УДК 519.21 + 681.3

КАПЛУН В.В., КРАСНИЦЬКИЙ С.М.,
БОБРОВНИК В.М., ЖУЛАЙ Г.С.
Київський національний університет технологій та дизайну

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ У БУДІВЛЯХ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ. Повідомлення 1

Мета. *Метою роботи є розроблення математичних моделей (базової та розширеної) електроспоживання в будівлях університету (на прикладі гуртожитків Київського національного університету технологій та дизайну).*

***Методика**. Множинний регресійний аналіз у поєднанні з комп'ютерними реалізаціями належних статистичних процедур.*

***Результати**. Одержано і досліджено на наявність мультиколінеарності лінійні регресійні моделі електроспоживання в будівлях університету з урахуванням кількості проживаючих у гуртожитках, температури навколишнього середовища та особливостей графіка освітнього процесу в опалювальний сезон.*

***Наукова новизна**. В результаті математичного моделювання на основі розширеного набору факторів, що впливають на процес електроспоживання, вперше одержані залежності, які можуть бути використані для дослідження майбутніх сценаріїв та прогнозного оцінювання функціонування системи електрозабезпечення у будівлях освітньої сфери.*

***Практична значимість**. Використання результатів моделювання можуть бути використані для розроблення методичних рекомендацій впровадження комплексу енергоощадних заходів в освітньому закладі з урахуванням існуючої інженерної інфраструктури для підвищення ефективності управління електроспоживанням.*

***Ключові слова**: управління електроспоживанням, регресійний аналіз, статистичні дані, загальна лінійна модель електроспоживання, адекватність моделі.*

Вступ. На соціально-економічний розвиток як держави, так і вищих навчальних закладів (ВНЗ) у значній мірі впливає зростання цін на енергоносії, а їх подальше нераціональне використання стає ще більш актуальним і проблемним з точки зору суттєвого зростання витрат в умовах постійного підвищення тарифів. Питання ефективного використання енергетичних ресурсів в бюджетній сфері все частіше ініціюється як з боку самої держави, так і з боку керівників бюджетних установ. Шляхами вирішення питань управління енергоспоживанням у освітній сфері, уникнення нераціонального енерговикористання є розробка нових й удосконалення існуючих методів оцінювання енергоефективності, проведення енергетичних обстежень будівель, створення нових управлінських моделей для оптимального споживання енергоносіїв та прогнозування видатків з метою забезпечення конкурентоспроможності освітніх закладів.

Сучасний вищий навчальний заклад – це великий господарюючий комплекс зі значним споживанням енергоносіїв. Саме тому проблеми підвищення енергоефективності та ощадного споживання енергоносіїв є одними з ключових сучасних економічних умовах. Більшість ВНЗ України, як правило, займають досить великі території, на яких розташовуються кілька навчальних корпусів, гуртожитків, спортивних об'єктів та адміністративних і допоміжних будівель. Колектив студентів, науково-педагогічних працівників і співробітників – це особливе співтовариство, яке живе в умовах існуючої інфраструктури і використовує енергоносії і комунальні послуги, потребує покращення умов роботи і проживання, забезпечення соціально-культурною сферою, тощо. Гострота проблеми енергозабезпечення освітніх закладів пов'язана з двома обставинами: недостатнім фінансуванням освітніх закладів (насамперед витрат на комунальні послуги, серед яких найбільш вагомими є витрати на енергопостачання) та низькою енергоефективністю їх діяльності.

Передумовою ефективного впровадження політики енергоощадності у ВНЗ є розроблення нормативного забезпечення для ефективного функціонування системи управління інформаційного забезпечення заходів з підвищення ефективності енергоспоживання.

