



Рис. 2. Діаграма факторних навантажень головних компонент

Отже, використання методу головних компонент дозволило виявити структуру інформативних факторів, що мають вплив на енергетичну безпеку регіону, та сформувані узагальнюючі фактори – виробничий, екологічний та надійності – які описують 84,62% загальної дисперсії.

#### Список літератури

1. Энергетическая безопасность России / [Бушуев В.В., Воропай Н.И., Мастепанов А.М. и др.] – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1998. – 302 с.
2. Влияние энергетического фактора на экономическую безопасность регионов Российской Федерации / [Благодатских В.Г., Богатырев Л.Л., Бушуев В.В. и др.] – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1998. – 288 с.
3. Быкова Е.В. Методы расчета и анализ показателей энергетической безопасности. Монография / Быкова Е.В. – Кишинев, 2005. – 156 с.
4. Энергетическая безопасность: сущность, основные проблемы, методы и результаты исследований: открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса» / руководитель семинара А.С. Некрасов. – М. 2011. – 91 с.
5. Дубров А.М. Многомерные статистические методы / Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
6. Многомерный статический анализ в экономике / [Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н. Уебе Г., Шеффер М.] – М.: ЮНИТА-ДАНА, 1999. – 598 с.
7. Статистичний щорічник Черкаської області за 2010 рік / За ред. В.П. Приймак. – Черкаси, 2011. – 548 с.
8. Регіональний розвиток Черкаської області за 2010 рік. Статистичний збірник / За ред. В.П. Приймак. – Черкаси, 2011. – 351 с.

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ФАРРАРА-ГЛОБЕРА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ФАКТОРНОГО ПРОСТОРУ ВПЛИВУ НА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛЯМИ ВНЗ

*Розен В.П., к.т.н, професор,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»;  
Ткаченко В. Ф., начальник експлуатаційно-технічного відділу  
Черкаський державний технологічний університет*

Вступ. На балансі більшості вищих навчальних закладів (ВНЗ) знаходиться велика кількість будівель, різних за технологічними призначеннями, це навчальні корпуси, лабораторні корпуси, гуртожитки, бібліотеки та ін. Для нормального функціонування великого комплексу будівель потрібна значна кількість паливно-енергетичних ресурсів

(ПЕР) і води. Саме тому проблема аналізу і управління енергозбереженням у ВНЗ гостро ставиться в сучасних економічних умовах. Енергоспоживання ПЕР у ВНЗ залежить від великої кількості факторів [1], тому задача зменшення факторного простору і виділення головних факторів для спрощення проведення аналізу енергоспоживання будівлями ВНЗ є однією із самих головних.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Сутність методу багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу викладена в роботі [2]. Суть його полягає в побудові рівнянь регресії за певний період передісторії споживання електроенергії з подальшим визначенням прогнозу моделі. Запропоновані методи та моделі кореляційно-регресійного аналізу у [3] дозволяють розв'язувати задачі, пов'язані з визначенням головних факторів, які впливають на ефективність споживання ПЕР навчальними закладами і побудову енергетичної характеристики енергоспоживання.

Формулювання цілей та завдань статті. Метою цієї статті є пристосування імовірнісних, математично-статистичних методів аналізу даних до вирішення задач аналізування і управління ефективністю енерговикористання вищих навчальних закладів України із застосуванням алгоритму Фаррара-Глобера.

Виклад основного матеріалу. Теоретичні відомості про методи регресійно-кореляційного аналізу зрозуміло викладені у [2, 3]. Для вирішення поставлених у даній статті задач розглянемо основні вимоги до визначення переліку факторів, що впливають на енергоспоживання в будівлях ВНЗ: 1. Кожний із факторів має бути обґрунтований теоретично; 2. У перелік доцільно включати лише значущі фактори, що суттєво впливають на досліджувані показники.; 3. Фактори, що впливають на процес енергоспоживання, можуть бути кількісними та якісними; 4. Фактори не повинні бути лінійно залежними, тому що в цьому випадку вони характеризують аналогічні властивості явища, яке вивчається.

Включення в модель, всіх існуючих, лінійно взаємозалежних факторів призводить до виникнення явища мультиколінеарності. Це явище негативно впливає на якість моделі і призводить до неприпустимого зростання похибок оцінок параметрів регресії.

Оцінювання наявності мультиколінеарності в сукупності незалежних змінних, вимірювання її ступеню, виявлення взаємоконтрольованих змінних й послаблення її негативних впливів на регресійну модель, дозволяє метод кореляції, за яким дві змінні колінеарні, якщо парний коефіцієнт кореляції між ними за абсолютною величиною перевищує 0,8. Проте, найточніше перевірка на мультиколінеарність здійснюється за алгоритмом Фаррара-Глобера, який передбачає розрахунок таких статистичних критеріїв як,  $\chi^2$ ,  $F$ -критерій та  $t$ -критерій. Усувають мультиколінеарність найчастіше шляхом виключення із моделі корельованих факторів, що приводить до підвищення ефективності енергетичної характеристики моделі і зменшення факторного простору впливу на енергоспоживання.

