

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"



**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ THERM**

Методичні вказівки

**до лабораторних занять, курсового та дипломного проектування
з дисципліни "Комп'ютерні технології у будівництві" для
студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"**

ЦНТУ 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Будівельних, дорожніх машин і будівництва"

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ THERM

Методичні вказівки

до лабораторних занять, курсового та дипломного проектування
з дисципліни "Комп'ютерні технології у будівництві" для студентів
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

Ухвалено на засіданні кафедри:

«Будівельних, дорожніх машин і будівництва»

від 23.03.2020 р.

ЦНТУ 2020

Методика розрахунку теплових полів за допомогою програмного комплексу THERM. Методичні вказівки до лабораторних занять, курсового та дипломного проектування з дисципліни "Комп'ютерні технології у будівництві" для студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" всіх форм навчання / Укл.: Пашинський В.А., д.т.н., Яцун В.В. канд.техн.наук, Дарієнко В.В. канд.техн.наук, – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 22 с.

Рецензент: Директор ВАТ Інститут „Міськбудропроект"

член-кореспондент Академії Будівництва України

Костенко Н.М.

Укладачі: Пашинський В.А. д-р.техн.наук, Яцун В.В. канд.техн.наук, Дарієнко В.В. канд.техн.наук .

Методичні вказівки до лабораторних занять, курсового та дипломного проектування з дисципліни "Комп'ютерні технології у будівництві" для студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання, складені викладачами кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва: Пашинський В.А. д-р.техн.наук, Яцун В.В. канд.техн.наук, Дарієнко В.В. канд.техн.наук і включають в себе методику розрахунку теплових полів за допомогою програмного комплексу THERM і дають можливість студенту самостійно оцінити енергетичну ефективність виробу чи конструкції та локальні температури зразка, вирішити питання, пов'язані з конденсацією вологи, зволоженням матеріалу та тепловою надійністю конструкції.

© Методика розрахунку теплових полів
за допомогою програмного комплексу THERM

/Укладачі: Пашинський В.А., Яцун В.В., Дарієнко В.В. 2020.

© РВЛ ЦНТУ, тиражування, 2020 р.

З М І С Т

1	Загальна характеристика програмного комплексу THERM.....	2
1.1	Призначення та можливості програмного комплексу THERM.....	2
1.2	Робочий екран програми THERM	3
1.3	Головне меню та панель інструментів програми THERM.....	4
2	Порядок виконання розрахунків за допомогою програмного комплексу THERM.....	6
2.1	Креслення з використанням "миші"	6
2.2	Робота з бібліотеками матеріалів.....	9
2.3	Робота з бібліотеками граничних умов.....	10
2.4	Перегляд результатів і формування звіту	10
3	Приклади теплотехнічних розрахунків вузлів сполучення огороджувальних конструкцій.....	12
	Рекомендована література	19

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ THERM

1.1 Призначення та можливості програмного комплексу THERM

THERM - сучасна комп'ютерна програма, що функціонує під управлінням сімейств операційних систем Microsoft Windows™. Програма розроблена в Лоуренс Берклі Лабораторії (LBNL) Каліфорнійського університету (США) для використання виробниками будівельних конструкцій, інженерами, педагогами, студентами, архітекторами, і всіма, хто цікавиться вивченням процесу теплопередачі. Використовуючи THERM, можна моделювати двовимірну теплопередачу в частинах будівлі, таких як вікна, стіни, підлоги, дахи та двері. Аналіз теплопередачі за допомогою програми THERM дозволяє оцінити енергетичну ефективність виробу чи конструкції та локальні температури зразка, вирішити питання, пов'язані з конденсацією вологи, зволоженням матеріалу та тепловою надійністю конструкції.

Двовимірний аналіз теплопередачі в програмі THERM заснований на методі скінчених елементів, використання якого дозволяє моделювати складні конфігурації будівельних конструкцій. Графічний інтерфейс програми дозволяє креслити поперечні перерізи конструкцій або їх компонентів для подальшого теплотехнічного розрахунку. Для побудови поперечних перерізів є можливість трасування (обведення) імпортованих файлів формату DXF або растрового формату, безпосереднє викреслювання геометрії конструкції за відомими розмірами засобами THERM, а також імпортування креслень програмного комплексу AutoCAD формату DXF. Поперечний переріз представляється комбінацією багатокутників. Користувач задає властивості матеріалів для кожного багатокутника, властивості середовища навколо конструкції та умови теплообміну між конструкцією й середовищем, визначаючи тим самим граничні умови навколо поперечного перерізу конструкції.

Після формування моделі конструкції, подальші кроки розрахунку (створення розрахункової сітки і розрахунок теплопередачі) виконуються автоматично. Користувач може переглядати результати розрахунку в різній формі, включаючи коефіцієнт теплопередачі (U-фактор), ізотерми, вектори теплового потоку та локальні температури в окремих точках конструкції. Програма дозволяє легко змінювати окремі розрахункові параметри вже створеної моделі, що дозволяє проводити всесторонній аналіз роботи конструкції в різних кліматичних умовах, обирати оптимальні матеріали та розміри елементів тощо.

1.2 Робочий екран програми THERM

При старті програми розкривається робочий екран, в якому користувач редагує схему перерізу конструкції, вибирає необхідні характеристики компонентів (матеріали, їх властивості, граничні умови тощо) і виконує теплотехнічний розрахунок. Вигляд робочого екрану з позначенням його основних компонентів наведено на рисунку 1.

