

УДК 620.91:697.1

ШЕВЧЕНКО О. М., ШОВКАЛЮК М. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ КАМПУС КНУТД: ІНСТРУМЕНТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета. Створення та розвиток організаційної структури для управління енергоспоживанням студмістечок та підвищення відповідальної поведінки споживачів за рахунок їх залучення до операційної діяльності.

Методика. Розглядаються інжинірингові аспекти формування системи енергоменеджменту для різних типів кінцевих споживачів. Застосовуються загальнонаукові методи аналізу та синтезу, специфічні методи (групування, порівняння, узагальнення), техніко-економічний аналіз, експериментальні методи.

Результати. Зменшення загального споживання енергетичних ресурсів, а також грошових витрат на їх оплату; створення умов та інструментальної бази для науково-дослідницьких робіт; підвищення якості надання освітніх послуг, залучення студентів до виконання енергетичних обмежень.

Наукова новизна. Розвинуто комплексний підхід до поглибленого аналізу та планування енергоспоживання, удосконалено процедури оцінювання енергетичної ефективності будівель з урахуванням температурно-погодних та експлуатаційних факторів.

Практична значимість. Надані пропозиції щодо створення енергоефективного кампусу з використанням сучасних технологій та інноваційних рішень енергозабезпечення, енергомоніторингу, енергоменеджменту. Просвітницька мета проекту - залучення студентів до процесу створення та реалізації реальних інноваційних проектів з енергозабезпечення на прикладі кампусу, де вони навчаються. Це дозволить створити середовище, з комфортними умовами для проведення досліджень, навчання та життя. Реалізація комплексного проекту «Розумна мережа» дозволить показати, як можна створити на основі існуючого старого фонду будівель сучасний енергоефективний майданчик з використанням сучасних технологій та інноваційних рішень енергозабезпечення, енергомоніторингу, енергоменеджменту.

Ключові слова. енергоспоживання, кампус, студмістечко, енергетична ефективність, будівлі.

Вступ. Один із стратегічних напрямків розвитку економіки України - підвищення енергоефективності будівель житлово-громадської сфери, адже близько 40% світового енергоспоживання та третина викидів парникових газів припадає на будівлі. Комунальні витрати бюджетних установ в Україні є у 2–3 рази вищими, ніж подібні витрати в країнах ЄС. Практично 90% будівель України не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, що призводить до перевитрат енергії на опалення та недотримання вимог по мікроклімату приміщень. Вирішення цих задач потребує розгляду процесів енергоспоживання будівель як комплексної проблеми з застосуванням сучасних інструментів системи енергоменеджменту.

У роботах [1,2] запропоновано удосконалення існуючих підходів до побудови систем управління процесами енергоспоживання та енергозбереження у галузі освіти. Основним завданням системи енергоменеджменту є управління ефективністю споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) шляхом здійснення обліку, контролю, планування, нормування та аналізу витрат, проведення внутрішніх енергетичних аудитів [3,4], впровадження енергозберігаючих заходів, а також інформування, стимулювання [5,6] та навчання

персоналу. Під час поглибленого аналізу теплового стану та оцінювання умов комфортності будівель можуть використовуватися математичні моделі [7].

Постановка завдання. Завдання дослідження полягає у поглибленні існуючих підходів до управління енергоспоживанням у студмістечках із залученням наукового потенціалу закладу.

Розвиток системи енергетичного менеджменту університету (СЕМ). Наразі в КПІ ім. І.Сікорського функціонує дворівнева СЕМ (рис. 1), що включає:

- рівень місцевого управління; об'єкт управління – енергетичне господарство університету. Склад служби: головний енергоменеджер, інженер за напрямком теплоспоживання, інженер за напрямком електроспоживання, інженер за напрямком водоспоживання, адміністратор АСКОЕ.

- рівень локального управління – здійснюється відповідальним за ефективне енерговикористання у будівлі (навчальний корпус/гуртожиток); об'єкт управління - системи тепло-, електро-, водоспоживання будівлі.

Кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського налічує близько 50 будівель різного призначення, власними інженерними мережами, експлуатація та утримання яких вимагає значних витрат, які щорічно зростають (рис.2). При чому рівень споживання теплової енергії в університеті через режим жорсткої економії скоротився більше ніж у двічі. Якби рівень енергоспоживання відповідав показникам 2006 року, то з застосуванням сьогоденних тарифів частка комунальних витрат у бюджеті університету склала б 15,4%, а на сьогодні становить 7%. Впровадження подібної управлінської структури може бути здійснене і у інших кампусах або містах, де споживачами енергії є будівлі громадського та житлового призначення. Функціонування СЕМ передбачає: розробку енергетичної політики та програми енергоефективності, забезпечення діяльності підрозділів енергоменеджменту, оптимізацію планування витрат; аналіз та верифікацію показників, проведення енергетичних обстежень, моніторинг умов мікроклімату, енергетичну оцінку будівель, розробку заходів з енергозбереження з урахуванням технічних, економічних та екологічних показників та ін. Як показав досвід, створення умов та інструментальної бази для науково-дослідницьких робіт, залучення наукового потенціалу університету та студентів відповідних спеціальностей до виконання енергообстежень на базі об'єктів КПІ дозволяє підвищити якість освітніх послуг і зацікавленість кінцевих споживачів.