Алгоритм Фаррара-Глобера складається із шести кроків:

1. Знаходження кореляційної матриці:

$$r_{xx} = X^* X^*, \quad (1)$$

де  $X^*$  – матриця нормалізованих незалежних (пояснювальних змінних),  $X^{*t}$  – матриця, транспонована до матриці  $X^*$ ;

2. Визначення критерію  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = - \left[ n - 1 - \frac{1}{6}(2m + 5) \right] \ln |r_{xx}|, \quad (2)$$

де  $|r_{xx}|$  – визначник кореляційної матриці  $r_{xx}$ ;

3. Визначення оберненої матриці:

$$C = r_{xx}^{-1} = (X^{*'} X^*)^{-1}; \quad (3)$$

4. Обчислення  $F$ -критеріїв:

$$F_k = (C_{kk} - 1)(n - m) / (m - 1), \quad (4)$$

де  $C_{kk}$  – діагональні елементи матриці  $C$ ;

5. Знаходження частинних коефіцієнтів кореляції:

$$r_{kj} = \frac{-c_{kj}}{\sqrt{c_{kk} \cdot c_{jj}}}, \quad (5)$$

де  $c_{kj}$  – елемент матриці  $C$ , що міститься в  $k$ -му рядку і  $j$ -му стовпці;  $c_{kk}$  і  $c_{jj}$  – діагональні елементи матриці  $C$ ;

6. Обчислення  $t$ -критеріїв:

$$t_{kj} = r_{kj} \sqrt{n - m} / \sqrt{1 - r_{kj}^2}. \quad (6)$$

У результаті отримуємо рівняння регресії що є не чим іншим як енергетичною характеристикою електроспоживання будівлі:

$$W = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_m x_m, \quad (7)$$

Після перевірки параметрів моделі на мультиколінійність модель потребує перевірки на адекватність. Алгоритм перевірки адекватності моделі здійснюється за такими основними етапами:

Етап 1. Перевірка значущості параметрів і статистичних характеристик моделі за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента.

Загалом,  $t$ -критерій розраховується як співвідношення значення певного показника і його стандартної помилки. Отримані фактичні значення  $t_{a_0}$ ,  $t_{a_1}$  за формулами (8) та (9):

$$t_{a_0} = |a_0| \frac{\sqrt{n-2}}{\sigma_\varepsilon}, \quad (8)$$

$$t_{a_1} = |a_1| \frac{\sqrt{n-2\sigma_x}}{\sigma_\varepsilon}, \quad (9)$$

порівнюються із критичним  $t_{табл(\alpha)}$ , які отримують за таблицею Стьюдента із врахуванням прийнятого рівня значущості  $\alpha$  і ступенем свободи  $k = n - m$  [3]. Якщо  $|t_{розрах}| > t_{табл(\alpha)}$ , то

можна зробити висновок про значущість параметрів рівняння (моделі);

Етап 2. Перевірка значущості коефіцієнта кореляції та коефіцієнта детермінації ( $d$ ).

Значущість  $r_{xy}$  та  $d$  перевіряється порівнянням їх із критичними значеннями  $r_{xy \text{ табл}}$  та  $d_{\text{табл}}(k_1, k_2)$  [3], відповідно до рівня істотності  $\alpha$  та чисел ступенів свободи  $k_1 = m - 1$ ,  $k_2 = n - m$  (де  $m$  – число параметрів рівняння регресії). Значущість коефіцієнта кореляції та коефіцієнта детермінації перевіряється за умови

$$|r_{xy}| > r_{xy \text{ табл}}, \quad d > d_{\text{табл}}; \quad (10)$$

Етап 3. Перевірка значущості зв'язку за допомогою  $F$ -критерію (критерію Фішера).

Його статистична характеристика розраховується за формулою:

$$F_d = \frac{d}{1-d} \frac{n-m}{m-1}. \quad (11)$$

Критичні значення  $F_{d_{\text{табл}}(\alpha)}(k_1, k_2)$ , де  $\alpha$  – рівень істотності (значущості), наводяться в спеціальних таблицях [3]. Про значущість зв'язку можна стверджувати в тому випадку, якщо виконується умова  $F_d > F_{d_{\text{табл}}(\alpha)}(k_1, k_2)$ .

Позитивні результати трьох показників дозволяють стверджувати про те, що та чи інша модель є адекватною. Використовуючи наведені показники, можна із сукупності адекватних регресійних моделей обрати найточнішу.