В даній роботі наведені результати побудови та реалізації математичних моделей електроспоживання у будівлях ВНЗ на прикладі Київського національного університету технологій та дизайну. Для розроблення таких моделей використані бази даних про енергоспоживання в університеті за останні п'ять років, одержані за допомогою програмно-технічного комплексу «Автоматизована система енергоспоживання в університеті» (ПТК «АСУЕУ»). В основу розроблення математичної моделі покладені залежності рівнів енергоспоживання певного об'єкта на заданому часовому проміжку від факторів, що впливають на формування базового споживання енергоносіїв. До таких факторів відносяться, насамперед, кількість проживаючих у гуртожитках, сезонність та погодні умови, графік освітнього процесу. Крім того, є цілком очевидним, що на зазначені чинники впливають певні події, що мають стохастичну природу (наприклад, постійна зміна кількості проживаючих, використання додаткового догріву приміщень, використання необлікованих побутових електроприладів, тощо).

Позначимо через x_1, x_2, x_3 величини електроспоживання, що характеризують відповідно кількість проживаючих у гуртожитку, температуру зовнішнього середовища і додатковий числовий параметр для врахування особливостей графіка освітнього процесу. Позначимо через ε деяку випадкову величину, яка характеризує варіабельність моделі і викликана нерегулярними подіями стохастичного характеру. Із наведеного випливає, що у загальному вигляді модель можна представити наступним чином:

$$y = f(\beta, x_1, x_2, x_3, \varepsilon) \tag{1}$$

де f — деяка функція, β — (векторний) параметр залежності.

Постановка задачі. Використовуючи статистичні дані [1] необхідно встановити функціональну залежність f для її реалізації у моделі (1) і розробити відповідне програмне забезпечення з автоматизованим експортом даних з ПТК «АСУЕУ» для реалізації алгоритмів математичного моделювання.

Результати дослідження. У якості математичної моделі електроспоживання у будівлях університету було обрано лінійну регресійну модель виду:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon, \tag{2}$$

і її узагальнення

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \tag{3}$$

де y — середня величина добового електроспоживання на обраному часовому інтервалі, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ — коефіцієнти, що підлягають визначенню. У якості часового інтервалу приймаємо календарний місяць. Надалі рівності (2) і (3) будемо умовно називати скороченою і розширеною моделями відповідно. Для обробки наявних статистичних даних була розроблена комп'ютерна програма, розроблена у середовищі Delphi. Зазначена програма виконує перетворення вихідних даних у матрицю плану для побудови моделей (2), (3) і обчислює коефіцієнти моделі. Дослідження імовірнісних властивостей одержаної моделі і аналіз її відповідності реальним даним виконувався за допомогою розробленої програми у середовищі Delphi і статистичного пакету *STATISTICA*.

Загальна характеристика моделей та опис функцій програмного забезпечення. Враховуючи потенційну можливість введення додаткових змінних до моделі, а також поширення одержаних моделей на об'єкти іншого призначення, розроблене програмне забезпечення дає можливість реалізовувати більш розширені залежності типу (2) і (3) з ідентифікацією параметрів лінійних моделей. Для пояснення одержаних результатів наведемо декілька положень щодо особливостей зазначених моделей.

З метою кращого розрізняння скалярних і векторно-матричних величин для останніх використовується напівжирний шрифт. Крім того, використання знаку $'$ свідчитиме про транспонування матриці або вектора, зокрема, *вектор-стовпець* $\boldsymbol{Y}$ може бути записаним у рядок як $(y_1,\ldots,y_n)'$.