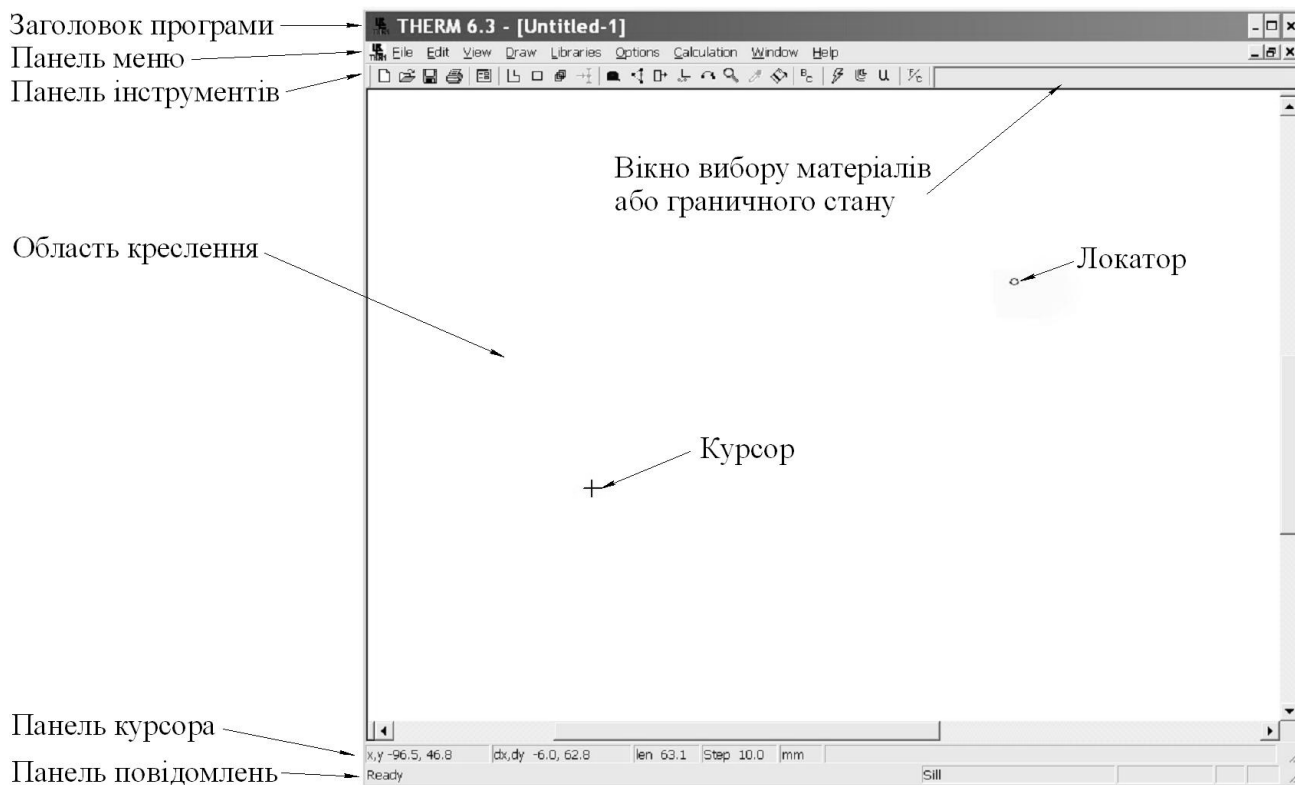


Рисунок 1 Робочий екран програми THERM

Зображений на рисунку 1 робочий екран програми THERM складається з наступних компонентів:

➤ **Заголовок програми** показує назву програми та активного в даний час робочого файлу.

➤ **Панель меню** знаходиться під заголовком програми й містить пункти головного меню, з яких доступні підменю. Через головне меню користувач може встановити опції креслення, задати матеріал і граничні умови, запустити розрахунок задачі. Вибір пунктів меню за допомогою лівої клавіші миші або клавіші Enter викликає активізацію відповідного розділу головного меню з появою набору пунктів підменю.

➤ **Панель інструментів** містить кнопки для найчастіше вживаних операцій, кожна з яких відповідає певному пункту меню. Кнопки активізуються шляхом натискання лівої клавіші миші.

- **Область креслення** – домінуюча частина Робочого екрану (білого кольору), призначена для креслення геометрії перетину.
- **Початок координат** – перехрестя в області креслення, що показує точку ескізу з координатами (0,0).
- **Локатор** – невелике коло, центр якого при старті програми за замовчуванням співпадає з початком координат. Локатор вказує на точку вставки чергового компонента креслення.
- **Панель курсора** надає числову інформацію про поточні координати графічного курсора.
- **Панель повідомлень** інформує про поточну виділену кнопку панелі інструментів або активований пункт меню.

1.3 Головне меню та панель інструментів програми THERM

















Головне Меню програми THERM містить розділи та пункти, зображені на рисунку 2 (умовно всі пункти головного меню зображені "розкритими").

File		Edit		View		Draw	
New	Ctrl+N	Undo	Ctrl+Z	✓ Toolbar		Polygon	F2
Open...	Ctrl+O	Cut	Ctrl+X	✓ Status Bar		Rectangle	F3
Close		Copy	Ctrl+C	Zoom...		Boundary Conditions	F10
Save	Ctrl+S	Paste	Ctrl+V	Zoom to Fit	F7	Fill Void	
Save As...		Delete	Del	Underlay		Insert Point	Shift+F6
Underlay...		Delete All		Grid		Delete Point	Del
Export...		Select All		Crosshair		Edit Points	
Import...		Unselect All		Gravity Arrow		Move Polygon	F11
Properties...		Select Special...		Show Voids/Overlaps		Tape Measure	F8
Report...				✓ Material Colors		Set Drawing Scale	Shift+F8
Page Setup				Set Draw Color		Set Origin	Shift+F7
Print...	Ctrl+P			Set Polygon Border Color		Repeat mode	
Print Preview				Polygon Vertices		Locator	Shift+F2
Print Setup...				✓ Boundary Conditions		Flip	▶
1 Розрахунок будинку				Temperature at Cursor		Rotate	▶
2 Розрахунок панелі				Bad Points		Clear Bad Points	
Exit				Color Legend			

Libraries		Options Calculation		Window	
Set Material	F4	Preferences...		Calculation	F9
Set Boundary Condition	F5	Switch Units		Show Results	
Material Library	Shift-F4			Display Options	Shift+F9
Boundary Condition Library	Shift-F5			Show U-factors	Ctrl+F9
Gas Library	Shift-F6			Calc Manager	
Select Material/Boundary Condition				Add to queue	
Glazing Systems	F6			Stop Current Calculation	
UFactor Names				Glazing Options	
Create Link				Cascade	
Removed Link				Tile	
				✓ 1 Untitled-1	

