

Лещинський О. Л.,  
Коновалюк В. С.,  
Соколова Н. П.

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СВІТЛОСИГНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ АЕРОПОРТУ

У статті пропонується методика використання багатofакторної регресійної моделі прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту для управління ефективним використанням енергетичних ресурсів авіапідприємств. Використання такої моделі дозволить розробляти комплекс енергозберігаючих заходів, у точності з врахуванням планів проведення реконструкції існуючої інфраструктури та здійснювати управління споживанням електричної енергії світлосигнального обладнання із врахуванням особливостей його експлуатації.

**Ключові слова:** електрична енергія, світлосигнальне обладнання, аеропорт, багатofакторна регресійна модель, управління.

### 1. Вступ

Зменшення споживання електричної енергії є одним із дієвих шляхів забезпечення економічно-ефективної діяльності аеропортів. Виходячи з цього, прогнозування електроспоживання є одним із найважливіших етапів управління ефективним використанням енергетичних ресурсів на підприємствах, оскільки напрями управляючих дій зручно обирати на основі отриманих прогнозів можливих змін кількісних характеристик.

Прогнозування електроспоживання може здійснюватися на основі різних методів. Від вибору оптимального методу прогнозування залежить забезпечення раціонального споживання електричної енергії об'єктами аеропорту на певний період та дієвість управління споживання електричної енергії аеропортів, що підтверджує актуальність обраної теми дослідження та її практичну значущість для енергозбереження системою аеропортів України.

### 2. Постановки проблеми

Метою дослідження є розробка моделі прогнозування споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту

*Задачі дослідження:*

- на основі аналізу існуючих методів прогнозування розробити математичну модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії об'єктів аеропорту;
- дослідити специфічні особливості світлосигнального обладнання (ССО), їх технічних характеристик та режимів роботи;
- здійснити апробацію математичної моделі на відповідних статистичних даних аеропорту «Київ» (Жуляни).

### 3. Аналіз літературних даних

Проблемам прогнозування споживання електричної енергії присвячені численні наукові праці вчених і практиків [1–4]. Найавні джерела вказують на те, що вдосконалення апарату прогнозування споживання об-

сягу електричної енергії для конкретного підприємства є актуальним.

В процесі управління певним явищем, — дієвим інструментом є прогнозування поведінки цього явища. Тому, на сьогодні, одним з найактуальніших класів математичних моделей є клас прогнозних моделей.

Проаналізувавши методи прогнозування [5, 6], автори зійшлися на думці, що для коректного вибору найбільш притаманного способу моделювання для досліджуваної проблеми необхідно розробити сценарій отримання прогнозу. В процесі дослідження сценарій передбачав наступний план дій:

- збір та фільтрація необхідної вхідної інформації, які впливають з мети даного прогнозу і способів його практичного застосування, термінів на отримання остаточних прогнозних значень; дослідження задач із подібною постановкою і методів розв'язання їх за допомогою застосування прогнозних моделей; ґрунтовне вивчення умов, які впливають на якість прогнозної моделі;
- обрання науковообґрунтованої методології, що передбачає висвітлення загального підходу та причин, що сприяли вибору вказаної методології, обраних методів, систему припущень і обґрунтування механізму розрахунку прогнозних значень з доведенням несуперечності вказаним припущенням;
- вибір прогнозного показника та форми його задання, гіпотетична оцінка очікуваних результатів та їх корисності;
- визначення степені інформаційної невизначеності розв'язуваної задачі, задання точності розв'язків.

У загальному випадку однією з особливостей прогнозних моделей є рекурсивність. Зміст рекурсивності заключається в тому, що по мірі надходження нових даних, оновлюється статистична база прогнозної моделі і використовуючи «передісторію» перераховуються оцінки всіх параметрів моделі.

В даній роботі пропонується математична модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту для подальшого

використання в процесі управління ефективністю авіа-підприємств, побудована на основі кореляційно-регресійного аналізу.

