

Д.С. Карпенко, аспірант, В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.  
В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З  
ВОДЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Проведено комп'ютерне моделювання фотоелектричної сонячної системи з охолодженням, в програмному забезпеченні SolidWorks 2014. Виконано регресійний аналіз, і отримані функціональні залежності корисної теплової та електричної потужностей, потужності приводу насоса для подачі води і енергетичної характеристики системи від витрати охолоджуючої води. Визначена сумарна корисна потужність системи при оптимальній витраті охолоджуючої води.

**Ключові слова:** фотоелектрична сонячна система, фотоелектричний елемент, система охолодження, електрична та тепла потужність.

Надійшла 22.02.2016

Received 22.02.2016

УДК 621.3:658:26

М.М. Шовкалюк, канд. техн. наук, доц.; І.О. Суходуб, канд. техн. наук, ст. викл.; О.О. Войналович  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ЧЕРЕЗ ПІДЛОГУ ЗАЛЕЖНО  
ВІД АРХІТЕКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬ

В статті розглянуто актуальне питання аналізу теплових втрат через підлогу, за новими методиками розрахунку, впровадженими в Україні з урахуванням європейських вимог стосовно енергоефективності будівель. Розроблені математичні моделі для аналізу теплових потоків через підлогу різних типів та виконано оцінку впливу вагомих факторів на тепловий потік через огороження, що сполучаються з ґрунтом.

**Ключові слова:** теплові втрати, підлога, ґрунт, будівлі.

**Вступ**

Потенціал енергозбереження, за умови впровадження енергозберігаючих заходів згідно сучасних вимог [1] в будівлях, є суттєвим. Тому актуальним питанням є аналіз особливостей розрахунків тепловтрат через окремі огорожувальні конструкції. Останнім часом в Україні швидкими темпами розвивається нормативна база у сфері енергетики. Зокрема, було розроблено національну методику розрахунку [2] на базі стандарту [3] з урахуванням директиви ЄС [4]. Методики [2] дещо відрізняються від класичного теплотехнічного розрахунку та підходів, які використовувалися фахівцями України для визначення потреби будівель в енергії і теплових потоків через окремі огороження. Вивчення особливостей нових підходів до розрахунку теплоспоживання будівель є необхідним і актуальним завданням.

**Мета та завдання**

Метою дослідження є аналіз теплових втрат через огорожувальні конструкції, а саме – підлогу різних типів – на ґрунті, над підвалом, цокольне приміщення. В основу дослідження було покладено розгляд двох методичних підходів до розрахунку тепловтрат через підлогу: теплотехнічний розрахунок [5] і методика за європейським стандартом [3]. Розроблені математичні моделі дозволять виконати аналіз впливу архітектурних особливостей будівель на теплові потоки через огороження, що сполучаються з ґрунтом.

**Матеріал і результати досліджень**

Головною відмінністю двох методичних підходів, які розглядаються, є те, що згідно з класичною методикою [5] для визначення втрат теплоти через підлогу на ґрунті виконується спрощений розрахунок, який не включає багато параметрів.

Наприклад, втрати теплоти через підлогу, розташовану на ґрунті, підраховуються по зонах з урахуванням відстані зон від зовнішніх стін:

$$Q = \left( \frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3} + \frac{F_4}{R_4} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})$$

де  $R_1, R_2, R_3, R_4$  - термічний опір відповідно першої, другої, третьої і четвертої зон,

$t_{\text{вн}}, t_{\text{зовн}}$  - відповідно температури внутрішнього та зовнішнього повітря.

Смуга підлоги шириною 2 м, паралельна лінії зовнішньої стіни, називається зоною. Найближча до зовнішньої стіни зона вважається першою, подальші - другою і третьою, а вся решта частини підлоги — четвертою. Частина площі першої зони (2×2 м), яка прилягає до кута зовнішніх стін, має підвищені тепловтрати і враховується двічі.

Методика згідно європейських стандартів [2, 3] включає в себе детальний розрахунок тепловтрат через підлогу. Цей розрахунок включає велику кількість параметрів, які впливають на тепловий потік. Згідно [2] тепловтрати через підлогу можна розрахувати для трьох типів підлог: підлоги на ґрунті, підлоги цокольного поверху та підлоги над технічним підпіллям.