Рисунок 2 Система меню програми THERM

Таблиця 1 – Опис функцій управління програмою THERM

Кнопка	Опис	Меню/Пункт	Клавіши
	Створити файл	File/New	Ctrl+N
	Відкрити файл	File/Open	Ctrl+O
	Зберегти файл	File/Save	Ctrl+S
	Друк файлу	File/Print	Ctrl+P
	Накреслити полігон	Draw/Polygon	F2
	Накреслити прямокутник	Draw/Rectangle	F3
	Режим повторного креслення	Draw/Repeat mode	
	Ввести точку	Draw/Insert point	Shift+F6
	Виміряти рулеткою	Draw/Tape measure	F8
	Перемістити полігон чи прямокутник	Draw/Move polygon	F11
	Встановити початок координат креслення	Draw/Set origin	Shift+F7
	Змінити установки захвату/приклеювання точки	Draw/Snap settings	F12
	Включити збільшення рисунку	View/Zoom	Підігнати розмір: F7 Збільшити розмір: права клавіша миші Зменшити розмір: Shift+права клавіша миші
	Визначити межі розрахункової області (перерізу)	Draw/Boundary conditions	F10
	Почати розрахунок	Calculation/Calculation	F9
	Переключити систему одиниць (SI<=>IP)	Options/Switch units	

Пункти меню, вказані в зображеному на рисунку 2 переліку, запускають виконання таких дій:

➤ **File [Файл]** – відкриття THERM-файлу з перетином конструкції та подальшим його редагуванням, розрахунком і збереженням. Тут же знаходиться доступ до опцій друку та імпорту кальки (формати DXF та BMP).

➤ **Edit [Правка]** – редагування поточного відкритого THERM-файлу.

➤ **View [Вид]** – зміна опцій креслення (розмір ескізу чи кальки, зміна положення фрагмента чи початку відліку координат тощо).

➤ **Draw [Креслення]** – креслення геометричних фігур, пересування виділених об'єктів і введення додаткових точок.

➤ **Libraries [Бібліотеки]** – доступ до бібліотек матеріалів та граничних умов з можливістю їх використання, редагування та введення нових даних.

➤ **Options [Опції]** – вибір та зміни параметрів розрахунку, налаштувань креслення і систем одиниць (метрична або дюймова).

➤ **Calculation [Розрахунок]** – старт блоку розрахунку CONRAD, який реалізує моделювання теплового режиму заданого перетину конструкції та визначає форму подання результатів розрахунку.

Основні функції управління програмою THERM продубльовані кнопками панелі інструментів та комбінаціями клавіш, вказаними в таблиці 1:

2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ THERM


Для визначення термічного режиму огорожувальної конструкції (побудови двовимірного температурного поля) необхідно виконати таку послідовність дій:

- накреслити схему конструкції;
- задати матеріали елементів конструкції;
- задати граничні умови;
- виконати розрахунок, переглянути результати і сформувані звіт.

Технологія виконання кожного із вказаних етапів розрахунку більш детально описана нижче.

2.1 Креслення з використанням "миші"

Ця методика найбільш прийнятна для використання при трасуванні (обведенні ліній) кальки. При кресленні моделі за заданими розмірами використання клавіатури може бути більш швидким і точним, ніж використання "миші". Розглянемо необхідні кроки при *трасуванні за калькою багатокутника* (полігону).

1. Щоб накреслити перший багатокутник, натисніть кнопку  на панелі інструментів, або використайте пункт меню **Draw/Polygon** [Креслення/Полігон].

2. Виберіть матеріал для багатокутника зі списку матеріалів у правій секції інструментальної панелі.

3. Помістіть курсор в точку області креслення, з якої необхідно почати креслення першого багатокутника.

4. Натисніть ліву клавішу миші, щоб встановити вихідну точку для першої лінії. (THERM сумістить її з найближчою вершиною, якщо використовується DXF-файл).

5. Перемістіть "мишу" в потрібному напрямку по горизонталі чи вертикалі, тоді лінія буде слідувати за "мишею". В кінцевій точці натисніть ліву клавішу миші, після чого THERM накреслить лінію. Нова точка автоматично створюється в кінці відрізка цієї лінії.

6. Наступні сторони багатокутника креслять таким же способом, переміщуючи курсор у кінець чергової сторони та натискаючи ліву клавішу миші, щоб зафіксувати цю точку.

7. Остання сторона багатокутника фіксується подвійним натискуванням лівої клавіші миші, або натискуванням на першу точку багатокутника, або натискуванням клавіші "С", щоб завершити багатокутник.

Виділення багатокутників може здійснюватися такими способами:

➤ Натисканням лівої клавіші "Миші": помістіть курсор "миші" в межах багатокутника, який потрібно виділити, і натисніть ліву клавішу. Якщо багатокутник виділений, його вершини зображаються у формі квадратів.

➤ Ctrl або Shift + ліва клавіші "миші": для виділення декількох багатокутників потрібно утримувати клавішу Ctrl або Shift і вказувати курсором "миші" на потрібні багатокутники.

➤ Tab: при кожному натискуванні клавіші табуляції програма виділяє наступний багатокутник. Це хороший спосіб для виділення дуже малих елементів, які важко виділити безпосередньо "мишею".

Переміщення багатокутників здійснюється такою послідовністю дій:

1. Натиснути "мишею" кнопку  на панелі інструментів, або вибрати в меню команду **Draw/Move polygon** [Креслення/Перемістити].

2. Встановити курсор "миші" всередину багатокутника, який необхідно перемістити. Утримуючи ліву клавішу "миші" затиснутою, перемістити обраний багатокутник у нове положення, після чого відпустити клавішу "миші" для його фіксації в новому положенні.

При необхідності переміщення багатокутника строго вертикально або строго горизонтально, слід при його переміщенні затиснути клавішу Shift.

Видалення багатокутників здійснюється натискуванням клавіші Del, коли на кресленні виділено один чи декілька елементів. З'являється запит на підтвердження видалення; якщо відповісти клавішею Enter, виділені елементи зникнуть. Для відновлення помилково видалених елементів слід натиснути Ctrl+Z або використати команду меню Edit/Undo [Правка/Відміна].

