

УДК УДК 621.3-192:378

КАПЛУН В.В., БОБРОВНИК В.М.  
Київський національний університет технологій та дизайну

**ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВИЩИХ  
НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ НА ОСНОВІ  
НОРМУВАННЯ ПИТОМИХ ПОКАЗНИКІВ  
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ**

***Мета.** Дослідження ефективності системи електроспоживання у вищому навчальному закладі на основі експериментального та розрахунково-статистичного методів з урахуванням впливу особливостей освітнього процесу, сезону та експлуатаційних чинників.*

***Методика.** Проведений структурний аналіз електроспоживання з використанням статистичних даних, одержаних з локальних пристроїв збору і обробки даних з урахуванням впливу особливостей організації освітнього процесу, сезону та експлуатаційних чинників.*

***Результати.** Одержані питомі показники електроспоживання у будівлях ВНЗ з урахуванням впливу особливостей організації освітнього процесу, сезону та експлуатаційних чинників.*

***Наукова новизна.** Запропоноване рішення дає змогу узагальнити та обґрунтувати нові теоретичні та методичні аспекти управління ефективністю електроспоживання ВНЗ на основі використання питомих показників електроспоживання з урахуванням особливостей організації освітнього процесу, сезону та експлуатаційних чинників.*

***Практична значимість.** Розроблені рекомендації щодо виконання техніко-економічних обґрунтувань управління витратами на електроспоживання при плануванні освітнього процесу та реалізації проектів з енергозбереження у ВНЗ.*

***Ключові слова:** аналіз електроспоживання ВНЗ, питомі показники електроспоживання, управління енергоефективністю, особливості організації освітнього процесу.*

Вступ. Реалізація концепції сталого розвитку України для вищих навчальних закладів (ВНЗ) передбачає вирішення проблем підвищення енергоефективності та енергоощадності як основних стратегічних напрямів комплексного розвитку університетського господарства. Економічне зростання ВНЗ в умовах постійно зростаючих видатків неможливе без поетапного зменшення споживання енергоносіїв і приведення їх до економічно обґрунтованих рівнів.

Існуюче законодавство та нормативні документи щодо енергозбереження та підвищення енергоефективності регулює відносини між господарськими суб'єктами і державою у сфері використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) [1,2]. Створення умов для впровадження нових енергоощадних технологій, управління режимами енергоспоживання на основі достовірних і оперативних даних є сьогодні пріоритетним завданням.

Серед основних нормативно-правових документів України у сфері енергозбереження - Закони України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», «Про електроенергетику», «Про

енергозбереження», які забезпечують проведення цілеспрямованої політики держави з організації та координації дій у сфері енергозбереження, розроблення цільових, регіональних, місцевих та інших програм.

Законом України «Про енергозбереження» визначено поняття стандартизації у сфері енергозбереження, яка проводиться для встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог щодо раціонального використання та економії паливно-енергетичних ресурсів.

Дослідження комплексу науково-технічних засобів підвищення енергоефективності необхідне для розроблення принципів створення систем автоматизованого моніторингу, збору і обробки первинних даних з метою впровадження організаційного забезпечення ефективного управління процесами споживання енергоносіїв у відповідності до діючих Стандартів та технічних регламентів. Стандарти у сфері енергозбереження є основою для застосування економічних санкцій за нераціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, використання енергетично неефективного обладнання та матеріалів.

Постановка завдання. Діючі законодавчі та нормативні документи визначають організаційно-методичні основи енергозбереження, раціональні питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів, методи визначення потреб в енергії, сертифікації об'єктів відповідно до вимог енергозбереження, методи збирання та обробки інформації про витрати паливно-енергетичних ресурсів, вимоги до енергозберігаючих технологій і енергозберігаючого обладнання, вимоги до вторинних енергетичних ресурсів, нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії.

Однак головним механізмом стимулювання до зниження енергоспоживання є розроблення і обґрунтування норм і нормативів витрат ПЕР, які в обов'язковому порядку включаються в енергетичні паспорти обладнання, режимні карти, технологічні інструкції та інструкції з експлуатації, а також у технічні умови та паспорти на всі види машин і механізмів, що споживають паливно-енергетичні ресурси і дають змогу оцінювати ефективність енергоощадних заходів за визначений календарний період.

Нормування витрат ПЕР встановлюється з урахуванням особливостей конкретного виробництва, як правило, на рівні підприємства, установи, організації. Диференціація норм за конкретними технологіями чи видами споживання здійснюється підприємством, установою, організацією самостійно на основі міжгалузевих та галузевих методик. Ці норми не повинні перевищувати встановлених показників міжгалузевих та галузевих типових норм питомих витрат ПЕР для певних видів споживання [1].