Згідно методики [2] авторами було побудовано моделі для трьох типів підлог в програмному забезпеченні MathCad. Нижче у якості прикладу представлено блок-схему алгоритму розрахунку теплових втрат через підлогу на ґрунті. Аналогічні моделі розроблено і для інших типів підлоги: над технічним підпіллям та для цокольного поверху.

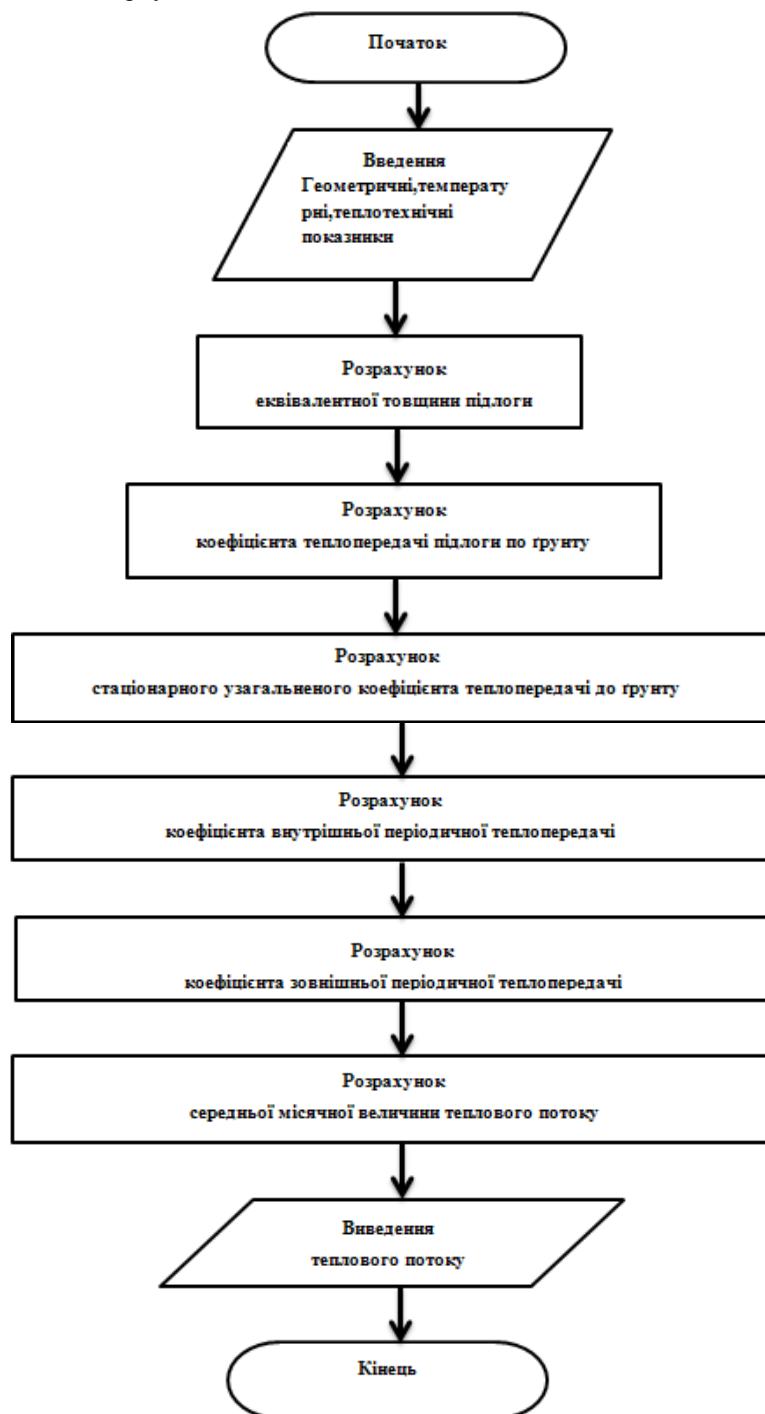


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму розрахунку тепловтрат через підлогу на ґрунті

Головними відмінностями між трьома розробленими моделями є методика визначення стаціонарного узагальненого коефіцієнта теплопередачі трансмісією до ґрунту. Наприклад, для підлоги на ґрунті враховуються такі показники: площа підлоги, зовнішній периметр підлоги, лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкції підлоги із зовнішньою стіною та коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту. Для підлоги цокольного поверху цей коефіцієнт ще враховує коефіцієнт теплопередачі та висоту стін, що контактують з ґрунтом. Для підлоги над технічним підпіллям до розрахунку стаціонарного узагальненого коефіцієнта теплопередачі ще включаються такі параметри як: еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем, коефіцієнт теплопередачі перекриття над технічним підпіллям (між внутрішнім середовищем та простором технічного підпілля), висота від відмітки ґрунту до верхньої відмітки перекриття над технічним підпіллям, площа вентиляційних отворів по периметру підпільного простору, середня швидкість вітру, ступінь вітрозахисту.