**4. Підходи щодо моделювання прогнозуванням споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропортів**

Техніко-економічні показники роботи споживачів підрозділів аеропорту залежать від великої кількості різних факторів, що впливають на обсяги споживання електроенергії. Приймачі електричної енергії аеропортів відрізняються різноманітністю [7–9]. Це освітлювальні, нагрівальні установки, електродвигуни та радіоапаратура, система автоматики та обчислювальні машини, різноманітне технологічне устаткування тощо. Всі вони мають різні потужності, режими роботи, категорії і висувають різні вимоги до якості електроенергії.

Характерною рисою такої інформації є її ймовірнісна природа. Об'єктивний вибір факторів та точність їх значень залежать від рівня освідченості щодо аналізованого об'єкту. Тому будь-який показник, з припущенням нормальності його розподілу, має задаватись принаймні двома величинами: математичним сподіванням та дисперсією. Наявність середньоквадратичної помилки спричиняє появу зони невизначеності у вихідній інформації і, як наслідок цього, у результатах проектно-планових рішень. Від якості прогнозування на рівні підприємств залежить величина собівартості їх продукції, а отже, і показники ефективності їх роботи.

Використання результатів прогнозу електроспоживання для авіапідприємств і аеропортів, в тому числі, дозволяє в подальшому управляти наступними показниками:

- зниження рівня штрафів за недостатню, або надлишкову оцінку прогнозування споживання електричної енергії на майбутній період;
- зменшення розриву між запланованими та фактичними значеннями обсягу електричної енергії.

Прогнозування з використанням кореляційно-регресійних методів [5, 10–12] передбачає знаходження математичних залежностей, які описують статистичний зв'язок одного показника з іншим (парна кореляція), із групою інших (множинна кореляція) або між значеннями одного показника (автокореляція). Ці методи ґрунтуються на теорії статистичного моделювання.

Для отримання загальної лінійної багатофакторної прогнозувальної моделі авторами був використаний класичний метод найменших квадратів.

Загальний вид багатофакторної лінійної регресійної моделі був вибраний наступним чином:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m + u, \quad (1)$$

де  $y$  — залежна змінна;  $x_1, x_2, \dots, x_m$  — незалежні змінні;  $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$  — параметри моделі;  $u$  — випадкова складова регресійного рівняння.

При цьому враховувались наступні передумови:

- 1) кожне значення випадкової складової рівняння  $u_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) є випадковою величиною і математичне сподівання залишків ідентично нулю:

$$M(u) = 0;$$

- 2) компоненти вектора залишків некорельовані (лінійно незалежні) між собою і мають сталу дисперсію:

$$M(u^T u) = \sigma^2 E;$$

- 3) пояснюючі змінні (регресори, фактори моделі) некорельовані із залишками;

- 4) пояснюючі змінні некорельовані між собою.

**5. Апробація результатів використаної моделі прогнозування обсягу споживання світлосигнальним обладнанням аеропорту «Київ» (Жуляни) електричної енергії**

Етапи прогнозування обсягу споживання світлосигнальним обладнанням аеропорту «Київ» (Жуляни) [13] електричної енергії можна звести в табл. 1.

Таблиця 1

Етапи прогнозування обсягу споживання електричної енергії

Назва етапу	Визначення
Етап 1	Вибір підходу, типу, форми моделі прогнозування (кореляційно-регресійна, багатофакторна, лінійна)
Етап 2	Вибір групи факторів впливу (регресорів) на обсяг споживання електричної енергії світлосигнального обладнання (регресанд)
Етап 3	Збір, аналіз, фільтрація та підготовка статистичних даних для побудови моделі
Етап 4	Побудова математичної моделі прогнозування обсягу споживання електричної енергії
Етап 5	Перевірка (оцінка) якості моделі. Перевірка присутності в моделі негативних явищ (наявність гетероскедастичності, мультиколінеарності, автокореляції)
Етап 6	Обчислення прогнозних значень $Y_p$ за значеннями $x_{1p}, x_{2p}, \dots, x_{mp}$ , що перебувають за межами базового періоду та знайти межі довірчих інтервалів індивідуальних прогнозованих значень і межі довірчих інтервалів середнього прогнозу

На етапі статистичного аналізу та побудови емпіричної моделі процесу електроспоживання—здійснювалась повномасштабна статистична обробка електроспоживання, яка включала взаємопов'язані процедури. Дані процедури дозволили впорядковувати інформацію, виявити в динаміці і наочно представити об'єкти з аномальним електроспоживанням, ефективно здійснювати прогнозування електроспоживання окремими об'єктами та всього комплексу в цілому.