Переміщення точки (вершини багатокутника) в довільному напрямку здійснюється таким чином:

1. Натисніть "мишею" на кнопку панелі інструментів **Edit_Points** [Правка_Точок], або використовуйте пункт меню **Draw/Edit_Points** [Креслення/Правка_Точок], або підведіть курсор миші до точки і виділеного полігону (можливі варіанти в різних версіях програми).

2. Виділіть багатокутник (натискаючи ліву кнопку миші, у той час як курсор встановлений всередині багатокутника) так, щоб його вершини відобразилися у формі квадратів.

3. Перемістіть курсор до переміщуваної точки.

4. Курсор з подвійною стрілкою відображається, коли він знаходиться в межах "липкої" відстані від точки.

5. Використовуйте **Step** [Розмір_Кроку] і клавіші управління курсором [▲▼▶◀], щоб перемістити точку, або тягніть точку з натиснутою лівою кнопкою миші. Лінії, приєднані до точки, переміщуються разом з нею.

6. При необхідності переміщення точки строго вертикально або горизонтально, затисніть клавішу Shift і ліву кнопку миші і переміщайте об'єкт.

Переміщення лінії (сторони багатокутника) здійснюється таким чином:

1. Виділіть багатокутник (натискаючи ліву кнопку миші) так, щоб його вершини відобразилися квадратами.

2. Натисніть лівою клавішею "миші" на кнопку панелі інструментів **Edit_Points** [Правка_Точок], або використовуйте пункт меню **Draw/Edit_Points** [Креслення/Правка_Точок].

3. Помістіть курсор "миші" поверх лінії, яку Ви хочете перемістити; курсор у вигляді чотирьох стрілок з'являється, коли Ви знаходитесь в положенні, що дозволяє перемістити лінію. Зверніть увагу, що Ви повинні бути поза межами "липкої" відстані до будь-яких прилеглих точок, щоб бачити стрілку з чотирма пунктами; використовуйте збільшення розміру, натискаючи праву кнопку миші, якщо відбувається "прилипання" до точок.

4. Коли курсор у вигляді чотирьох стрілок з'явився, утримуйте ліву кнопку миші і тягніть лінію до нового положення, або використовуйте клавіші руху курсора, щоб перемістити лінію на вказану відстань. Коли лінія на місці, відпустіть кнопку миші. Це змусить лінію переміститися, а відповідний багатокутник буде змінений.

При необхідності переміщення відрізка строго вертикально або горизонтально, при його переміщенні "мишею затисніть Клавішу Shift.

2.2 Робота з бібліотеками матеріалів

Програмний комплекс THERM передбачає можливість використання чотирьох типів матеріалів:

- Solid [Тверде тіло];
- Frame Cavity [Порожнина Рами];
- Glazing Cavity [Порожнина в склінні];
- External Radiation Enclosure [Зовнішня випромінююча оболонка].

THERM має фіксований набір зарані визначених матеріалів, які не можуть бути відредаговані (входи заблоковані). Для того, щоб переглянути характеристики цих матеріалів, необхідно відкрити Бібліотеку матеріалів, вибравши в меню пункт **Libraries/Set Material** [Бібліотека/Матеріал], у результаті чого відображається блок діалогу **Material_Definitions** (Завдання_Властивостей). Список угорі блоку **Material_Definitions** дозволяє переглянути встановлені технічні характеристики будь-якого з матеріалів.

Характеристики матеріалів, визначених програмою THERM, можна лише переглядати, оскільки вони захищені від редагування. Інші матеріали можуть додаватися до Бібліотеки Матеріалів та редагуватися пізніше шляхом використання такої послідовності дій:

1. Відкрийте Бібліотеку матеріалів, вибравши в меню пункт **Libraries/Set Material** [Бібліотека/Матеріал], у результаті чого відображається блок діалогу **Material_Definitions** (Визначення_Властивостей).

2. Щоб задати новий матеріал, натисніть на кнопку **New** [Новий]. Щоб змінити характеристики раніше заданого Вами матеріалу, оберіть його в списку матеріалів і змініть необхідні параметри.

3. Надрукуйте назву нового матеріалу, якої немає в Бібліотеці, і натисніть на кнопку ОК.

4. Тепер поля діалогу **Визначення_Властивостей** доступні для редагування. Набір полів для редагування залежить від **Material Type** [Тип Матеріалу], який Ви обираєте (тверде тіло, порожнину тощо).

5. Натисніть на кнопку **Color** [Колір], щоб вибрати колір для Вашого матеріалу (за замовчуванням синій).

6. Коли Ви задали властивості матеріалу, натисніть на кнопку **Save_Lib_As** [Зберегти_Бібліотеку_як], щоб зберегти матеріал в бібліотеці за замовчуванням [material.lib], для наступного використання.

7. Для **Solid** [Твердого] матеріалу після входу в розділ діалогу **Solid Properties** [Властивості_Твердих_Тіл] необхідно задати такі значення:

➤ **Conducivity** [Теплопровідність] – коефіцієнт теплопровідності в одиницях $\text{CI} - \text{w}/(\text{m} \times \text{K})$;

➤ **Emissivity** [Коефіцієнт випромінювання]. За замовчуванням встановлене значення 0.9.

2.3 Робота з бібліотеками граничних умов

THERM містить власну Бібліотеку граничних умов **Boundary Condition Library**, яка захищені від редагування (вхід заблокований). Якщо Ви не знаходите потрібної граничної умови в списку, її можна додати до Бібліотеки граничних умов шляхом виконання таких операцій:

1. Відкрити Бібліотеку Граничних Умов, вибравши пункт меню **Libraries/Boundary_Condition_Library**; з'явиться блок діалогу **Boundary Conditions** [Граничні Умови]. Попередньо визначені THERM граничні умови не можуть бути відредаговані, але список можна використовувати для перегляду їх характеристик.

2. Щоб задати нову граничну умову, натисніть на кнопку **New** [Нова]. За запитом надрукуйте назву нової граничної умови, якої ще немає в бібліотеці і натисніть на кнопку ОК.