Виконано серію розрахунків та проведено аналіз впливу різних факторів на величину тепловтрат. Нижче представлені результати розрахунків для різних типів підлог. У якості базового варіанту для дослідження обрано будівлю гуртожитку №16 ІЕЕ НТУУ «КПІ», для якої зібрана інформація стосовно площі підлоги, складу перекриттів та ін. Далі в ході дослідження аналізувалося, як вплинуть на тепловтрати характеристики підлоги.

Розрахунки виконувалися для підлоги без утеплення і підлоги, що відповідає сучасним вимогам згідно [1]. Результати наведено на рис. 2.

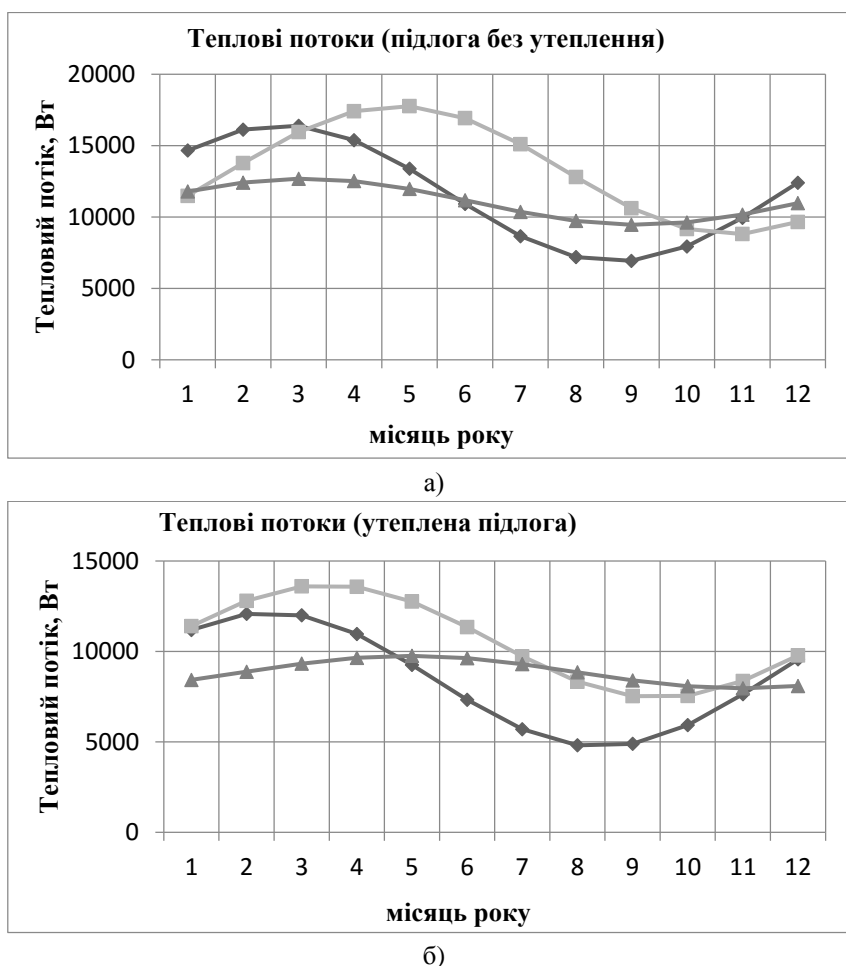


Рисунок 2 – Тепловтрати підлоги по місяцям, Вт:

◆ Підлога на ґрунті    ■ Цокольний поверх    ▲ Підлога над техпідпіллям

а – теплові потоки для підлоги без утеплення, б – теплові потоки для утепленої підлоги

Далі розглянемо питомі усереднені значення теплового потоку для різних типів підлоги (утепленої та не утепленої), результати наведено на рис.3.