На етапі аналізу електроспоживання за спеціально розробленими формами запиту був здійснений збір даних про споживачів електроенергії підприємств. Це дозволило отримати розгорнуту картину електроспоживання, виявити об'єкти, які забезпечуються електроенергією з порушенням існуючих організаційно-технічних вимог, підготувати електронну базу даних для багатофакторного аналізу.

Фактори впливу на обсяги споживання електричної енергії ССО представлені в табл. 2.

В моделі використовувались оброблені статистичні дані за період 2002–2012 р.р. (табл. 3).

Значення факторів представлені у відносних одиницях відповідно до методу експертних оцінок.

Для отримання математичної моделі вхідні дані були зведені до однакової розмірності та з них була сформована наступна матриця (табл. 4).

Таблиця 2

Фактори впливу на обсяги споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту

Ім'я змінної	Сутність	Пояснення
$x_1$	кількість рейсів	кількість обслуговуючих рейсів є основним показником рентабельної роботи аеропорту
$x_2$	показник якості діючого ССО	за показник якості приймаємо технічні характеристики ССО. Важливою характеристикою успішності діяльності з енергозбереження є енергетична ефективність — характеристика обладнання, технології, виробництва, системи, які свідчать про ступінь використання енергії на одиницю кінцевого продукту
$x_3$	частота застосування ССО в залежності від метеоумов	режим застосування та тривалість ССО залежить, зокрема від розкладу повітряних суден (рейси у нічні та вечірні години) та метеоумов. Метеорологічні фактори відображають залежність графіків споживання електричної енергії від погодних явищ, виражених у зміні тривалості світлового дня, часу заходу та сходу Сонця, виникнення атмосферних явищ, опадів тощо

Таблиця 3

Статистичні дані аеропорту «Київ» (Жуляни) за період 2002—2012 р.р.

Фактор/рік	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Обсяги споживання електричної енергії ЗПС, МВт*год ( $y$ )	146,85	169,87	205,47	145,18	164,02	165,04	198,29	182,84	255,18	280,34	383,16
Кількість обслугованих рейсів, од. ( $x_1$ )	7179	7135	6737	4462	3784	5645	4322	3988	6934	12508	24412
Якість існуючого ССО ( $x_2$ )	0,5	0,65	0,67	0,71	0,7	0,71	0,75	0,8	0,85	0,84	0,9
Частота застосування ССО в залежності від метеоумов ( $x_3$ )	0,42	0,45	0,47	0,45	0,45	0,5	0,65	0,67	0,7	0,75	0,75

Таблиця 4

Зведені вхідні дані

Номер спостереження	$Y_i$	$x_{1(i)}$	$x_{2(i)}$	$x_{3(i)}$
1	146854,296	7179	1666,67	4200
2	169867,56	7135	1538,46	4500
3	205468,2	6737	1492,54	4700
4	145182,6	4462	1408,45	4500
5	164016,36	3784	1428,57	4500
6	165040,32	5645	1408,45	5000
7	198287,4	4322	1333,33	6500
8	182839,5	3988	1250	6700
9	255177,6	6934	1176,47	7000
10	280339,2	12508	1190,48	7500
11	383163,12	24412	1111,11	7500

За результатами поверхневого аналізу вхідних даних була прийнята гіпотеза про можливість існування лінійного зв'язку між показниками  $y$  та  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ .

Визначення оцінок регресійних коефіцієнтів функції (1) здійснювалося за формулою:

$$a = (X^T X)^{-1} X^T Y,$$

де  $X^T$  — транспонована матриця.