Загальною лінійною моделлю (ЗЛМ) будемо вважати залежність виду:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}, \tag{4}$$

де $\boldsymbol{Y}$ — вектор спостережень залежної змінної, $\boldsymbol{X}$ — матриця спостережень незалежних змінних, вона носить назву регресійної матриці або матриці експерименту чи плану, $\boldsymbol{\beta}$ — вектор (невідомих) коефіцієнтів, $\boldsymbol{\varepsilon}$ — вектор помилок з нульовим середнім значенням. Розмірності $dim(.)$ даних величин позначаються відповідно:

$$dim(\boldsymbol{Y}) = dim(\boldsymbol{\varepsilon}) = n, dim(\boldsymbol{\beta}) = p, dim(\boldsymbol{X}) = n \times p,$$

тому можна записати:

$$\boldsymbol{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \ldots \\ y_n \end{pmatrix}, \boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \ldots \\ \beta_{p-1} \end{pmatrix}, \boldsymbol{X} = \begin{pmatrix} x_{10} & x_{11} & \ldots & x_{1,p-1} \\ x_{20} & x_{21} & \ldots & x_{2,p-1} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ x_{n0} & x_{n1} & \ldots & x_{n,p-1} \end{pmatrix}, \ \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \ldots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}.$$

Надалі приймаємо, що $n > p$. Перехід від скалярного запису ЗЛМ типу (2) і (3) до векторно-матричного (4) має стандартну процедуру: постулюється, що дійсна залежна змінна y з точністю до випадкової адитивної похибки ε може бути представлена як лінійна комбінація (незалежних) дійсних змінних, інакше, регресорів $x_0, x_1 \ldots, x_{p-1}$:

$$y = \beta_0 x_0 + \ldots + \beta_{p-1} x_{p-1} + \varepsilon, \tag{5}$$

а також наявність відповідної вибірки об'єму n. При цьому функція $f(x) = \boldsymbol{\beta}'\boldsymbol{x} = \beta_0 x_0 + \ldots + \beta_{p-1} x_{p-1}$ (тобто права частина без випадкової складової має уставлену назву (лінійної) *функція регресії*, а коефіцієнти $\beta_0,\ldots,\beta_{p-1}$ — *коефіцієнти регресії.* Згадана вибірка являє собою сукупність n, одержаних експериментальним шляхом перебору чисел вигляду:

$$(x_{i0},\ldots,x_{i,p-1}, y_i),\ i = 1,2,\ldots,n, \tag{6}$$

де x_{ij} — значення j-го регресора (j-ї незалежної змінної) при i-му спостереженні, y_i — відповідне значення залежної змінної y. Тоді, позначивши ε_i значення похибки ε при i-му спостереженні і підставляючи послідовно вибіркові значення (5) в рівність (4), одержимо n рівностей:

$$y_i = \beta_0 x_{i0} + \ldots + \beta_{p-1} x_{i,p-1} + \varepsilon_i,\ i = 1,2,\ldots, n, \tag{7}$$

які зручно представляти у вигляді однієї векторно-матричної рівності (4).

Для оцінювання вектора коефіцієнтів $\boldsymbol{\beta}$ в роботі використовується відомий метод найменших квадратів (МНК), тобто вектор $\boldsymbol{b} = (b_0, \ldots, b_{p-1})'$ є розв'язком задачі мінімізації.

$$\| \boldsymbol{Y} - \boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta} \|^2 \xrightarrow[\beta \in R^p]{} min, \tag{8}$$

де R^p — p-вимірний евклідів простір, мінімум визначається за $\boldsymbol{\beta} \in R^p$, а норма $\|z\|$ вектора $z = (z_1,\ldots,z_n) \in R^n$ визначена як $(z_1^2 + \ldots + z_n^2)^{1/2}$. Добре відомо [4,6,13], що розв'язок задачі (8) можна знайти як розв'язок $\boldsymbol{b}$ системи так званих нормальних рівнянь:

$$\boldsymbol{X'X\beta} = \boldsymbol{X'Y} \tag{9}$$

За будь-яких умов система (9) є сумісною, причому у випадку, коли матриця $\boldsymbol{X}$ має повний ранг, її розв'язок (а отже і розв'язок задачі (8)) єдиний і має вигляд:

$$\boldsymbol{b} = (\boldsymbol{X'X})^{-1}\boldsymbol{X'Y} \tag{10}$$

де $^{-1}$ — знак обертання матриці. Оцінювання $\boldsymbol{b}$ вектора $\boldsymbol{\beta}$ здійснюється МНК. Функція $\hat{y} = \boldsymbol{b'x} = b_0x_0 + b_1x_1 + \cdots + b_{p-1}x_{p-1}$ є оцінкою функції регресії $\boldsymbol{\beta'x}$.