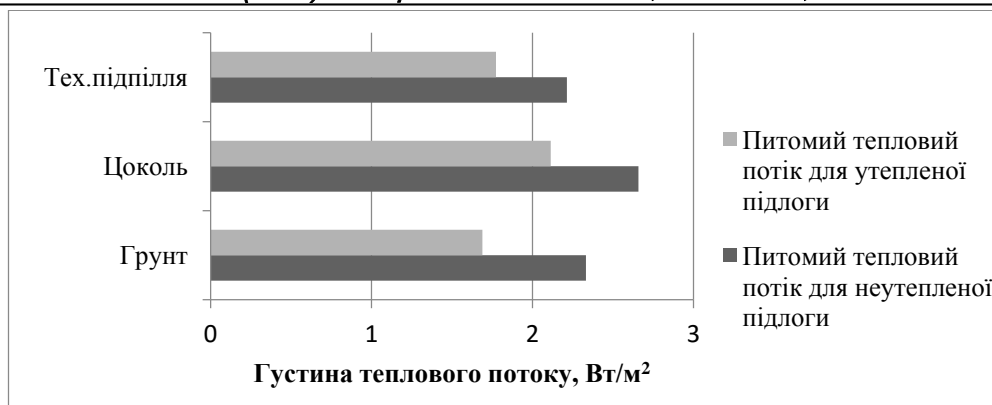


Рисунок 3 – Порівняння усередненого значення густини теплового потоку

Також була розроблена математична модель за допомогою CFD пакету. Схему приміщення та теплових потоків через огороження, що розглядалося під час моделювання, показано на рисунку 4.

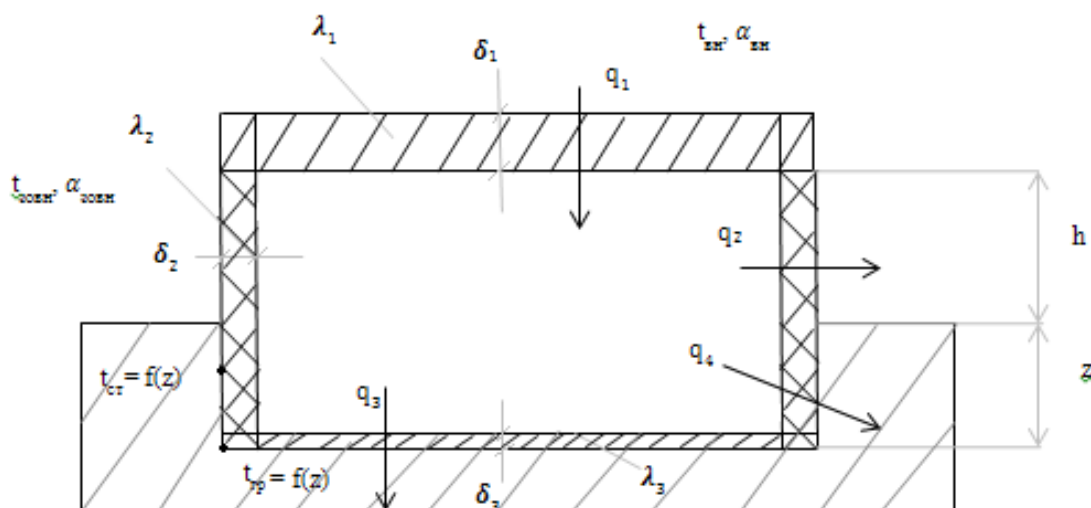


Рисунок 4 – Модель підлоги з заданими параметрами

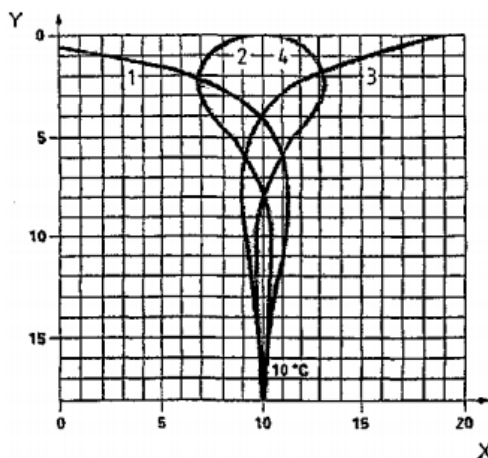
Об'єкт дослідження – будівля з розмірами в плані 100м×50м з підлогою, розташованою над технічним підпіллям. На поверхні підлоги задаються граничні умови III-го роду ( $t_{\text{вн}}=18^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha_{\text{вн}}=8,7\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ). Підлога складається з 3 шарів: залізобетон, цементно-піщана стяжка, паркет (дуб). Для моделювання підлога задавалася з урахуванням еквівалентного опору теплопередачі з відповідними параметрами: товщиною  $\delta$ , м; коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К).