Матриці  $X$  та  $Y$  мають наступний вид:

$$Y = \begin{bmatrix} 146854,296 \\ 169867,56 \\ 205468,2 \\ 145182,6 \\ 164016,36 \\ 165040,32 \\ 198287,4 \\ 182839,5 \\ 255177,6 \\ 280339,2 \\ 383163,12 \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} 1 & 7179 & 1666,67 & 4200 \\ 1 & 7135 & 1538,46 & 4500 \\ 1 & 6737 & 1492,54 & 4700 \\ 1 & 4462 & 1408,45 & 4500 \\ 1 & 3784 & 1428,57 & 4500 \\ 1 & 5645 & 1408,45 & 5000 \\ 1 & 4322 & 1333,33 & 6500 \\ 1 & 3988 & 1250 & 6700 \\ 1 & 6934 & 1176,47 & 7000 \\ 1 & 12508 & 1190,48 & 7500 \\ 1 & 24412 & 1111,11 & 7500 \end{bmatrix}.$$

Таким чином,

$$X^T Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7179 & 7135 & 6737 & 4462 & 3784 \\ 1666,67 & 1538,46 & 1492,54 & 1408,45 & 1428,57 \\ 4200 & 4500 & 4700 & 4500 & 4500 \end{bmatrix}$$

$$X^T X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5645 & 4322 & 3988 & 6934 & 12508 & 24412 \\ 1408,45 & 1333,33 & 1250 & 1176,47 & 1190,48 & 1111,11 \\ 5000 & 6500 & 6700 & 7000 & 7500 & 7500 \end{bmatrix},$$

$$X^T X = \begin{bmatrix} 11 & 87106 & 15004,53 & 62600 \\ 87106 & 1048987552 & 113558306,9 & 539505800 \\ 15004,53 & 113558306,9 & 20756754,7 & 83285720,96 \\ 62600 & 539505800 & 83285720,96 & 3741200000 \end{bmatrix}.$$

$$(X^T X)^{-1} = \begin{bmatrix} 99,97 & -0,006003 & -0,048 & -0,006 \\ 0,00000427 & 0,00000000397 & 0,0000000097 & -0,0000000086 \\ -0,0482003 & 0,00000000968 & 0,000024 & 0,000028 \\ -0,0060035 & -0,0000000086 & 0,0000028 & 0,0000004 \end{bmatrix},$$

Коефіцієнт кореляції був отриманий досить великим, тому автори зробили висновок про можливість існування тісного лінійного зв'язку усіх незалежних факторів  $x_1, x_2, x_3$  із залежною змінною  $y$ .

$$(X^T X)^{-1} X^T = \begin{bmatrix} -5,55 & 1,1696 & -0,16 & 5,09 & 4,11 & 2,09 & -3,3 & -0,49 & 1,27 & -2,38 & 1,49 \\ 0,000013 & 0,00001 & 0,000005 & -0,000003 & -0,000006 & -0,000003 & -0,00002 & 0,00003 & 0,00002 & 0,00001 & 0,00005 \\ 0,003 & 0,0008 & 0,0003 & -0,002 & -0,0018 & -0,0008 & 0,0015 & 0,00005 & 0,0008 & 0,0009 & -0,0008 \\ 0,0002 & 0,00001 & -0,00003 & -0,0003 & -0,0003 & -0,0001 & 0,00027 & 0,0001 & 0,00002 & 0,0002 & -0,0001 \end{bmatrix},$$

$$\alpha = \begin{bmatrix} 195228,8 \\ 7,87 \\ -90,95 \\ 13,23 \end{bmatrix}.$$

Отже, функція регресії з урахуванням знайдених оцінок коефіцієнтів моделі отримала вигляд:

$$\bar{y} = 195228,81 + 7,8656x_1 - 90,9514x_2 + 13,2311x_3.$$

Для перевірки адекватності отриманої моделі було обчислено:

а)  $u_i = y_i - \bar{y}_i$ ;

де  $i$  — кількість спостережень,  $y, \bar{y}$  — фактичні та розрахункові значення обсягів споживання електричної енергії;

б) відносну похибку розрахункових значень регресії:

$$\delta_i = \frac{u_i}{y_i} \cdot 100 \%;$$

в) середнє значення відносної похибки:

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n};$$

г) середньоквадратична похибка дисперсії залишків:

$$\bar{S}_u = \sqrt{\sigma_u^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n - m - 1}};$$

д) коефіцієнт детермінації для перевірки загального впливу незалежних змінних на залежну змінну:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 0,95.$$

За відомими формулами було здійснено перевірку статистичної значущості отриманих результатів. Для перевірки нульової гіпотези:  $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_n = 0$ , було обчислено  $F$ -статистику за формулою:

$$F_{\text{експ}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m}; \quad F_{\text{експ}} = 49,4.$$

При коефіцієнті значущості  $\alpha = 0,05$  за табличними значеннями  $F$ -статистики  $F_{\text{табл}}(2,8, 0,05) = 19,4$ . Оскільки  $F_{\text{експ}} > F_{\text{табл}}$ , то нульова гіпотеза авторами відхилилась, тобто коефіцієнти регресії були прийняті значущими.