Слід відзначити той факт, що числові дані, які використовуються при побудові регресійних моделей реальних виробничих процесів, досить часто не гарантують невиродженість матриці експерименту. Якщо матриця експерименту $\boldsymbol{X}$ є виродженою або близькою до виродженої (погано узгодженою), то задача оцінювання стає більш складною. Погана узгодженість матриці експерименту $\boldsymbol{X}$, що викликана лінійною залежністю або наближеною лінійною залежністю між стовпцями цієї матриці, загалом знижує цінність побудованих моделей. Одним із поширених способів уникнення таких ситуацій є пошук стовпців матриці $\boldsymbol{X}$, які є лінійно залежними від інших стовпців та їх наступне видалення [6]. Подальшим кроком є видалення відповідного регресору x_j з моделі (5). У даній роботі використовується саме останній підхід. Процедура видалення базується на відомому алгоритмі Грама — Шмідта ортогоналізації системи векторів евклідового простору [6,10]. У нашому випадку зміст зазначеного алгоритму полягає в наступному: стовпці матриці $\boldsymbol{X}$ послідовно перетворюються таким чином, щоб кожен новий стовпець являвся ортогональним щодо раніше перетворених стовпців (під ортогональністю n- вимірних векторів $\boldsymbol{x} = (x_1,\ldots,x_n)'$ і $\boldsymbol{y} = (y_1,\ldots,y_n)'$ мається на увазі рівність нулю їх скалярного добутку $\boldsymbol{x'y}$: $\boldsymbol{x'y} = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{x_i y_i}$). Якщо між стовпцями існує лінійна залежність, то на якомусь k- му кроці ($1 \le k \le p$) буде отримано стовпець, повністю складений з нулів. Це і означає, що k-й стовпець лінійно залежить від попередніх стовпців. Він вилучається з матриці, а з моделі виключається відповідна незалежна змінна. Процедура триває до розгляду останнього стовпця включно. У випадку пошуку наближено лінійної залежності (як це і реалізовано в даній роботі) вилученню підлягають стопці перетвореної матриці, евклідова норма яких не перевищує заданого малого числа. У матричному вигляді процедура може бути представлена наступним чином [6]:

$$\boldsymbol{Z}_{iT} = \boldsymbol{Z}_i - \boldsymbol{Z}(\boldsymbol{Z}'\boldsymbol{Z})^{-1}\boldsymbol{Z}'\boldsymbol{Z}_i, i = 1, \dots, p, \tag{11}$$

де $\boldsymbol{Z}$ — матриця вже перетворених стовпців, $\boldsymbol{Z}_i$ — наступний стовпець матриці $\boldsymbol{X}$, що перетворюється, $\boldsymbol{Z}_{iT}$ — вектор-результат перетворення, ортогональний стовпцям матриці $\boldsymbol{Z}$.

В даній роботі при побудові регресійної моделі виду (4) в якості значень залежної змінної y беруться місячні сумарні величини врахованої активної частини спожитої електроенергії (у кВт×год), поділені на кількість облікованих діб у даному місяці. В позначеннях рівності (4) для «скороченої» моделі (2) в якості незалежних змінних взяті три змінні: x_0, x_1, x_2, а для розширеної моделі було введено ще змінна x_3 (так, що p = 3 у першому випадку і p = 4 у другому). Варто пояснити, що x_0 і x_3 — це так звані фіктивні змінні, причому x_0 завжди дорівнює 1 (її роль полягає у введенні сталої складової у модель), а x_3 дорівнює 1 або 0 в залежності від того, чи використовувався у даному часовому відрізку спеціальний режим опалення (електродогрів), x_1 — кількість проживаючих у гуртожитку за обраний місяць, x_2 — відповідна середньомісячна температура зовнішнього середовища. Найбільша загальна кількість місяців спостережень (тобто величина n із співвідношень (6), (7)) дорівнює 36 - 3 роки спостережень). Важливо відмітити, що опрацювання статистичних даних шляхом реалізації запропонованої моделі може бути використано для дослідження майбутніх сценаріїв побудованої моделі та прогнозного оцінювання поведінки системи електроспоживання. Таким чином, загальна модель типу (4) електроспоживання для конкретної будівлі реалізується у формі наведених вище виразів (2) і (3).