Норми витрат встановлюються на всі види паливно-енергетичних ресурсів незалежно від джерел їх постачання та характеру споживання. У загальному випадку, для розроблення норм і нормативів та аналізу енергоспоживання використовуються енергобаланси – система взаємопов'язаних показників, які відображають кількісну відповідність між надходженням та використанням усіх видів ПЕР певним об'єктом (виробничою дільницею, цехом, підприємством, галуззю, регіоном тощо). Норми витрат ПЕР підлягають систематичному перегляду з урахуванням змін у технології виробництва. Якщо обсяги виробництва товарної продукції продовжують змінюватися, перегляду підлягає також організація виробництва з метою зменшення умовно-постійної складової

питомих витрат ПЕР. Норми відповідно до даного документу класифікуються за ступенем агрегації на індивідуальні й групові; за періодом дії на річні та квартальні [2].

До об'єктів нормування ПЕР належить і дитячі дошкільні заклади, школи, професійно-технічні та середні спеціальні навчальні заклади, вищі навчальні заклади [1].

Сучасні вимоги до проблеми енергозбереження та підвищення енергоефективності значно зросли, що вимагає проведення розробки та істотного аналізу методів оцінювання параметрів питомих норм витрат електроенергії.

Основним методичним принципом формування норм для різних рівнів управління є їх послідовна агрегація (укрупнення) знизу догори. Норми питомих витрат ПЕР визначаються прямим розрахунком з урахуванням рівня фактично досягнутих норм і можуть бути визначені шляхом застосування наступних методів: розрахунково-аналітичного, експериментального, розрахунково-статистичного та комбінованого. Розрахунково-аналітичний метод передбачає визначення норм питомих витрат ПЕР шляхом визначення реального споживання у відповідності до технологічної структури споживання на основі прогресивних показників та прогнозу їх зменшення з урахуванням оціненого потенціалу енергозбереження та підвищення енергоефективності. Експериментальний метод базується полягає у визначенні норм на підставі даних, одержаних в результаті експериментальних вимірювань та прогнозу зменшення їх споживання з урахуванням оціненого потенціалу енергозбереження та підвищення енергоефективності. Наявність автоматизованої системи моніторингу, збору і обробки даних є базовою умовою для використання цього методу, а режими роботи технологічного обладнання повинні відповідати нормативним, технологічний процес повинен проводитись у відповідності до регламентів та режимних карт. Розрахунково-статистичний метод полягає у визначенні питомих норм на основі використання статистичних даних про фактичні витрати ПЕР та про значення чинників, що впливають на величину їх питомих витрат. Комбінований метод поєднує у собі експериментальний та розрахунково-аналітичний методи визначення норм питомих витрат ПЕР і дає можливість одержати обґрунтовані індивідуальні норми витрат з урахуванням особливостей технологічних процесів.

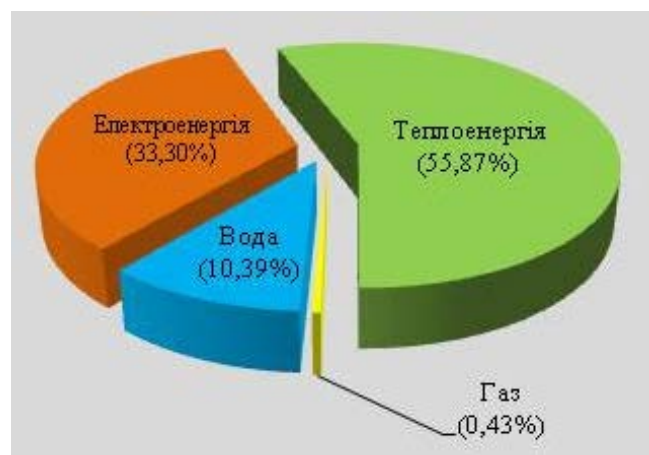
Групові норми питомих витрат ПЕР визначаються, як правило, розрахунково-аналітичним методом як середньозважені групові показники на підставі індивідуальних норм та розрахунково-статистичним методом.

Разом з тим, групові норми витрат ПЕР можуть встановлюватись як планові на обраний календарний період (тиждень, місяць, квартал, рік та ін.), виходячи з відповідних фактичних витрат базисного періоду з урахуванням досягнутих прогресивних показників питомих витрат ПЕР та запланованих заходів з енергозбереження і підвищення енергоефективності.

Однак, вирішення питання не є простим і ускладнене наявністю різноманітних факторів, що не дають змоги оптимально нормувати показники електроспоживання. Завищення або заниження визначених питомих норм призводить до необґрунтованих перевитрат електроенергії та неможливості здійснювати прогнозоване оцінювання рівнів електроспоживання на найближчу перспективу. У світлі зазначених завдань великого значення набуває розробка і подальше вдосконалення науково обґрунтованих методів

нормування та планування потреби освітніх закладів у електричній енергії, що свідчить про актуальність даного дослідження.

Вищі навчальні заклади, як автономні господарюючі суб'єкти є значними споживачами енергоресурсів. Матеріали дослідження, викладені в даній статті, стосуються ВНЗ інженерно-технологічної групи з середнім штатом науково-педагогічного персоналу не більше 600 осіб. Як відомо, на електроспоживання електротехнічними комплексами університетів припадає понад 30% від загальної кількості витрат коштів на енергозабезпечення. Постійне зростання цін на електроенергію викликає підвищення собівартості освітніх послуг, що знижує конкурентоспроможність ВНЗ [4].