З метою перевірки адекватності обраної моделі було проведено тестування наявності мультиколінеарності, гетероскедастичності (параметричний тест Гольдфенльда-Квандта) та автокореляції ( $d$ -тест Дарбіна-Уотсона). В результаті виявилось, що мультиколінеарність та гетероскедастичність відсутні.

Наступним кроком досліджень була апробація моделі на статистичних даних аеропорту «Київ» (Жуляни). В результаті обчислень були отримані межі довірчого інтервалу обсягу споживання електричної енергії на майбутній період. Результати прогнозування обсягу споживання електричної енергії на період 2014–2017 р.р. світлосигнального обладнання аеропорту «Київ» (Жуляни) представлені в табл. 5.

Графічне представлення результатів прогнозування наведено на рис. 1.

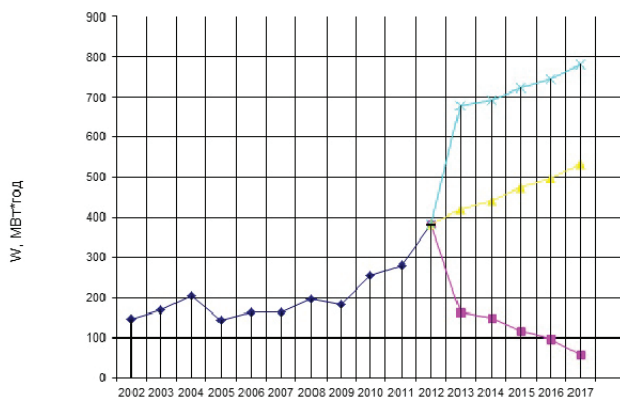
Отримані дані можливих меж витрат електричної енергії ССО дозволяють:

- сформулювати упереджувальні пропозиції щодо зміни аеропортових зборів, в яких враховуються витрати на користування ССО (збори за зліт-посадку, відокремлені збори за використання ССО);
- розробляти комплекс енергозберігаючих заходів, у точності з врахуванням планів проведення реконструкції існуючої інфраструктури, а саме: подовження злітно-посадкової смуги. Запорукою здійснення тенденції зменшення електроспоживання є заміна

**Таблиця 5**

Результати прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеропорту «Київ» (Жуляни)

Фактор/рік		2013	2014	2015	2016	2017
Обсяги споживання електричної енергії ЗПС, МВт*год ( $y$ )	верхня межа довірчого інтервалу	677,4	692,33	723,98	744,41	782,2
	точковий прогноз	420,4	441,67	474,58	497,19	532,6
	нижня межа довірчого інтервалу	163,41	148,48	116,82	96,4	58,61
Кількість обслугованих рейсів, од. ( $x_1$ )		28000	30880	34590	37700	41850
Якість існуючого ССО ( $x_2$ )		0,76	0,765	0,77	0,775	0,777
Частота застосування ССО в залежності від метеоумов ( $x_3$ )		0,95	0,93	0,96	0,935	0,96



**Рис. 1.** Візуалізація результатів моделювання прогнозування обсягу споживання електричної енергії світлосигнального обладнання аеродрому: — фактичне споживання; — середній прогноз; — оптимістичний прогноз; — песимістичний прогноз

та модернізація ССО та застосування можливих заходів з енергозбереження для систем ССО.

— аргументувати управлінські дії енергоменеджерів аеродрому.

## 6. Висновки

На основі комплексного аналізу існуючих методів прогнозування, в статті запропоновано багатofакторну кореляційно-регресійну лінійну модель прогнозування обсягу споживання електричної енергії злітно-посадкової смуги з метою використання її для ефективного управління процесом енергозбереження.