Для аналізу адекватності математичного моделювання (відхилення між фактичними та розрахованими значеннями) в роботі використовуються так звані графіки залишків, які у даному випадку (можливі і інші варіанти) являють собою сукупність точок декартової площини, що мають координати $(i, \hat{y}_i - y_i)$, i =1 ,…, n (для більшої наочності вони з'єднуються прямолінійними відрізками). Тут $\hat{y}_i$— розрахункове за моделлю значення, а y_i — реальне значення залежної змінної при i-му спостереженні.

Як зазначалося вище, реалізації належних обчислень була реалізована за допомогою розробленої комп'ютерної програми в середовищі Delphi, функціональний алгоритм якої полягає у наступному:

- автоматизація побудови матриці експерименту $\boldsymbol{X}$ в форматі Delphi на основі статистичних спостережень ПТК «АСУЕУ» у форматі MS Excel;
- дослідження регресійних даних на погану зумовленість матриці плану (інакше, на мультиколінеарність моделі) з використанням описаного вище алгоритму Грама-Шмідта (11) та відсіювання (за необхідності) зайвих змінних;
- визначення коефіцієнтів регресії у відповідності до (10) та побудова графіків залишків для одержаної моделі.

Форма, наведена на рис.1 візуально відображає діалогове вікно програми для реалізації моделі (2).