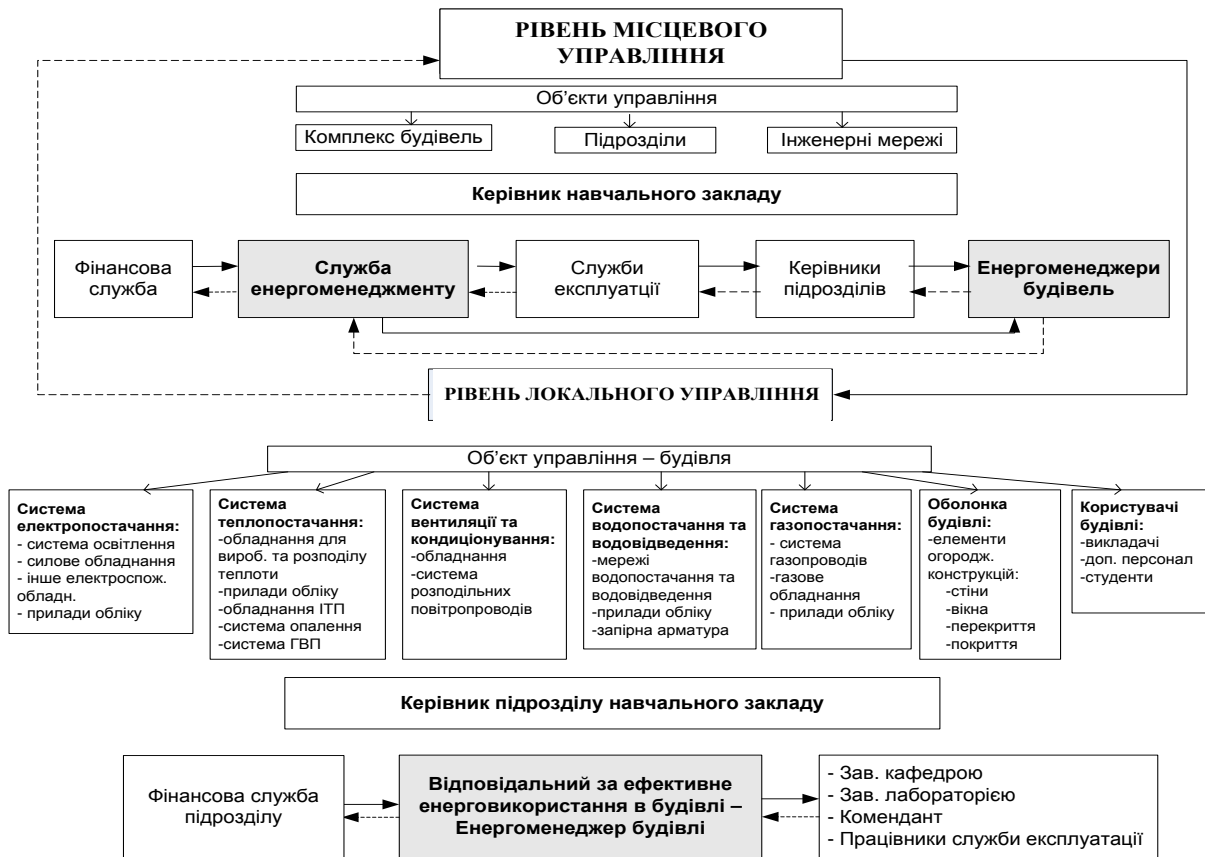


Рис.1 Дворівнева система енергоменеджменту КПІ ім.Ігоря Сікорського

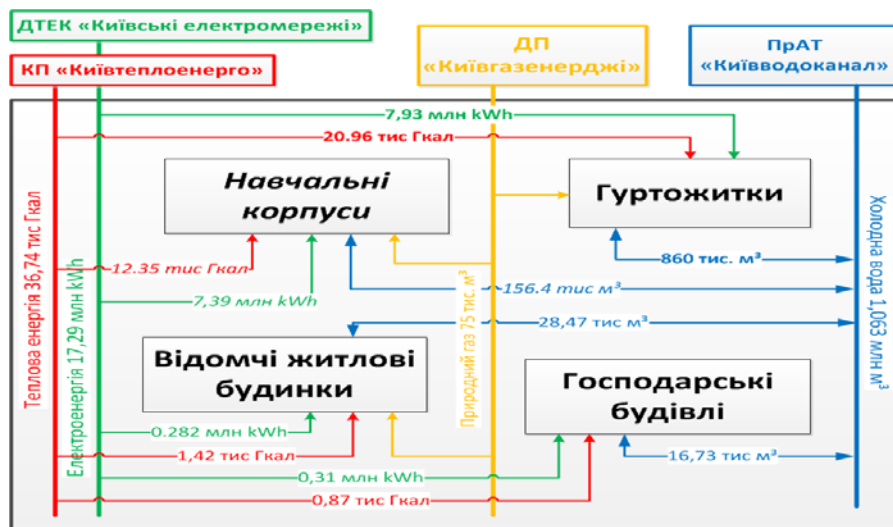


Рис. 1. Розподіл енергетичних потоків між споживачами КПІ ім. Ігоря Сікорського

Енергетичні обстеження будівель. Залучення інвестицій на комплексну термомодернізацію будівель неможливе без проведення якісного енергообстеження з визначенням енергетичних характеристик та розробкою економічно доцільних енергозберігаючих заходів. Під час викладання спеціальних дисциплін студенти ІЕЕ мають змогу виконувати експериментальні дослідження на реальних об'єктах, а переддипломну практику проходять у СЕМ. В ході досліджень під керівництвом викладачів та Голови Служби студенти:

- збирають вихідні дані по будівлі (характеристики огорожень, інженерних мереж та джерел енергії, режими експлуатації) та розраховують геометричні, теплотехнічні та енергетичні показники;
- визначають фактичне, базове (приведене до стандартних погодних умов та умов дотримання внутрішнього мікроклімату) та нормативне теплоспоживання та аналізують розподіл енергетичних та грошових витрат (рис.3);
- виконують інструментальні вимірювання та досліджують у зимовому та літньому режимах: теплові потоки на зовнішніх огороженнях, освітленість на робочих поверхнях, температуру поверхонь огорожень та температуру внутрішнього повітря, вологість повітря та концентрацію CO₂ (табл. 1, 2);
- виконують тепловізійну зйомку (під час опалювального періоду, рис.4);
- складають температурні карти (рис. 5,6) та за допомогою пірометра виконують виміри температури стояків та опалювальних пристроїв, аналізують ефективність роботи системи опалення будівель;
- досліджують ефективність роботи теплових пунктів будівель з вивченням характеристик обладнання, схеми підключення до теплових мереж міста та аналізом нормативного та фактичного теплового потоку, температурного графіку та витрат;
- розробляють енергетичний сертифікат будівлі Display (рис. 7);
- уточнюють перелік обладнання, що споживає енергію та складають баланси;
- пропонують економічно обгрунтовані заходи з енергозбереження (табл.3).