Дану модель апробовано на статистичних даних Міжнародного аеродрому «Київ» (Жуляни) і отримані результати дозволяють розробити комплекс заходів щодо підвищення рівня ефективності енерговикористання аеродрому.

Запропонований підхід може бути використаний для прогнозування обсягу споживання електричної енергії різними підрозділами і аеродромом в цілому, що на сьогодні є актуальним, але не до кінця ще вивченим питанням.

## Література

1. Чумаченко, Е. И. Алгоритм решения задачи прогнозирования [Текст] / Е. И. Чумаченко, В. С. Горбатюк // Искусственный интеллект. — 2012. — № 2. — С. 24–30.
2. Blok, K. Enhanced policies for the improvement of electricity efficiencies [Text] / K. Blok // Energy Policy. — 2005. — Vol. 33. — P. 1635–1641.
3. Чернявський, А. В. Аналіз та прогнозування електроспоживання на підприємствах молочної галузі [Текст] / А. В. Чернявський, Є. О. Кулікова // Енергетика. Екологія. Людина. — 2012. — № 1. — С. 310–315.
4. Копцев, Л. А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства [Текст] / Л. А. Копцев // Промышленная энергетика. — 1996. — № 3. — С. 5–7.
5. Емельянов, А. С. Эконометрия и прогнозирование [Текст] / А. С. Емельянов. — М.: Экономика, 1985. — 208 с.
6. Лещинський, О. Л. Економетрія [Текст]: навч. посіб. / О. Л. Лещинський, В. В. Рязанцев, О. О. Юнькова. — К.: МАУП, 2003. — 208 с.

7. Дос 9157 AN/901. Руководство по проектированию аэродромов [Текст] / Часть 4. Визуальные средства. — 4-ое изд. — ИКАО, 2004. — 205 с.
8. Дос 9157 AN/901. Руководство по проектированию аэродромов [Текст] / Часть 5. Электрические системы. — ИКАО, 1983. — 123 с.
9. Аеродроми. Додаток 14 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію [Текст]. — 5-е вид. — ИКАО, 2009. — 360 с.
10. Грубер, Й. И. Эконометрия: Вступ до множинної регресії та економетрії [Текст]: у 2 т. / Й. И. Грубер. — К.: Нічлава, 1998. — 199 с.
11. Венецкий, И. Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе [Текст]: справочник / И. Г. Венецкий, В. И. Венецкая. — 2-е изд., перераб и доп. — М.: Статистика, 1979. — 448 с.
12. Жебка, В. В. Курс лекцій з економетрії [Текст]: навч. пос. / В. В. Жебка, І. І. Юртин, О. О. Юнькова, В. В. Рязанцева, О. Л. Лещинський. — К.: Транспорт, 2007. — 138 с.
13. Офіційний сайт Міжнародного аеродрому «Київ» (Жуляни) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/ URL: www.airport.kiev.ua. — Назва з екрану.

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СВЕТОСИГНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭРОПОРТА

В статье предлагается методика использования многофакторной регрессионной модели прогнозирования потреблением электрической энергии светосигнального оборудования аэропорта для управления эффективным использованием энергетических ресурсов авиапредприятий. Использование разработанной модели позволит разрабатывать комплекс энергосберегающих мероприятий, в точности с учетом планов проведения реконструкции существующей инфраструктуры и осуществлять управление потреблением электрической энергии светосигнального оборудования с учетом особенностей его эксплуатации.

**Ключевые слова:** электрическая энергия, светосигнальное оборудование, аэропорт, многофакторная регрессионная модель, управление.

*Лещинський Олег Львович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра економічної кібернетики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Коновалюк Валентина Станіславівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра вищої математики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Соколова Наталія Петрівна, асистент, кафедра автоматизації та енергоменеджменту, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: NataSokolova@bigmir.net.*

*Лещинський Олег Львович, кандидат фізико-математических наук, доцент, кафедра економічної кібернетики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Коновалюк Валентина Станіславівна, кандидат фізико-математических наук, доцент, кафедра вищої математики, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Соколова Наталія Петрівна, асистент, кафедра автоматизації та енергоменеджменту, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Leschinskij Oleg, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.*

*Konovalyuk Valentina, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.*

*Sokolova Nataliya, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: NataSokolova@bigmir.net*