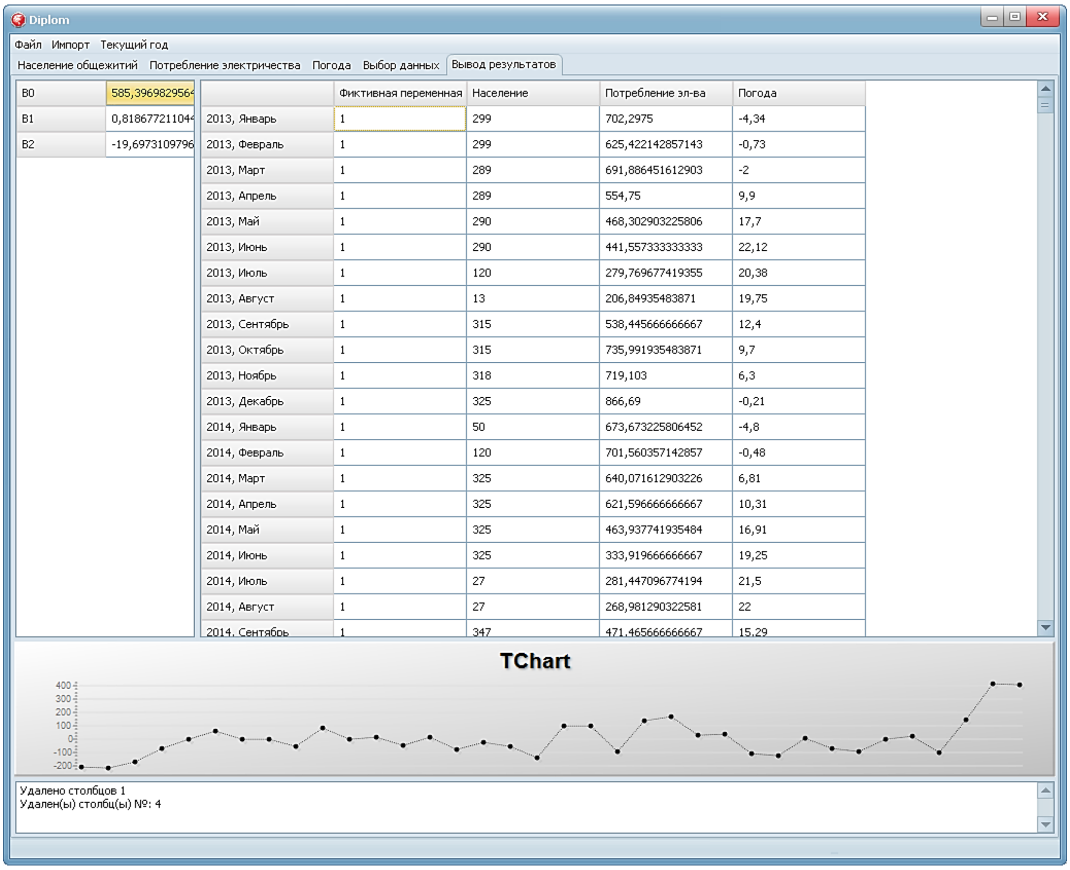

Рис. 1. **Діалогове вікно програми для побудови моделі електроспоживання у гуртожитку університету**

Зауважимо, що вихідні дані для одержання матебматичних моделей були обрані на основі добових графіків електроспоживання в університеті з 30-хвилинною дискретністю у відповідності до протоколів спеціалізованого програмного забезпечення локального устаткування збору і обробки даних.

Для більшої конкретності наведемо кілька одержаних результатів:

- **моделі типу (2)**

гуртожиток № 4. $\hat{y} = 381{,}8076 + 0{,}6045x_1 - 10{,}5754x_2$.

гуртожиток № 6. $\hat{y} = 584{,}3330 + 0{,}8223x_1 - 19{,}6922x_2$.

гуртожиток № 7. $\hat{y} = 836{,}7495 + 1{,}5511x_1 - 32{,}1912x_2$.

гуртожиток № 8. $\hat{y} = 735{,}4488 + 0{,}8553x_1 - 117{,}0849x_2$.

- **моделі типу (3)**

гуртожиток № 4. $\hat{y} = 382{,}2638 + 0{,}6968x_1 - 10{,}6435x_2 - 11{,}3522x_3$.

гуртожиток № 6. $\hat{y} = 576{,}5303 + 0{,}6862x_1 - 17{,}9671x_2 + 456{,}9815x_3$.

гуртожиток № 7. $\hat{y} = 835{,}7055 + 1{,}5458x_1 - 32{,}0411x_2 + 43{,}6572x_3$.

гуртожиток № 8. $\hat{y} = 735{,}1917 + 0{,}8493x_1 - 17{,}0358x_2 + 13{,}7046x_3$.

Оцінювання адекватності моделей та достовірності одержаних результатів буде показано у наступній частині дослідження, використовуючи числові реалізації моделей на декількох об’єктах однакового призначення.

Висновки. В роботі одержані регресійні моделі процесів електроспоживання в гуртожитках університету. Запропоновано до використання двох типів математичних моделей: базову та розширену. Вибір типу моделі для конкретних випадків реалізується за допомогою методу додаткової суми квадратів із порівнянням ймовірнісних характеристик результатів розрахунків, про що більш детально буде сказано у наступній частині дослідження. Розроблене спеціалізоване програмне забезпечення для автоматизованої числової реалізації моделей та аналізу одержаних результатів.