Таблиця 1

Параметри повітря під час занять у корпусі №5 (виміри 15.05.19)

Аудиторія	Фактична кількість людей	Температура зовнішнього повітря, °С	Температура внутрішнього повітря, °С	Вологість внутрішнього повітря, %	Концентрація CO ₂ , ppm
1	36	27	29,6	53	1350
2	20		29,3	50	1200
3	70		29,5	55	1700
4	50		29,0	51	1570

Таблиця 2

Нормативні параметри повітря в аудиторіях

Параметр		Нормативне значення
Температура повітря	Влітку	26 °С
	Взимку	19/20 °С
Вологість повітря	Для осушення	70%
	Для зволоження	20%
Концентрація CO ₂		800 ppm



Рис. 2. Аналіз споживання енергії та води навчальним корпусом №18
 а – холодна вода (на 1 особу), б – тепла енергія, в – електроенергія

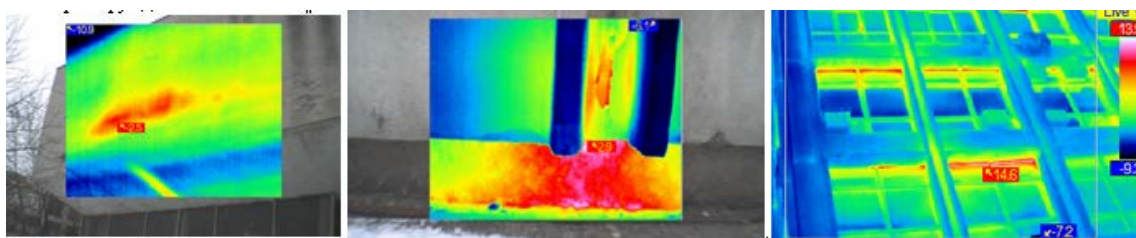


Рис. 3. Термографічне дослідження корпусу №18

- а-тепловтрати через конструктивні шви огорожень (містки холоду);
- б - тепловтрати через тріщини та оголення арматури, а також через фундаментні плити;
- в - тепловтрати за рахунок інфільтрації через нещільності віконних конструкцій

Температурна карта будівлі – один з інструментів, що використовують енергоменеджери у своїй діяльності для аналізу ефективності роботи системи опалення (синій колір - 16°C; блакитний - $16\div 18^{\circ}\text{C}$; зелений – $19\div 20^{\circ}\text{C}$). При цьому середня фактична внутрішня температура приміщень визначена як середньозважена по об'єму будівлі за формулою:
$$t_{\text{вн}} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i \cdot t_{\text{вн}i})}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

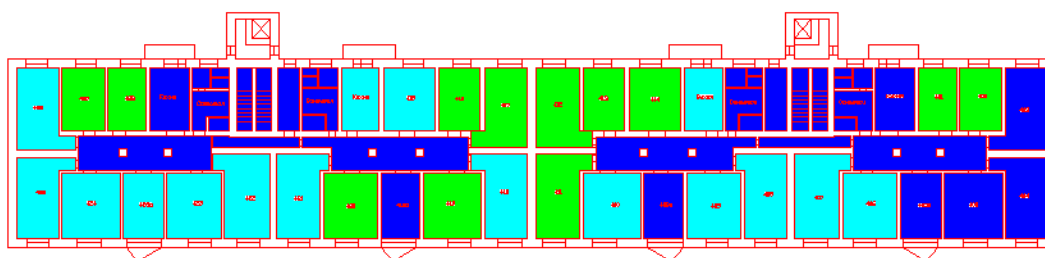


Рис. 4. Температурна карта 2-го поверху гуртожитку №16 (при $t_{\text{зовн}} = +1^{\circ}\text{C}$)



Рис. 5. Температурна карта 1 поверху корпусу №18 (при $t_{\text{зовн}} = -2^{\circ}\text{C}$)