3. Використайте кнопку **Colour** [Колір], щоб задати колір позначення введених Граничних Умов (значення за замовчуванням – синій).

4. У полях блоку **Boundary Conditions** [Граничні Умови] задайте необхідні параметри, визначивши тим самим необхідні граничні умови.

5. Після визначення характеристик граничної умови слід натиснути на кнопку **Save Lib** [Зберегти бібліотеку], після чого вона буде збережена постійно в бібліотеці (за замовчуванням – bc.lib).

2.4 Перегляд результатів і формування звіту

Результати розрахунку теплового поля створеної моделі можуть бути представлені у вигляді:

- U-фактора (коефіцієнта теплопередачі);
- елементної сітки;
- ізотерм;
- зображення векторів теплового потоку;

- градієнтів температур;
- кольорових ліній теплового потоку;
- значень температури - локальних, середніх, максимальної та мінімальної.

Для перегляду результатів розрахунку необхідно в розділі меню **Calculation/Display_options** [Обчислення/Опції_Виду] відкрити блок **Show_results** [Показ Результатів], в якому доступні такі опції:

Опція **Draw results** [Показ результатів] повинна бути включена для видачі результатів у графічній формі.

Секція **Show** [Показати] має кілька опцій, тільки одна з яких може бути включена:

- Finite Element Mesh [скінчено-елементна сітка]
- Isotherms [ізотерми]
- Flux Vectors [зображення векторів теплового потоку]
- Constant Flux Line [градієнти температур]
- Color Flux Magnitude [кольорові лінії теплового потоку]

Show Min/Max Temperatures [Показати Мін/Макс температури] (якщо ця опція включена, то на схемі знаком "x" блакитного кольору відмічається точка з мінімальною температурою і знаком "x" червоного кольору – точка з максимальною температурою

Show elements IDS [Показати Номери Елементів]. При включенні цієї опції вказуються ідентифікаційні номери елементів сітки.

Show Node IDs [Показати Номери Вузлів]. При включенні цієї опції вказуються ідентифікаційні номери вузлів сітки.

Set Screen Font [Встановити екранний шрифт]. Дозволяє вибрати шрифт для графіки THERM, наприклад, шрифт для оцифровки ізотерм.

Show U-factors [U-фактор]. Узагальнений коефіцієнт теплопередачі перерізу можна показати з розділу меню **Calculation/Show U-factors** [Обчислення/U-фактор], або при натисканні клавіш Ctl-F9. Виводиться значення коефіцієнта теплопередачі, а також різниця температур і довжина лінії, вздовж якої він обчислюється.

Temperature at Cursor [Температура в точці Курсора] виводиться після активації цього пункту в меню **View** [Вид]. На окремій панелі в області рисунка надається значення температури в найближчому до позиції курсору вузлі сітки. Значення N/A означає, що курсор перебуває за межами перерізу.

Tape measure Average temperature [Середня Температура на відрізку] дозволяє побачити середню температуру вздовж відрізка прямої лінії, позначеного мірної стрічкою. Функція включається в блоці **Drawing Options** [Опції Креслення] розділу меню Options/preferences [Опції/параметри].

Звіт генерується програмою THERM щоразу при завершенні обчислень. У звіті надається зведення отриманих результатів з перерахуванням матеріалів і властивостей усіх багатокутників, з яких складається розрахована модель. Перегляд звіту та його друк можливі з розділу меню **File/Report** [Файл/Звіт].

3. Приклади теплотехнічних розрахунків вузлів сполучення огорожувальних конструкцій

В якості прикладу розглянемо два варіанти протікання теплових процесів в куті стін будівлі товщиною 510 мм, виконаних з керамічної цегли. Температура зовнішнього повітря дорівнює -18°C , а температура внутрішнього середовища $+18^{\circ}\text{C}$. Першим варіантом конструктивного рішення є кут цегляних стін без додаткового утеплення.

Першим підготовчим етапом є креслення в програмі AutoCAD, схеми конструкції, яка буде розраховуватися, та її збереження у форматі DXF. Це креслення можна також виконати безпосередньо в програмі THERM. Якщо необхідно ввести креслення AutoCAD, слід виконати такі операції:

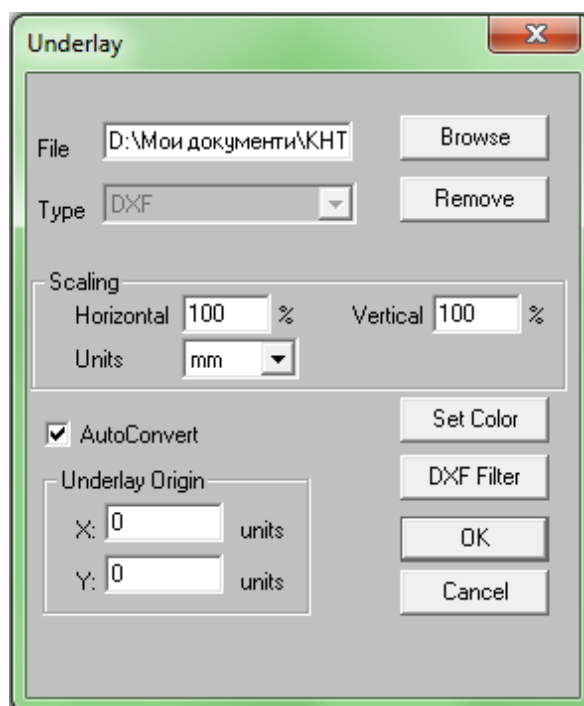



Рисунок 3 Діалогове вікно Underlay [Основа]

- Відкрийте програму THERM. В панелі меню натисніть File/Underlay, відкриється вікно діалогу **Underlay** [Основа], зображене на рисунку 3.
- У вікні натисніть **Browse** [Огляд] і знайдіть раніше збережену схему, виділивши потрібний файл натисніть OK. Упевніться, що значення **Units** [Системи Одиниць] встановлене таким, щоб відповідати системі, в якій DXF

файл був створений. За умовчанням - Британська Система Одиниць (IP), тому, якщо Ви використовуєте кальку, створену в одиницях СІ, упевніться, що Ви переключили це значення. Поставте галочку на AutoConvert (автоматична конвертація) і натисніть ОК.

