якими управляють водії з найкращою і найгіршою кваліфікацією.

Синтезовані моделі дозволяють врахувати стохастичність споживання електроенергії трамваями та сезонність роботи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бокс Дж., Дженкінс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. — Вып. 1. — М.: Мир, 1974. — 408 с.
2. Мокін Б. І., Мокін В. Б. Математичні моделі ідентифікації електромеханічних процесів. Частина II. Ідентифікація ЕМП у лінійних стохастичних системах із зосередженими параметрами. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 99 с., іл.

**Дудко Володимир Борисович** — начальник електроцеху Вінницького трамвайного управління.

**Мокін Борис Іванович** — завідувач кафедри, **Розводюк Михайло Петрович** — аспірант.

Кафедра електромеханічних систем автоматизації, Вінницький державний технічний університет

УДК 621.311.13

**Чепурний М. М., к. т. н., доц.; Попов О. Я., к. т. н., доц.;**  
**Кузь Т. П., студ.; Федун А. Ю., студ.**

### ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА В ПАРОГЕНЕРАТОРАХ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ НА МАЗУТІ

Робочим паливом на більшості промислових ТЕЦ і енергоблоках великої потужності конденсаційних електростанцій є рідке паливо (мазут). За умови роботи парогенераторів теплових електростанцій на рідкому або газоподібному паливі показником ефективності їх роботи є коефіцієнт використання палива [1–3]

$$\eta_{\text{в}} = 100 - (q_2 - q_3), \quad (1)$$

де  $q_2$  і  $q_3$ , % — втрати теплоти з відхідними газами і від хімічної неповноти згорання палива відповідно.