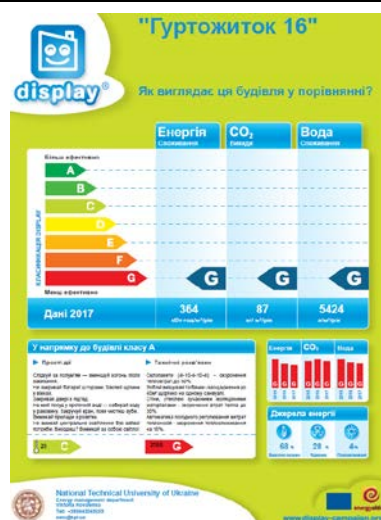


Рис. 6. Енергетичний сертифікат Display будівлі 16 гуртожитку КПП

Таблиця 3

Таблиця показників заходів з енергозбереження у гуртожитку №16

№ з/п	Назва рекомендованого заходу	Капітальні інвестиції (тис. грн.)	Економія (тис. грн. на рік)* *з урах. експл. витрат	Простий термін окупності (років)	NPV (тис. грн.)	IRR (%)
1	Модернізація ГПП	700	228,11	3,07	2231	32%
2	Утеплення стін	3675	300,28	12,24	183	3%
3	Заміна вікон	2251,5	291,98	7,71	1500	10%
4	Утеплення даху	847,8	103,92	8,16	487	9%
5	Заміна ламп розжарювання на енергозберігаючі	12,39	114,4	0,11	1458	923%
6	Заміна люм. ламп ЛБ-40 на енергозберігаючі люм. лампи TLD-36	47,34	22,7	2,09	244	48%
7	Датчики руху в коридорах	30,6	33	0,93	393	108%
8	Чистка труб опалення	100	106,17	0,94	1264	106%
9	Модернізація сантехніки	452	245,28	1,84	2700	54%
	СУКУПНІ ПОКАЗНИКИ	8116,63	1445,84	5,61	10461	16%

Наукові дослідження на будівлях КПП ім. Ігоря Сікорського. Також на об'єктах кампусу КПП із застосуванням спеціалізованих програмних продуктів (SolidWorks, Fluent, EnergyPlus, DesignBuilder, Retscreen, Display, Statistica ін.) виконано ряд науково-дослідних робіт, присвячених:

- моніторингу та аналізу енергоспоживання фонду будівель;
- моделюванню теплових режимів приміщень з урахуванням теплових надходжень, різних джерел енергії та режимів експлуатації;
- моделювання теплових потоків з огорожень складної форми;
- прогнозуванню тепло-, енергоспоживання;
- розробці пакету енергозберігаючих заходів та їх економічній оцінці та ін.

В подальшому на базі Меморандуму про співпрацю між КПІ ім. Ігоря Сікорського, ВГО «Українська Федерація Індустрії Безпеки», ВГО «Український Союз пожежної та техногенної безпеки» та Громадською спілкою «ХАЙ ТЕК ОФІС Україна» в рамках проекту «Розумна мережа» планується створення центру компетенцій для моделювання, відтворення, розробки та впровадження розумної енергомережі на рівні систем розподілу енергії. Це передбачає проведення комплексної реновації пілотних будівель з забезпеченням показників ефективності; створення автоматизованого комплексу програмного та технічного забезпечення для:

- дистанційного обліку споживання ПЕР (тепло, ГВП, вода, електроенергія);
- збору інформації про аварійні ситуації;
- бази даних температур повітря всередині приміщень;
- створення автоматизованого робочого місця енергоменеджера
- створення автоматизованої просторової карти університету на базі ArcGIS.

Крім того, даний автоматизований комплекс може виступати одночасно дослідним майданчиком для проведення науково-дослідних робіт та впровадження інноваційних продуктів щодо моніторингу та управління енергоспоживанням з метою підвищення рівня енергоефективності. Для реалізації даного проекту доцільно залучити науковий потенціал закладу освіти, студентів та зацікавлені організації.

Висновки. У статті узагальнено досвід створення та функціонування в КПІ ім. Ігоря Сікорського системи енергоменеджменту, що інтегрована в загальну управлінську діяльність університету. Показано сферу залучення громади університету до виконання його енергетичної політики та перспективи розвитку енергоефективного кампуса КПІ в рамках проекту «Розумна мережа».