- Файл завантажено. Наступний крок – обведення схеми. Натисніть на панелі кнопку  і перемістіть курсор у формі хреста до вершини схеми. Натисніть ліву кнопку миші, потім перемістіть курсор іншої вершини. Замкніть полігон, як це показано на рисунку 4.

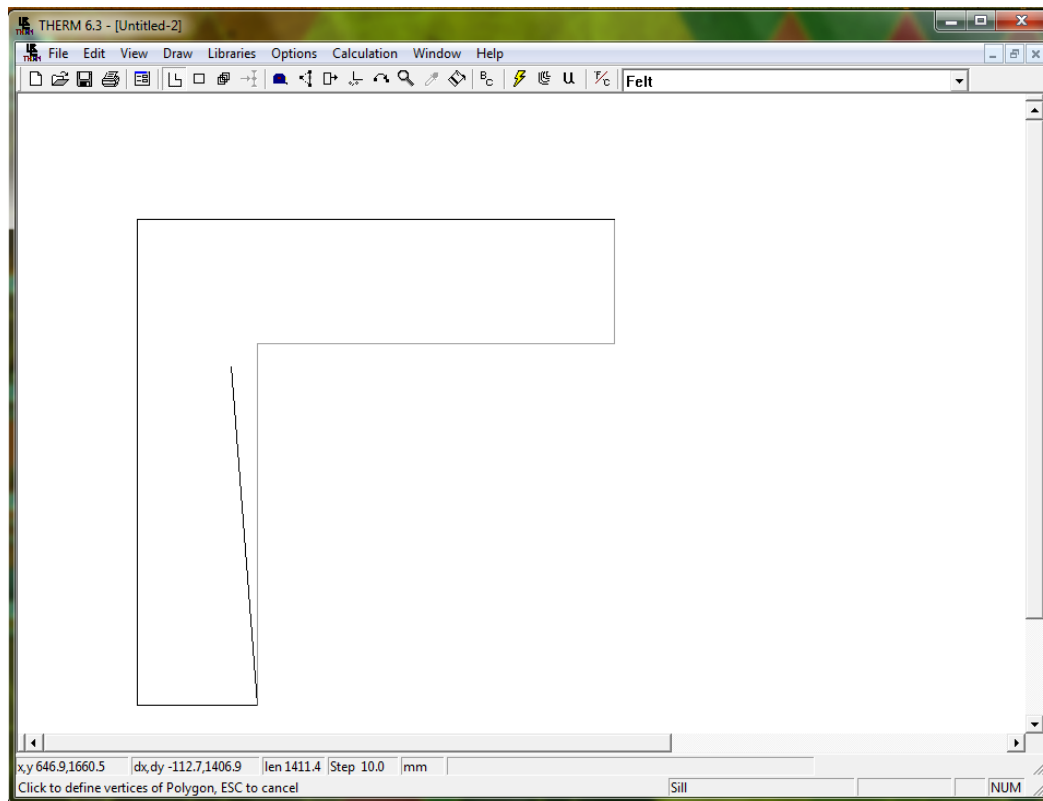


Рисунок 4 Обведення схеми конструкції

- Після того, як багатокутник накреслено, Ви можете задати його матеріал. Натисніть ліву кнопку миші на прямокутнику, він виділиться контуром з точками у вершинах.
- На панелі інструментів натисніть лівою кнопкою миші на вікно матеріалів. Оберіть матеріал який бажаєте задати серед запропонованих чи попередньо створених, наведіть курсор на об'єкт і натисніть ліву кнопку миші. Прямокутник змінить колір на той, який був присвоєний выбраному матеріалу, як це показано на рисунку 5.