**Рис. 1 Структура витрат на енергозабезпечення та воду в університеті інженерно-технологічної групи з середнім штатом науково-педагогічного персоналу не більше 600 осіб (усереднені дані служби енергоменеджменту Київського національного університету технологій та дизайну за п'ятирічний період спостережень)**

Контроль ефективності використання енергоносіїв у ВНЗ [5] запропоновано здійснювати на основі розроблених регресійних моделей. Далі наведені особливості формування таких моделей, а також обґрунтовані принципи контролю енергоефективності.

Функціонування систем контролю енергоефективності передбачає зіставлення фактичних енерговитрат з плановими або нормованими. Якщо перші можуть бути одержані безпосередньо шляхом вимірювання, то плановані одержують на основі використання математичної моделі, побудованої за результатами раніше проведених спостережень (вимірювань).

Перш за все, необхідно обґрунтувати періодичність синхронних вимірювань споживання електроенергії (за даними, одержаних з лічильників), а також значень відповідних технологічних параметрів інженерних мереж. Така періодичність може визначатися: графіками навчального процесу; сезонністю, днями тижня та годинами доби.

Результати дослідження. Попередній аналіз даних про електроспоживання у ВНЗ показав, що існуючі норми питомих витрат електроенергії в багатьох випадках не стимулюють економії електроенергії, а встановлення нормативних значень від базового

показника з урахуванням 3-5% економії не може застосовуватися в сучасних умовах роботи при значній варіації чинників, що впливають на процес електроспоживання.

Планування лімітів потребує детального вивчення та аналізу динаміки електроспоживання у будівлях протягом декількох років, врахувавши зміни, які плануються, і ті, які вже відбулись (технічне переоснащення, автоматизація, ремонти, зміна площ і обладнання, тощо).

Обґрунтованість висновків і рекомендацій забезпечується коректним використанням методів дослідження і підтверджується збігом теоретичних розрахунків з експлуатаційними розрахунковими значеннями. В якості експериментальної бази використовувалися дані програмно-технічного комплексу «Автоматизована система управління електроспоживанням», який створений і введений у промислову експлуатацію у Київському національному університеті технологій та дизайну. Теоретичні дослідження супроводжувалися розробкою алгоритмів і програм, що використовувались для статичної обробки результатів і прогнозування з наступною співставною перевіркою в експлуатаційних умовах на відтворюваність за періоди, що передували розрахунковим.

Використовуючи програмно-технічний комплекс «Автоматизована система управління електроспоживанням» одержані дані про річні обсяги споживання електроенергії за період з 2008 по 2014 роки (див.рис.2) [4].

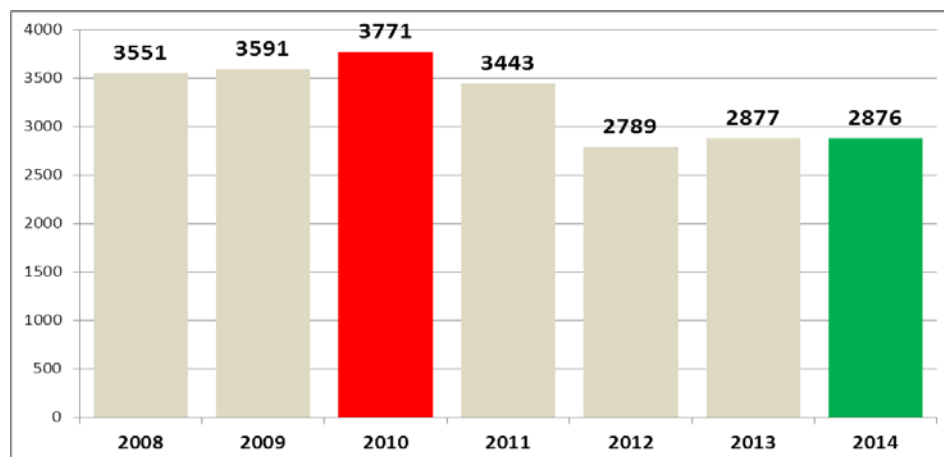


Рис. 2 Фактичні дані річного електроспоживання у ВНЗ інженерно-технологічної групи з кількістю науково-педагогічних працівників до 600 осіб за період з 2008 по 2014 роки.

Заклади освіти мають в основному 5 груп споживачів електроенергії: освітлення (30-50%), споживання електродвигунами (10-30%), установки електронагріву (10%-25%), комп'ютери та оргтехніка - до 10%, лабораторне обладнання – 5-7% [5].

Основним критерієм оцінювання енергоефективності систем енергоспоживання обрані питомі показники, одержані на основі статистичного аналізу функціонування інженерних мереж та умов експлуатації навчальних корпусів і гуртожитків. Питомі показники електроспоживання, віднесені до приведених площ навчальних корпусів і приведенного контингенту студентів чи до середньомісячної кількості студентів, проживаючих у гуртожитках, є базовими для оцінювання потенціалу енергозбереження університету і прогнозування рівнів енергоспоживання на найближчу перспективу.