Література

1. Управління ефективністю енерговикористання у вищих навчальних закладах: монографія / І.Ю.Білоус, В.І.Дешко, І.О.Суходуб, Шевченко О.М., Шовкалюк М.М. – К.: Політехніка, 2015. – 188 с.
2. Типове положення про запровадження енергетичного менеджменту в навчальних закладах та установах МОНУ. – К.: НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2009 – 14с.
3. Розен В.П. Энергетический мониторинг зданий высших учебных заведений / В.П. Розен, В.Ф. Ткаченко // Проблемы региональной энергетики. Кишинев, 2013. – № 2. – с. 108–112.
4. Дешко В.І. Тепловий аудит будівель як обов'язкова складова системи енергетичного менеджменту / В.І. Дешко, О.Ю. Майстренко, В.Я. Євтухов та ін. // Новини енергетики. – №9. – 2011. – с.41-47.
5. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні

References

1. Bilous I.Yu., Dushko V.I., Sukhodub, O.M., Shevchenko I.O., Shovkaliuk M.M. (2015) *Upravlinnia efektyvnosti enerhovikorystannia u vyshchikh navchalnykh zakladakh: monohrafiia*. [Energy efficiency management in higher education institutions: monograph]. Kyiv: Politekhnika [in Ukrainian].
2. Typove polozhennia pro zaprovadzhennia enerhetychnoho menedzhmentu v navchalnykh zakladakh ta ustanovakh MONU (2019) [A typical provision for the implementation of energy management in educational establishments and institutions of MESU]. Kyiv [in Ukrainian].
3. Rozen V.P., Tkachenko V.F. (2013). Enerhetycheskyi monytorynh zdanyi vysshikh uchebnykh zavedenyi [Energy monitoring of buildings of higher educational institutions]. *Problemy rehyonalnoi enerhetyky – Problems of regional energy*, 2, 108–112 [in Russianian].
4. Dushko V.I., Maistrenko O.Yu., Yevtukhov V.Ya. (2011). Teplovyi audyt budivel yak обов'язкова складова systemy enerhetychnoho menedzhmentu [Thermal audit of buildings as a mandatory component of the energy management system]. *Novyny enerhetyky – Energy News*, 9, 41–47 [in Ukrainian].
5. Metodyka provedennia enerhetychnoho audytu zakladiv

положення. Порядок проведення. – К.: НТУУ «КПІ» ІЕЕ, 2009. – 74с.

6. Свідоцтво авторського права на науковий твір "Положення про систему мотивації ошадливого енерговикористання підрозділами ВНЗ", №55959 від 06.08.2014р.

7. Євтухов В.Я. Інформаційна та мотиваційна складові системи енергетичного менеджменту об'єктів галузі освіти / Євтухов В.Я., Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М. // Новини енергетики. – 2018. – №5. – с.10-23.

8. Дешко В.И. Моделирование теплового состояния помещений при изменении режимных параметров отопления / В.И.Дешко, М.М.Шовкалюк, А.В.Ленькин // Промышленная теплотехника. Т.31, №6. – 2009. – с.75-80.

9. Басок Б.И. Особенности теплоснабжения административных зданий в отопительный период / Б.И. Басок, Б.В. Давиденко, С.М. Гончарук, О.Н.Лысенко, А.А. Лунина, А.И. Тесля, А.Н. Недбайло, М.В. Ткаченко// Керамика: наука и жизни – 2011. – №4(14). – С. 59-68.

10. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

osvity. Zahalni polozhennia. Poriadok provedennia [Methods of conducting energy audits of educational institutions. Terms. The order of holding]. Kyiv [in Ukrainian].

6. Cvidotstvo avtorskoho prava na naukovyi tvir «Polozhennia pro systemu motyvatsii oshchadlyvoho enerhovykorystannia pidrozdilamy VNZ» [Certificate of copyright for the scientific work «Regulations on the system of motivation of economical energy use by departments of higher education institution»], №55959 from 06.08.2014. Kyiv [in Ukrainian].

7. Yevtukhov V.Ya., Deshko V.I., Shovkalyuk M.M., Shevchenko O.M. (2018). Informatsiina ta motyvatsiina skladovi systemy enerhetychnoho menezhmentu ob'iektiv haluzi osvity [Information and motivational components of the energy management system of objects of education]. *Novyny enerhetyky – Energy News*, 5, 10–23 [in Ukrainian].

8. Deshko V.I., Shovkaliuk M.M., Lenkin A.V. (2009). Modelyrovanye teplovoho sostoiannya pomeshchenyi pry yzmenenyy rezhymnykh parametrov otopleniya [Simulation of the thermal state of rooms when changing heating parameters]. *Promyshlennaia teplotekhnika – Industrial Heat Engineering*, Vol. 31, 6, 75–80 [in Russianian].