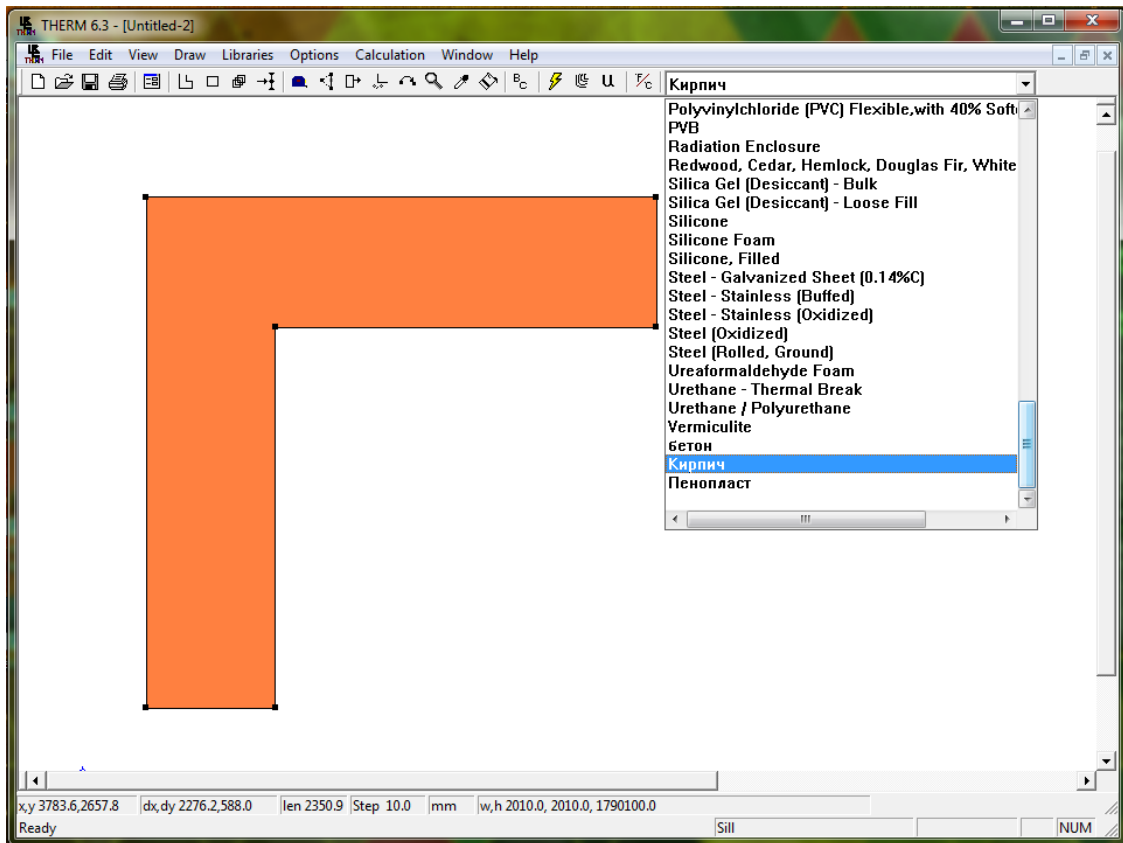



Рисунок 5 Встановлення виду матеріалу

- Перед тим як обрати граничні умови, потрібно натиснути лівою кнопкою миші на , для того щоб визначити межі розрахункової області.
- Після визначення меж розрахункової області слід встановити граничні умови. Наведіть курсор на одну з граней багатокутника, натисніть ліву кнопку миші – виділиться обрана грань. На панелі інструментів натисніть лівою кнопкою миші на вікно граничних умов. Оберіть граничні умови які впливають на конструкцію, лівою кнопкою миші. Такі самі дії потрібно здійснити для кожної з граней, по яких іде теплообмін з середовищем. Виняток становлять грані, на які не поширюються граничні умови (йде адіабатичний процес). Граничні умови можна створювати самостійно, з урахуванням чинників середовища, які впливають на конструкцію.

- Існує декілька варіантів відображення результатів розрахунку, які можна обрати в меню, зображеному на рисунку 8. Для обрання потрібного варіанту потрібно натиснути Shift+F9.

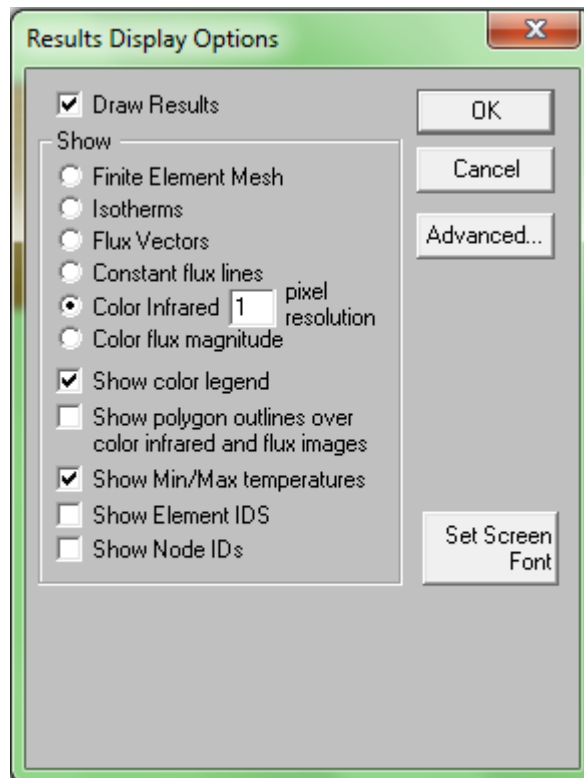


Рисунок 8 Меню налаштування результатів розрахунку

Увімкнутий діалог дає можливість показати результати розрахунку в одній із форм, описаних в підрозділі 2.4. Можна самостійно задати відповідність колір-температура, перейти від однієї форми подання результатів до іншої, визначити максимальну та мінімальну температуру, температури окремих точок тощо. Перелік пунктів цього діалогу наведено в підрозділі 2.4.

На рисунку 9 наведені результати того ж розрахунку в формі зон інфрачервоного випромінювання. Таке подання є орієнтовним, але дозволяє швидко оцінити загальну картину теплопередачі. Порівняння рисунків 8 і 9 вказує на ідентичність результатів. Для точного визначення температур слід відобразити максимальну та мінімальну температуру, або температуру в обраній точці конструкції.

Аналогічний розрахунок проведений для **другого варіанту** конструкції, тобто того ж кута стіни, додатково утепленого плитами пінопласту товщиною 50 мм. Результати розрахунку наведені на рисунку 10.