Нормування і контроль за споживанням електричної енергії при сформованих режимах роботи електротехнічного устаткування повинні здійснюватися за підсумковими показниками роботи, що дасть можливість організувати адекватне прогнозування питомої витрати електроенергії у ВНЗ і дозволить ефективно впроваджувати заходи з енергозбереження.

На рис. 3 і 4 приведені порівняльні показники електроспоживання - фактичні і планові, одержані на основі прогнозного оцінювання електроспоживання та кумулятивної суми відхилень, відповідно. Аналіз аналогічних звітів окремих структурних підрозділів ВНЗ дає можливість робити висновки щодо ефективності споживання енергії кожним із них [4].

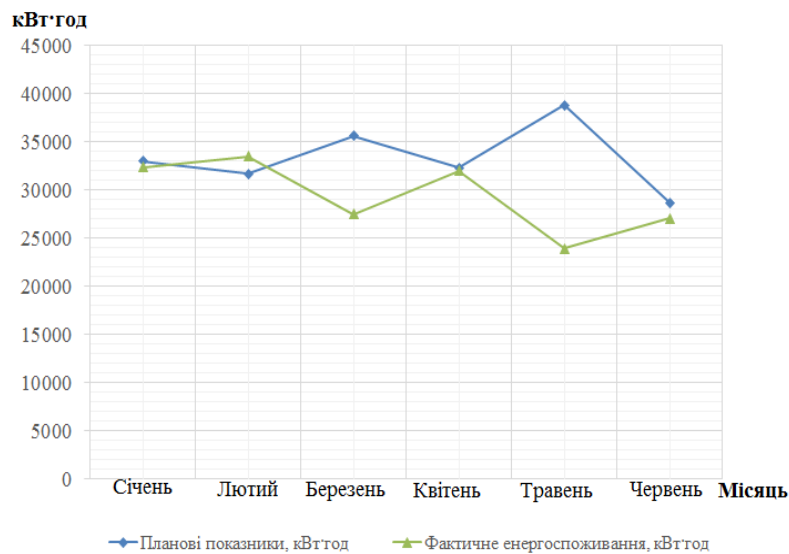


Рис. 3 Порівняння фактичних та планових показників електроспоживання

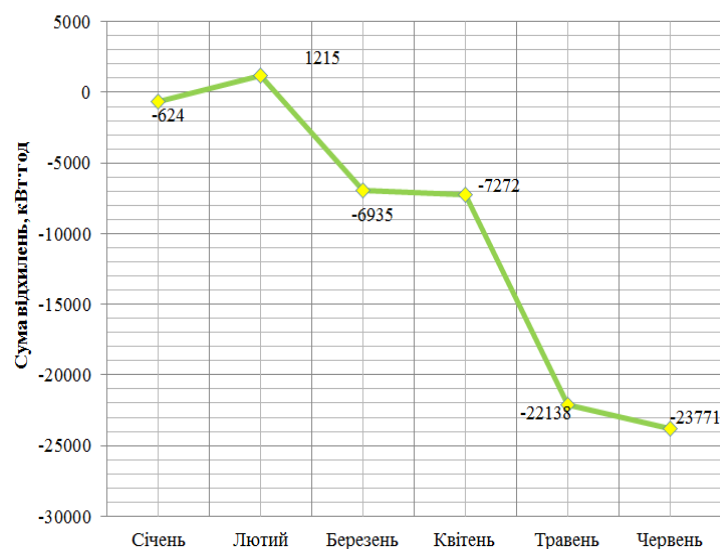


Рис. 4 Відхилення між плановими та фактичними показниками електроспоживання

Такі звіти формуються у системі енергоменеджменту і є основою для складання зведених звітів ВНЗ. Зведені звіти, як правило, стосуються більших проміжків часу (квартальні, за півріччя, за опалювальний сезон, річні). Вони характеризують загальну ситуацію в ВНЗ щодо визначення стратегічних завдань у сфері енергозбереження і підвищення енергоефективності.

На основі використання принципів контролю енергоспоживання, що полягає у зіставленні фактичних енерговитрат з плановими (прогнозованими), виконане оцінювання ефективності роботи електротехнічних комплексів ВНЗ. Таким чином був одержаний кількісний критерій оцінювання ефективності функціонування системи електрозабезпечення. Наступні міркування були пов'язані з дослідженням взаємозв'язку між зміною навчального процесу та флуктуаціями питомих витрат електроенергії і розробкою принципів прогнозованого оцінювання споживання для обґрунтування лімітів за обраний календарний період. Удосконалення освітнього процесу, що призвело до зменшення питомого споживання свідчить про ефективне управління і є кроком до запровадження індивідуальних лімітів електроспоживання у навчальних корпусах та гуртожитках.

Одним із чинників, який використовується для розрахунків питомого споживання енергоносіїв є приведений контингент студентів.

Динаміка відносної зміни приведенного контингенту у 2008-2014 рр. [4].