Підлога в технічному підпіллі, що сполучається з грунтом – цементно-піщана стяжка з наступними параметрами: товщина  $\delta$ , м; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К). Підлога на ґрунті має заглиблення стін  $z$ .

Для ділянки стіни від відмітки ґрунту до верхньої відмітки перекриття над технічним підпіллям задавалися граничні умови III-го роду ( $t_{\text{зовн}}=-22^{\circ}\text{C}$ , та  $\alpha_{\text{зовн}}=23\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ). Конструкція зовнішніх огорожень в технічному підпіллі описана тими ж теплотехнічними параметрами, склад стін – бетон.

Температура ґрунту змінюється залежно від заглиблення. На рис. 5 представлений графік залежності зміни температури ґрунту по глибині залягання ґрунту.

Для отримання залежності зміни температури ґрунту по глибині залягання стіни підвалу були розроблені поліноміальні рівняння для різних місяців року. Під час моделювання враховувалася залежність для лютого (рис. 6). Температура на зовнішній поверхні даного огороження приймалася рівною температурі ґрунту, яка, в свою чергу, змінюється по висоті залягання огороження.



Y – глибина, м; X – температура навколишнього ґрунту на горизонтальному рівні, °C;  
 1 – температурна крива на 01 лютого; 2 – температурна крива на 01 травня; 3 - температурна крива на 01 серпня; 4 – температурна крива на 01 листопада

Рисунок 5 – Графік залежності зміни температури ґрунту по глибині залягання [6]

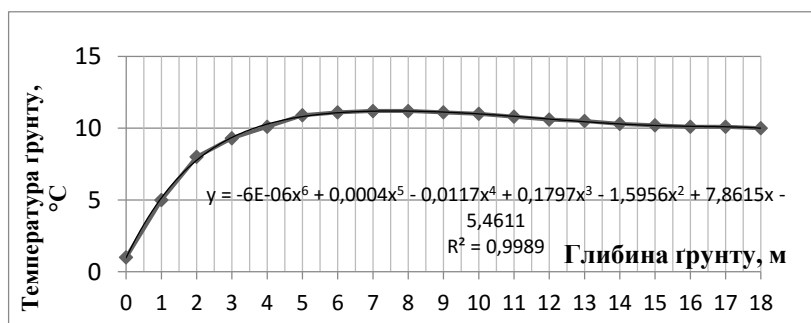


Рисунок 6 – Поліноміальна залежність температури ґрунту від глибини залягання ґрунту

Для вертикальних огорожень технічного підпілля задавалася висота стін від ґрунту до верхньої відмітки перекриття. За результатами CFD моделювання з теплового балансу визначалася температура в технічному підпіллі ( $t_{air}$ ).

На рисунку 4 схематично зображено теплові потоки ( $q_1-q_4$ ) через різні огороження.

Модель розбита розрахунковою сіткою на шестигранні елементи. Чутливість моделі до ступеня подрібнення сітки була перевірена для декількох сіток з кількістю розрахункових елементів від 80 тис. до 800 тис., основні розрахунки проводились на сітці з кількістю елементів приблизно 200 тис., що забезпечувало прийнятну швидкість та точність розрахунків. Було здійснено серію розрахунків з метою оцінки впливу різних факторів на теплові потоки різних елементів конструкції моделі.

В табл. 1 представлені результати розрахунків густини теплового потоку різних ділянок огорожень підвального приміщення та температури в технічному підпіллі в залежності від зміни температури зовнішнього повітря.

Таблиця 1 – Зведена таблиця результатів CFD моделювання.

№ потоку	$t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$		$t_{зовн} = -5^{\circ}\text{C}$		$t_{зовн} = 0^{\circ}\text{C}$		$t_{зовн} = 8^{\circ}\text{C}$	
	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$	$q_i, \text{Вт/м}^2$	$t_{air}, ^{\circ}\text{C}$
1	25,45	7,32	23,46	8,07	21,81	8,74	18,53	10,05
2	-124,93		-51,42		-30,99		0,87	
3	-22,59		-21,58		-20,04		-16,84	
4	2,06		-10,07		-16,05		-26,82	

\*Примітка – густини теплових потоків відносяться до одиниці відповідної поверхні; i – номер потоку.