Література

1. Звіт про виконання комплексної науково-технічної програми «Енергоефективність та енергозбереження» Київського національного університету технологій та дизайну у 2015 році: Звіт / наук. ред. В. В. Каплун – Київ: КНУТД, 2015. – 117 с.
2. Боровиков В.П. STATISTICA: монографія / Боровиков В.П., Боровиков И.П. — М.: «Филинъ», 1997. — 586 с.
3. Боровиков В.П. STATISTICA для профессионалов: монографія / Санкт-Петербург · Москва · Харьков · Минск: «ПИТЕР», 2001. — 652 с.
4. Вучков И. Прикладной линейный регрессионный анализ: монографія / Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. — М.: Финансы и статистика, 1987. — 239 с.
5. Гихман И.И. Теория вероятностей и математическая статистика: навчальний посібник / Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И. — К.: Вища школа, 1979. — 406 с.
6. Дрейпер Н.Р. Прикладной регрессионный анализ: монографія / Дрейпер Н.Р., Смит Г. — Москва · Санкт-Петербург · Киев: 2007. — 911 с.
7. Кельберт М.Я. Основные понятия теории вероятностей и математической статистики: навчальний посібник / Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. — М.: МЦНМО, 2007. — 456 с.
8. Краснитський С.М. Теорія ймовірностей та її застосування у задачах легкої промисловості: навчальний посібник / С.М. Краснитський, Л.Ф. Хилюк. — К.: НМК ВО, 1991. — 144 с.
9. Ликеш И. Основные таблицы математической статистики / Ликеш И., Ляга Й. — М.: «Финансы и статистика», 1985. — 356 с.
10. Лоусон Ч. Численное решение задач метода наименьших квадратов: монографія / Лоусон Ч., Хенсон Р. — М.: Наука, 1986. — 232 с.
11. Мардиа К. Таблицы *F*-распределений. / Мардиа К., Земроч П.— М.: Наука, 1984. — 255 с.

References

1. Kaplun, V.V. (2015). Zvit pro vykonannia kompleksnoi naukovo-tekhnichnoi prohramy “Enerhoefektyvnist ta enerhozberezhennia” Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu u 2015 rotsi [Report on Implementation of the Complex Scientific and Technical Program “Energy Efficiency and Energy Saving” of Kyiv National University of Technology and Design in 2015]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
2. Borovykov, V.P. (1997). STATISTICA: monografiya [STATISTICA: Monograph]. Moscow: Filin [in Russian].
3. Borovykov, V.P. (2001). STATISTICA dlya professionalov: monografiya [STATISTICA for Professionals: Monograph]. Saint Petersburg: Piter [in Russian].
4. Vuchkov, Y. (1987). Prikladnoy lineynyy regressionnyy analiz: monografiya [Applied Linear Regression Analysis: Monograph]. Moscow: Finansy i statistika [in Russian].
5. Gikhman, I.I., Skorokhod, A.V. & Yadrenko, M.I. (1979). Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: navchal'nyi posibnyk [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Kyiv: Vyshcha shkola [in Russian].
6. Dreyper, N.R. & Smith, G. (2007). Prikladnoy regressionnyy analiz: monografiya [Applied Regression Analysis: Monograph]. Moscow, Saint Petersburg, Kyiv [in Russian].
7. Kel'bert, M.Ya. & Sukhov, Yu.M. (2007). Osnovnye ponyatiya teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki: navchal'nyi posibnyk [Basic Concepts of Probability Theory and Mathematical Statistics]. Moscow: MTsNMO [in Russian].
8. Krasnytskyi, S.M. & Hyliuk, L.F. (1991). Teoriia ymovirnostei ta yii zastosuvannia u zadachakh lehkoi promyslovosti: navchalnyi posibnyk [Probability Theory and Its Application to the Tasks of Light Industry]. Kyiv: NMK VO [in Ukrainian].
9. Likesh, I. & Lyaga, Y. (1985). Osnovnye tablitsy matematicheskoy statistiki [Basic Tables of Mathematical Statistics]. Moscow: Finansy i statistika [in Russian].
10. Lawson, Ch. & Hanson, R. (1986). Chislennoe reshenie zadach metoda naimen'shikh kvadratov: monografiya [Solving Least Squares Problems: Monograph]. Moscow: Nauka [in Russian].
11. Mardia, K. & Zemroch, P. (1984). Tablitsy F-raspredeleniy [Tables of F-distributions]. Moscow: Nauka [in Russian].
12. Olenko, A.Ia. (2007). Komp’iuterna statystyka:

12. Оленко А.Я. Комп’ютерна статистика: навчальний посібник / К.: ВПЦ «Київський університет», 2007. — 174 с.
13.Грищенко І.М. Управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах: монографія / [І.М. Грищенко, В.В. Каплун, М.В. Дяченко, О.В. Власенко, Р.В. Каплун, Г.С. Жулай]. — К. : КНУТД, 2013. — 245 с.

navchalnyi posibnyk [Computer Statistics]. Kyiv: VPTs Kyivskyi universytet [in Ukrainian].
13. Hryshchenko, I.M., Kaplun, V.V., Diachenko, M.V., Vlasenko, O.V., Kaplun, R.V. & Zhulai, H.S. (2013). Upravlinnia enerhospozhyvanniam u vyshchykh navchalnykh zakladakh: monohrafiia [Energy Consumption Management in Higher Education Institutions]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В УНИВЕРСИТЕТСКИХ ЗДАНИЯХ. Сообщение 1

КАПЛУН В.В., КРАСНИТСКИЙ С.М., БОБРОВНИК В.Н., ЖУЛАЙ Г.С.
Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. *Целью работы является разработка и исследование математических моделей (базовой и расширенной) электропотребления в зданиях университета (на примере общежитий Киевского национального университета технологий и дизайна).*

Методика. *Множественный регрессионный анализ в сочетании со статистическими методами.*

Результаты. *Получены линейные регрессионные модели электропотребления в зданиях университета с учетом приведенного количества проживающих в общежитиях, температуры окружающей среды и особенностей графика образовательного процесса в отопительный сезон.*

Научная новизна. *В результате математического моделирования на основе расширенного набора факторов, влияющих на процесс электропотребления, впервые получены зависимости, которые могут быть использованы для исследования будущих сценариев и прогнозного оценивания функционирования системы электроснабжения в зданиях образовательной сферы.*

Практическая значимость. *Использование результатов моделирования позволит разрабатывать методические рекомендации по внедрению комплекса энергосберегающих мероприятий в образовательном учреждении с учетом существующей инженерной инфраструктуры для повышения эффективности управления электропотреблением.*

Ключевые слова: *управление электропотреблением, регрессионный анализ, статистические данные, общая линейная модель электропотребления, адекватность модели.*

MATHEMATICAL SIMULATION OF POWER CONSUMPTION IN UNIVERSITY BUILDINGS. Message 1

KAPLUN V.V., KRASNYTSKY S.M., BOBROVNYK V.M., ZHULAI H.S.
Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. *The purpose of the work is to develop and study mathematical models (basic and expanded) of electricity consumption in the buildings of the university (on an example of the buildings of the Kyiv National University of Technologies and Design).*

Method. *Multiple regression analysis in combination with statistical methods.*

Results. *The linear regressive models of electricity consumption in the buildings of the university have been obtained and investigated taking into account the reduced number of dwellers living in the hostels, the temperature of the environment and the features of the graph of the educational process during the heating season.*

Originality. *As a result of mathematical modeling on the basis of an extended set of factors influencing the process of power consumption, obtained dependences that can be used for the study of future scenarios and the predictive assessment of the functioning of the electricity supply system in the educational buildings.*

The practical significance. *The use of simulation results will allow the development of methodological recommendations for the implementation of a complex of energy-saving measures in an educational institution, taking into account the existing engineering infrastructure and improving the efficiency of management of the power consumption.*

Keywords: *power consumption management, regression analysis, statistical data, general linear model of power consumption, model adequacy.*