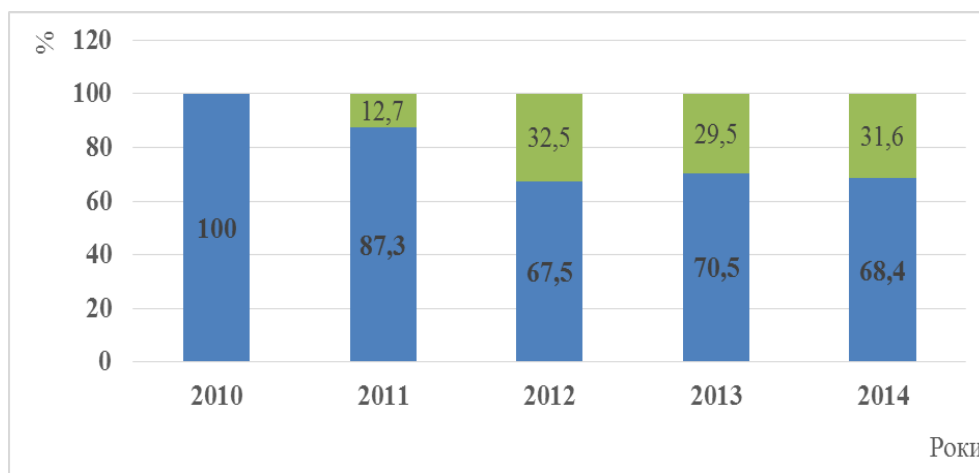


Рис. 5 Динаміка відносної зміни приведенного контингенту у 2008-2014 рр.

Використовуючи дані з [4], визначене приведенне фактичне споживання електроенергії у гуртожитках. Одержані результати наведені на рис. 6, 7.

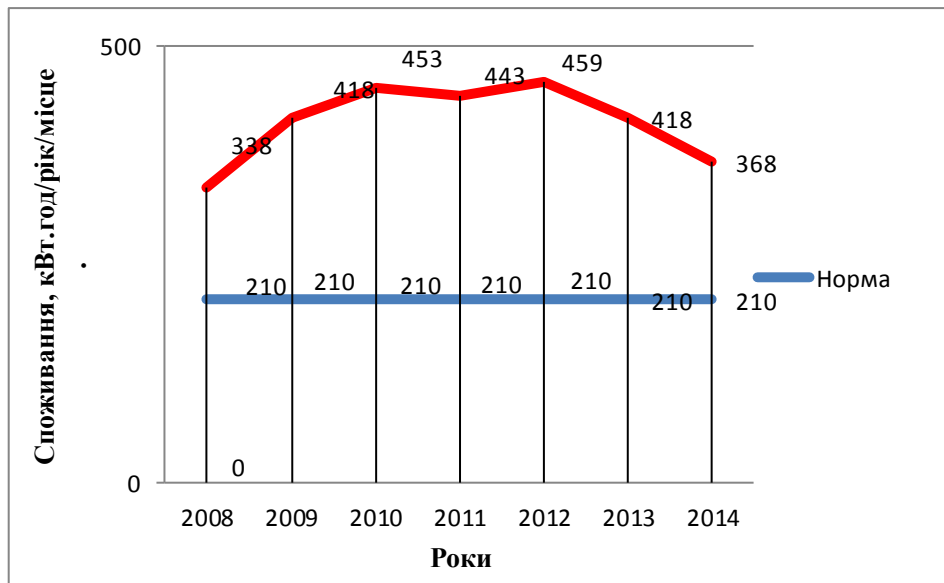


Рис. 6 Нормоване та приведенне до кількості проживаючих фактичне споживання електроенергії в гуртожитках без електроплит, кВт·год./рік/місце

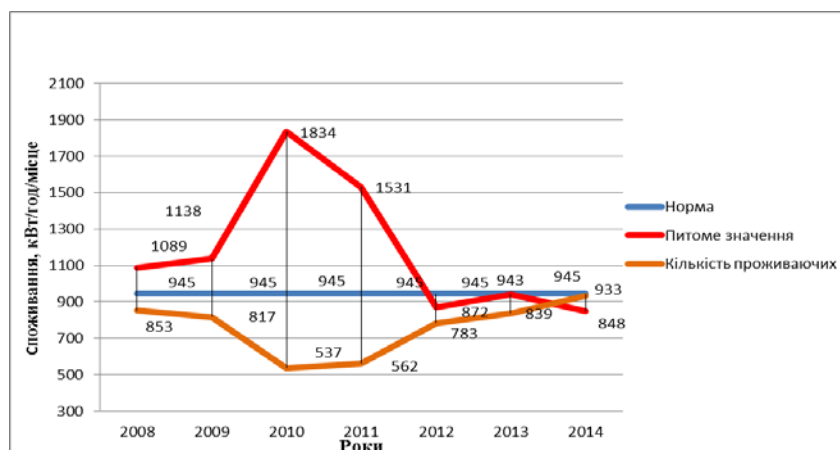


Рис. 7 Нормоване та приведенне до кількості проживаючих фактичне споживання електроенергії у гуртожитках з електроплитами, кВт·год./рік/місце