9. Basok B.I., Davidenko B.V., Goncharuk S.M., Lysenko O.N., Lunina A.A., Teslya A.I., Nedbaylo A.N., Tkachenko M.V. (2011). Osobennosti teplosnabzheniya administrativnykh zdaniy v otopitelnyy period [Features heating office buildings in the heating period]. *Keramika: nauka i zhizni – Ceramics: Science and Life*, 4(14), 59-68 [in Ukrainian].

10. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. (2002). Matematycheskoe modelyrovanye y optymyzatsiya teplovoi efektyvnosti zdanyi [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow [in Russianian].

OLENA SHEVCHENKO

Scopus Author ID: 55839779200

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9304-5432>

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

SHOVKALIUK MARYNA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1898-3493>

Department of Thermal Engineering and Energy Saving
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ КАМПУС КПИ: ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ШЕВЧЕНКО Е. Н., ШОВКАЛЮК М. М.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игора Сикорского»

Цель. Создание и развитие организационной структуры для управления энергопотреблением студенческих городков и повышения ответственного поведения потребителей за счет их вовлечения в операционную деятельность.

Методика. Рассматриваются инженеринговые аспекты формирования системы энергоменеджмента для различных типов конечных потребителей. Применяются общенаучные

методы анализа и синтеза, специфические методы (группировка, сравнение, обобщение), технико-экономический анализ, экспериментальные методы.

Результаты. Уменьшение общего потребления энергетических ресурсов, а также денежных затрат на их оплату; создание инструментальной базы для научно-исследовательских работ; повышение качества предоставления образовательных услуг, привлечение студентов к выполнению энергетических обследований.

Научная новизна. Развито комплексный подход к углубленному анализу и планированию энергопотребления, усовершенствована процедура оценки энергетической эффективности зданий с учетом температурно-погодных и эксплуатационных факторов.

Практическая значимость. Представлены предложения по созданию энергоэффективного кампуса с использованием современных технологий и инновационных решений энергообеспечения, энергомониторинга, энергоменеджмента. Просветительская цель проекта - привлечение студентов к процессу создания и реализации реальных инновационных проектов энергообеспечения на примере кампуса, где они учатся. Это позволит создать среду, с комфортными условиями для проведения исследований, обучения и жизни. Реализация комплексного проекта «Умная сеть» позволит показать, как можно создать на основе существующего старого фонда зданий современную энергоэффективную площадку с использованием современных технологий и инновационных решений энергообеспечения, энергомониторинга, энергоменеджмента.

Ключевые слова: энергопотребление, кампус, студгородок, энергетическая эффективность, здания.

KPI ENERGY EFFICIENT CAMPUS: TOOLS AND RESEARCH METHODS SHEVCHENKO O.M., SHOVKALIUK M.M.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Purpose. Creation and development of organizational structure for managing campus energy consumption and enhancing responsible consumer behavior through their involvement in operational activities.

Methods. The engineering aspects of an energy management system formation for various types of end consumers are considered. General scientific methods of analysis and synthesis are used, specific methods (grouping, comparison, generalization), technical and economic analysis, experimental methods.

Results. Reducing the total consumption of energy resources, as well as cash costs for their payment; creation of a tool base for research work; improving the quality of educational services, engaging students in energy audits.

Scientific novelty. An integrated approach to in-depth analysis and planning of energy consumption was developed, the procedure for assessing the energy efficiency of buildings taking into account temperature, weather and operational factors was improved.

The practical significance. Proposals for creating an energy-efficient campus using modern technologies and innovative solutions for energy supply, energy monitoring, energy management are presented. The educational goal of the project is to attract students to the process of creating and implementing real innovative energy supply projects using the example of the campus where they study. This will create an environment with comfortable conditions for research, education and life. Realization of the complex project "Smart Network" will show how it is possible to create a modern energy efficient platform based on the existing old building stock using modern technologies and innovative solutions of energy supply, energy monitoring, energy management.

Keywords: energy consumption, campus, campus, energy efficiency, buildings.