За теплотехнічним розрахунком [5] густина теплового потоку через підлогу над технічним підпіллям для даної будівлі складе  $28,99 \text{ Вт/м}^2$  ( $t_{зовн} = t_{p.o.} = -22^{\circ}\text{C}$ ), відхилення від результатів, отриманих за допомогою CFD моделювання складає 12%.

За результатами розрахунків за розробленою моделлю в програмному середовищі MathCad за методикою [2] при тій же температурі отримано значення густини теплового потоку  $19,131 \text{ Вт/м}^2$ ,

Відхилення від результатів, отриманих за допомогою CFD моделювання, складає 25%. Проте потрібно зазначити, що методика [2] призначена для визначення середнього значення теплового потоку для кожного місяця року з урахуванням середньостатистичних погодних умов для даної місцевості, тому проводити подібне порівняння не завжди є коректним.

#### **Висновки**

Розроблені математичні моделі, що дозволяють виконувати аналіз теплових потоків через огороження, що сполучаються з ґрунтом, для різних типів підлоги – на ґрунті, над технічним підпіллям, цокольний поверх. Проаналізовано особливості результатів розрахунків, отриманими за різними підходами.

#### **Список літератури**

1. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6- 31:2006. – [Чинний з 01.04.2007]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с. (Державні будівельні норми України).
2. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні / ДСТУ-Н Б А.2.2-12: 2015 [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіон України, 2015, - 199 с
3. EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling – CEN – 162 p.
4. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings – [Електронний ресурс] – Official Journal of the European Union – 23 p. – Режим доступу до сайту: <http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf/>
5. Справочник по теплоснабжению и вентиляции / Р.В.Щекин, С.М. Корневский, Г.Е. Бем и др. – К.: «Будівельник», 1976. – 416 с.
6. Инженерное оборудование будинків та споруд. Проективання систем опалення будівель з тепловими насосами / ДСТУ Б В.2.5-44:2010. – [Національний стандарт України] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 57 с.

**M. Shovkaliuk, I. Sukhodub, O. Voinalovych**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»**

#### **ANALYSIS OF HEAT FLOWS THROUGH THE FLOOR DEPENDING ON ARCHITECTURAL BUILDING FEATURES**

*In the article considered actual question analysis thermal losses through the floor on new techniques calculation, implementations in Ukraine considering European requirements concerning energy efficiency buildings. There have been developed mathematical models to analyze the heat flow through the floor of different types and the estimation of the impact of significant factors on heat flow through fences, combined with soil*

**Key words:** heat loss, floor, ground, buildings.

#### **References**

1. Construction of buildings and structures. Insulation of buildings:DBN V.2.6- 31:2006. – [Chynnyi z 01.04.2007]. – К.: Minbud Ukraine, 2006. – 64 p. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy).
2. Energy efficiency of buildings. The method of calculating the energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water/DSTU-N B A.2.2-12: 2015 [Natsionalnyi standart Ukrainy]– К.: Minrehion Ukrainy, 2015, - 199 p.
3. EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling – CEN – 162 p.
4. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings – [Elektronnyi resurs] – Official Journal of the European Union – 23 p. – Rezhym dostupu do сайту: <http://www.energy.eu/directives/2010-31-EU.pdf/>
5. Directory of District Heating and ventilation / R.V.Shchekyn, S.M. Korenevskiy, H.E. Bem. – К.: «Budivelnik», 1976. – 416 p.
6. Engineering equipment of buildings and structures. Design of buildings heating system with heat pumps / DSTU B V.2.5-44: 2010 [Natsionalnyi standart Ukrainy]– К.: Minrehion Ukrainy, 2010, - 57 p.

**УДК 621.3:658:26**

**М.М. Шовкалюк**, канд. техн. наук, доц.; **І.О. Суходуб**, канд. техн. наук, ст. преп.; **О.А. Войналович**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**

#### **АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ ПОЛ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АРХИТЕКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗДАНИЙ**

*В статье рассмотрено актуальный вопрос анализа тепловых потерь через пол по новым методикам расчета, внедренными в Украине с учетом европейских требований по энергоэффективности зданий. Были разработаны математические модели для анализа тепловых потоков через пол разных типов и выполнена оценка воздействия весомых факторов на тепловой поток через ограждение, соприкасающиеся с ґрунтом.*

**Ключевые слова:** тепловые потери, пол, почва, здания.

Надійшла 20.12.2015

Received 20.12.2015