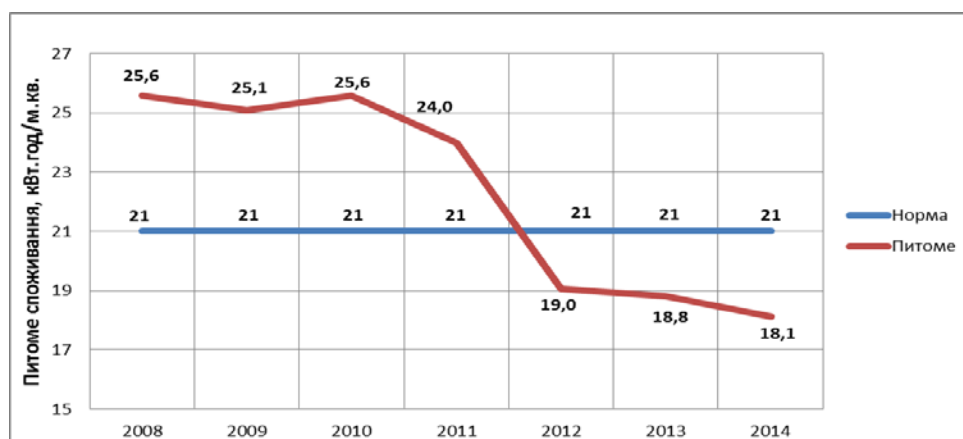


Рис. 8 Приведене до загальної площі фактичне споживання електроенергії у навчальних корпусах, кВт·год./рік/м. кв.



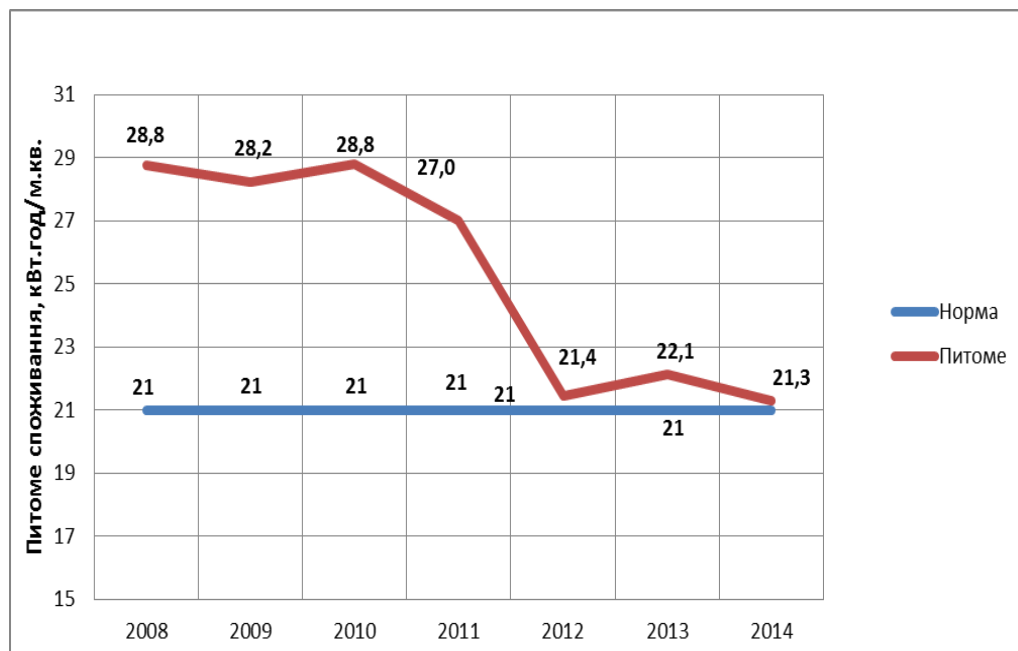


Рис. 9 Приведене до корисної площі фактичне споживання електроенергії у навчальних корпусах, кВт·год./рік/м. кв.

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок про певну кореляцію між рівнем питомого електроспоживання у гуртожитках і навчальних корпусах та кількістю студентів, що навчаються, сезоном та графіком освітнього процесу. Оскільки чисельність студентів є на сьогодні основною бюджетоутворюючою складовою університету, вищенаведені показники досить цікаві для поглибленого вивчення та врахування при складанні загального балансу енергоспоживання в університеті.

У період стрімкого зростання цін на енергоносії чи не єдиною можливістю стабілізації енергетичного ринку через управлінські рішення стає введення обмежень на споживання енергії (лімітування). Цей підхід дозволяє зменшити споживання енергії, у тому числі за рахунок усунення марнотратства. Тож лімітування споживання енергії можна розглядати лише як тимчасовий захід на шляху до вирішення проблеми управління енергоспоживанням, але одночасно і як необхідний захід щодо формування ощадливої поведінки споживачів енергетичних послуг.

Лімітування обсягів спожитих енергоресурсів необхідно проводити у розрізі кожної окремої будівлі. Це складний процес, однак є ефективним з огляду забезпечення зменшення споживання енергоресурсів будівлями за умов дотримання санітарно-гігієнічних норм.

На основі даних ПТК «Автоматизована система управління енергоспоживанням» [4] проведено дослідження витрат енергоносіїв у періоди обмеженого теплозабезпечення, які характеризуються суттєвою нерівномірністю завантаження аудиторних приміщень у семестрі (див. рис.10 і 11).