Етап 4. Інтерпретація інформації дослідження моделі енергоспоживання. За допомогою відносинх величин, визначаються коефіцієнти еластичності і розраховуються за формулою:

$$E_i = \frac{X}{Y} \frac{\partial Y}{\partial X} = a_i \frac{\bar{x}}{\bar{y}}. \quad (12)$$

На прикладі факторів що впливають на електроспоживання будівель Черкаського державного технологічного університету розглянемо роботу алгоритму Фаррара- Глобера.  $Y$  – фактичне використання електричної енергії, кВт·год/рік;  $X_1$  – висота будівлі, м;  $X_2$  – етажність будівлі,  $X_3$  – корисна площа будівлі, кв. м;  $X_4$  – середньорозрахункова кількість людей які можуть перебувати у приміщенні;  $X_5$  – загальна площа приміщень будівлі, кв. м.

Позбавившись мультиколінійності залишилося два фактори які є головними, що впливають на результуючий показник  $Y$ , це  $X_4, X_5$ . Для подальшого дослідження споживання електричної енергії навчальним закладом будемо застосовувати наступні фактори( табл. 1).

Таблиця 1

**Головні фактори що впливають на електроспоживання будівлі навчального закладу**

Назва будівлі	Назва фактору			
	$X_4$	$X_5$	$Y$	$W$
Навчальний корпус № 1	1164,00	10592,30	391544,42	388865
Навчальний корпус № 2	1014,00	8300,70	282918,11	283192
Навчальний корпус № 3	535,00	2223,90	17004,78	24544
Навчальний корпус № 4	1593,00	8287,60	124267,93	128598
Навчальний корпус № 5	319,00	1176,00	30921,29	15368
Навчальний корпус № 6	50,00	1051,35	72684,19	78891
Навчальний корпус № 7	101,00	1979,20	119318,85	124262

Навчальний корпус № 8	598,00	2705,20	31235,75	38374
Навчальний корпус № 9	453,00	1363,80	16761,34	8292
Навчальний корпус № 10	577,00	2920,30	50992,22	57609
Гуртожиток № 1	324,00	3643,30	167111,74	170704
Гуртожиток № 2	633,00	10540,90	532905,06	526616
Гуртожиток № 3	315,00	3615,20	167731,25	171310
Гуртожиток № 4	189,00	2097,00	103021,48	108372

Таким чином рівняння множинної регресії для побудови математично – статистичної моделі споживання електричної енергії будівлями навчальних закладів має вигляд:

$$W = 25412,65 - 265,56X_4 + 63,49X_5. \quad (13)$$

Висновки:

1. Побудована енергетична характеристика споживання електричної енергії будівлями вищих навчальних закладів Черкаської області має вигляд:

$$W = 25412,65 - 265,56X_4 + 63,49X_5.$$

Всі параметри моделі є значущі за статистичними критеріями, модель має істотні апроксимаційні властивості при цьому коефіцієнт детермінації становить 99 %.

2. Модель має тільки два головних фактора, які на 99 % описують процес споживання електричної енергії будівлями Черкаського державного технологічного університету.

#### Список літератури

1. Розен В.П. Методологічний підхід до визначення факторів впливу та забезпечення на рівень енергоспоживання / В.П. Розен, В.Ф. Ткаченко // Вісник НТУУ «КПІ». – 2010. – Вип. 19. – (Серія «Гірництво»).
2. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н. Многомерный статистический анализ в экономике: Учеб. пособие для вузов/Под ред. проф. В.Н.Тамашевича. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.
3. Бережна Л.В., Снитюк О.І. Економіко – математичні методи та моделі в фінансах. – К: Кондор, – 2009. – 301с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА

*Розен В.П., к.т.н, професор;  
Чернявский А.В., к. т. н., доцент,  
Национальный технический университет Украины «КПИ»*

Введение. В настоящее время внимание многих специалистов в области энергосбережения привлечено к появлению стандартов ISO 50001 [1] EN 16001 [2]. Появлению этих стандартов предшествовали национальные стандарты Великобритании (BS 8207:1985), США (ANSI/IEEE 739:1995, ANSI/MSE 2000), Дании (DS 2403:2001), Ирландии (I.S. 343:2005), Украины (ДСТУ 4472:2005 [0], ДСТУ 4715:2007 [0], ДСТУ 5077:2008), Белоруссии (СТБ 1777-2009 [0]). Хотя концепции всех этих стандартов имеют некие различия между собой в них можно выделить, как минимум, одну общую идею - процесс внедрения систем энергетического менеджмента (СЭМ) является не разовым мероприятием, заканчивающимся решением определенной совокупности задач, а представляет собой последовательный процесс оптимизации всех сторон деятельности как управляемой, так и управляющей системы.

Постановка задачи. Так как нарушение допустимых границ показателей функционирования СЭМ может привести к нарушению нормального ее функционирования, то необходимо проводить периодическую оценку эффективности функционирования СЭМ. Изучение этого вопроса показало, что на сегодняшний день слабо развита практика