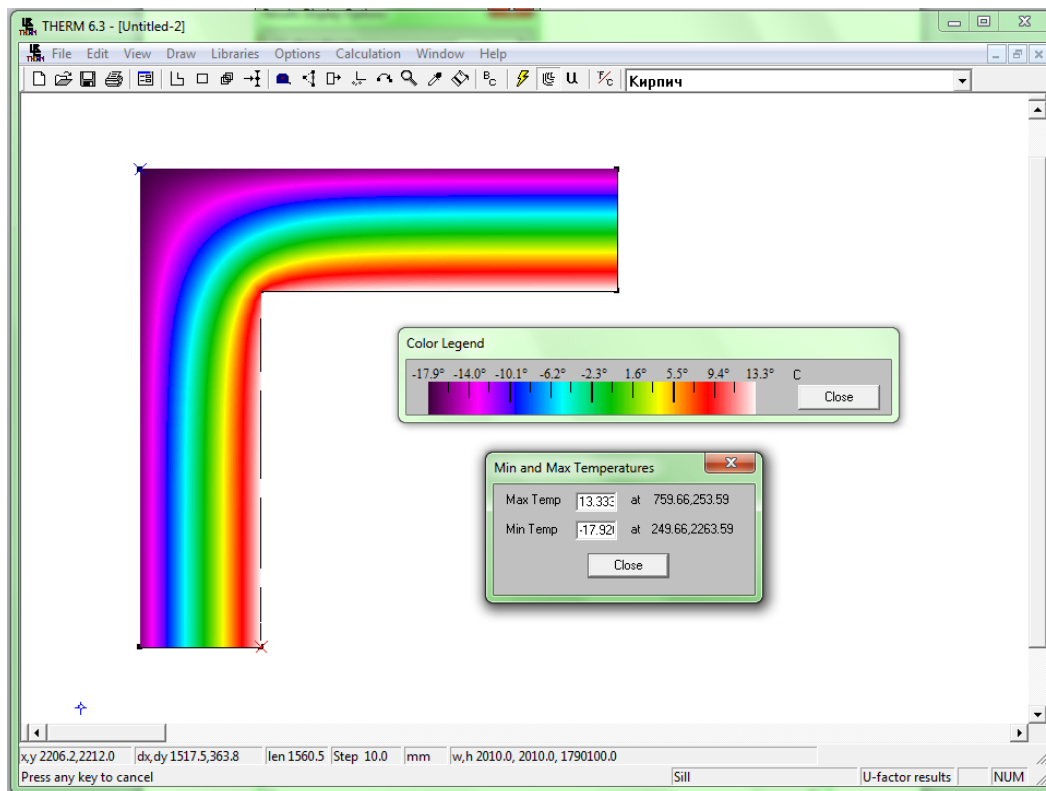


Рисунок 9 Відображення результатів розрахунку в інфрачервоному випромінюванні (варіант 1)

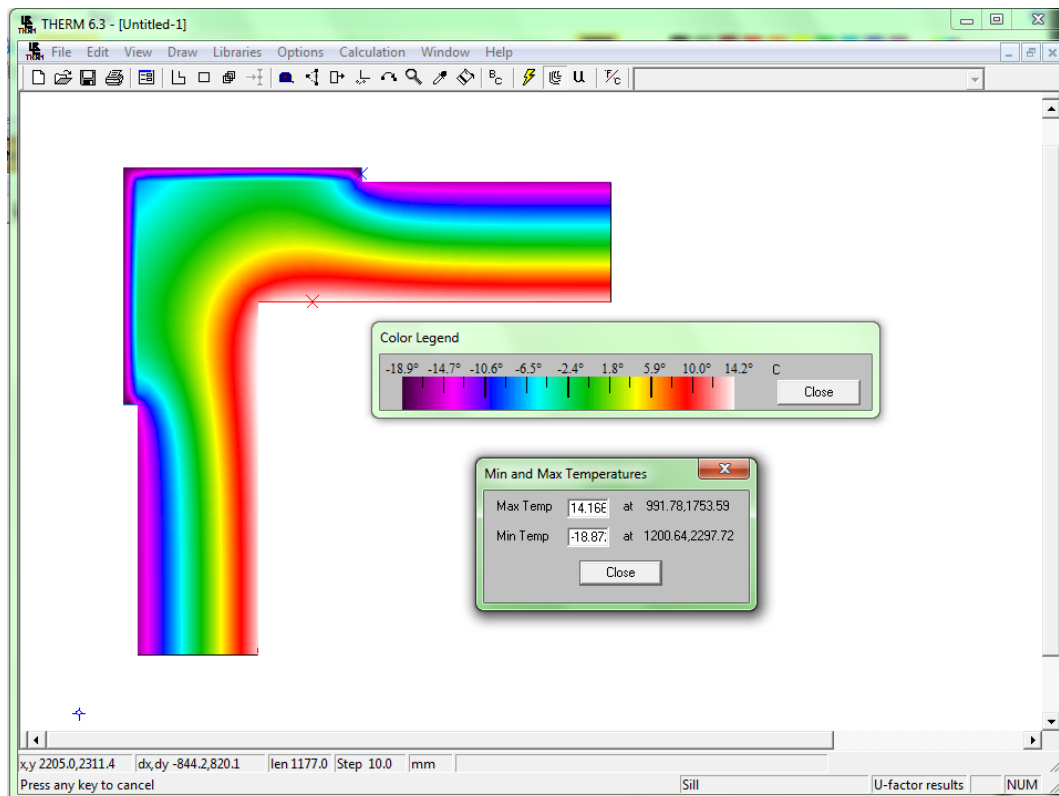


Рисунок 10 Результати розрахунку кута стін з додатковим утепленням пінопластом (варіант 2)

Порівнюючи рисунки 9 і 10, можна зробити висновок щодо істотного впливу додаткового утеплення на розподіл температур в стіні. Додаткове утеплення помітно змістило теплі зони до зовнішнього боку стіни. Якщо у варіанті 1 максимальна температура дорівнює $13,3^{\circ}\text{C}$, а температура внутрішнього кута – близько 7°C , то додаткове утеплення за варіантом 2 підвищило ці температури до $14,2^{\circ}\text{C}$ та 10°C .

Таким чином, використання програми THERM дозволяє оптимізувати конструктивні рішення вузлів огорожувальних конструкцій досить складної форми за критерієм теплопередачі та забезпечення теплової надійності.

Рекомендована література

1. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Мінбуд України. – Київ, 2006. – 68 с.
2. Зміни № 1 ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Мінбуд України. – Київ, 2013. – 11 с.
3. Windows and Daylighting Group, Lawrence Berkeley National Laboratory [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://windows.lbl.gov/>
4. LBNL Windows & Daylighting Software – THERM Documentation [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://windows.lbl.gov/software/therm/6/THERM63_docs.htm
5. NFRCsim6.3-2013-07-Manual [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://windows.lbl.gov/software/NFRC/SimMan/NFRCsim6.3-2013-07-Manual.pdf>

Навчально-методичне видання

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ THERM

Методичні вказівки до лабораторних занять, курсового та дипломного проектування з
дисципліни "Комп'ютерні технології у будівництві" для студентів спеціальності
192 "Будівництво та цивільна інженерія усіх форм навчання

Укладачі: Пашинський В.А., Яцун В.В., Дарієнко В.В.,

Редактор В.О.Омельяненко

Комп'ютерний набір та верстка В.В. Яцун

Тиражування на різнографі Ю.М.Рубан

Здано до друку .07.2020. Підписано до друку “__” ____ 2020. Формат 64x84 1/16 (A5).

Папір газетний. Умов. друк. арк. . Тираж 150 прим. Зам. № ____ / 2020.

РВЛ ЦНТУ. м. Кропивницький, пр. Університетський, 8-А. Тел.: 390-541, 559-245.