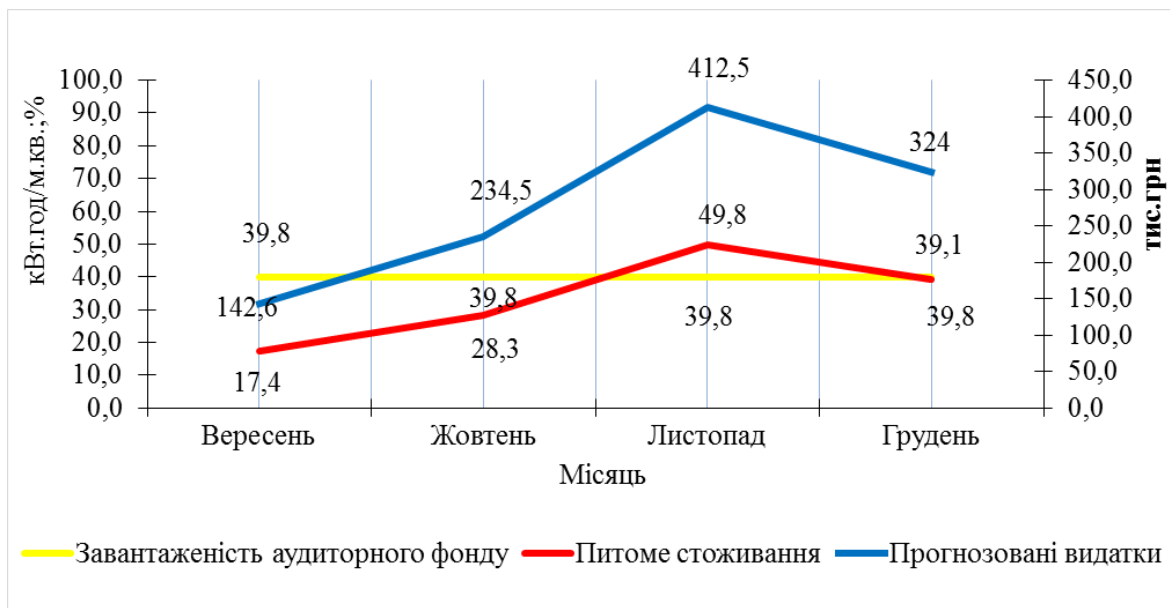


Рис. 10 Прогнозоване оцінювання споживання електроенергії в залежності від завантаженості аудиторного фонду без урахування зміни освітнього процесу

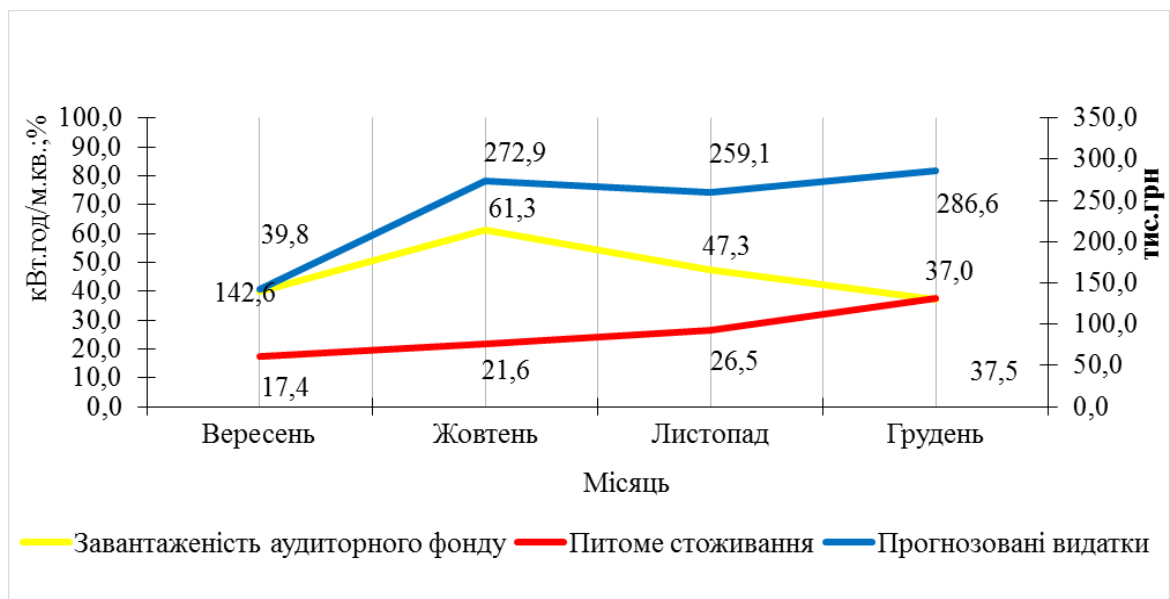


Рис. 11 Прогнозоване оцінювання споживання електроенергії в залежності від завантаженості аудиторного фонду з урахування зміни освітнього процесу

Удосконалення планування графіків освітнього процесу в університеті з метою підвищення ефективності використання аудиторного фонду полягає у визначенні складу загальноуніверситетського аудиторного фонду у кожному з навчальних корпусів (створення реєстру аудиторій та введення технічних паспортів приміщень), який використовується у освітньому процесі, визначення переліку навчальних корпусів (аудиторій), які споживають найбільше електроенергії.

Проведений аналіз дозволив встановити певні кореляції між завантаженістю аудиторного фонду та питомим приведеним споживанням електроенергії у навчальних

корпусах та гуртожитках. Як видно з аналізу, завантаженість аудиторного фонду залежить від графіку освітнього процесу.

**Висновки.** Узгодження управлінських рішень повинні бути спрямовані на оптимальне планування освітнього процесу на основі підвищення ефективності використання аудиторного фонду університету та контролю витрат на електрозабезпечення, особливо у опалювальний період. З цією метою необхідно запроваджувати моніторинг ефективності використання аудиторного фонду університету для оптимального планування функціонування систем електрозабезпечення та управління видатками на енергоносії в умовах значного зростання тарифів і дасть змогу забезпечити координацію дій у сфері енергозбереження та підвищення енергоефективності.

### Список використаних джерел

1. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України. Наказ Держкоменергозбереження N 91 від 25.10.99.
2. Про затвердження «Основних положень з нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» (наказ Держкоменергозбереження №112 від 22.10.2002) зі змінами, внесеними згідно з наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів №92 від 15.06.2007 та наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі №1149 від 27.09.2013.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.07.97 р. № 786 «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №1040 27.06.2000, №633 від 06.06.2001, №746 від 16.08.2005, № 1571 від 08.11.2006, №841 від 03.08.2011, №507 від 17.07.2015.
4. Серебренніков Б.С. Управління режимом електроспоживання промислових підприємств з використанням технологічного ресурсу // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – №1. С. 70 – 76.
5. Звіт про виконання комплексної науково-технічної програми «Енергоефективність та енергозбереження» в Київського національного університету технологій та дизайну у 2014 році: звіт // Каплун В.В., Вітковський С.І., Дяченко М.В. та ін. – К.: КНУТД, 2014. – 208 с.
6. Грищенко І.М. Управління енергоспоживанням у вищих навчальних закладах: монографія // Грищенко І.М., Каплун В.В., Дяченко М.В. та ін.; за ред. І.М. Грищенко – К.: КНУТД, 2013. – 245 с.

### ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ НА ОСНОВЕ НОРМИРОВАНИЯ УДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

КАПЛУН В.В., БОБРОВНИК В.М.

*Київський національний університет технологій і дизайну*

**Цель.** Исследование эффективности системы электропотребления в высшем учебном заведении на основе экспериментального и расчетно-статистического методов с учетом влияния особенностей образовательного процесса, сезона и эксплуатационных факторов.

**Методика.** Проведенный структурный анализ электропотребления с использованием статистических данных, полученных из локальных устройств сбора и обработки данных с учетом влияния особенностей организации образовательного процесса, сезона и эксплуатационных факторов.

**Результаты.** Полученные удельные показатели электропотребления в зданиях высших учебных заведений с учетом влияния особенностей организации образовательного процесса, сезона и эксплуатационных факторов.

**Научная новизна.** Предложенное решение позволяет обобщить и обосновать новые теоретические и методические аспекты управления эффективностью электропотребления высших учебных заведений на основе использования удельных показателей электропотребления с учетом особенностей организации образовательного процесса, сезона и эксплуатационных факторов.

**Практическая значимость.** Разработаны рекомендации по выполнению технико-экономических обоснований управления затратами на электрообеспечение при планировании образовательного процесса и реализации проектов по энергосбережению в высших учебных заведений.

**Ключевые слова:** *анализ электропотребления высших учебных заведений, удельные показатели электропотребления, управления энергоэффективностью, особенности организации образовательного процесса.*

## **EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF ELECTROTECHNICAL COMPLEXES OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS BASED ON NORMALIZATION SPECIFIC INDICATORS OF ENERGY CONSUMPTION**

KAPLUN V.V., BOBROVNYK V.M.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Investigation of the efficiency of energy consumption in higher education on the basis of experimental, computational and statistical methods, taking into account the influence of the features of the educational process, the season, and operational factors.

**Methodology.** Structural analysis of the electricity consumption conducted using statistical data received from the local device data collection and processing, taking into account the impact of characteristics of the organization of educational process, the season, and operational factors.

**Findings.** Obtained specific indicators of electricity consumption in buildings of higher education institutions, taking into account the impact of characteristics of the organization of educational process, the season, and operational factors.

**Originality.** The proposed solution makes it possible to generalize and justify new theoretical and methodological aspects of the management of electricity consumption efficiency of higher education institutions through the use of specific indicators of electricity consumption for the organization of educational process.

**Practical value.** The recommendations on the implementation of feasibility studies on the electricity supply cost management in the planning of the educational process and the implementation of energy saving projects in higher education.

**Keywords:** *analysis of electricity consumption of higher educational institutions, specific indicators of energy consumption, energy efficiency management, especially the organization of the educational process.*