

ВІЗУАЛІЗОВАНІ ГІДРОГАЗОДИНАМІКА ТА ТЕПЛООБМІН. ОГЛЯД ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ ENERGY 2D ТА ЙОГО МОЖЛИВОСТЕЙ ПРИ ОПАНУВАННІ ІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН

Козюпа Т. К., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. При опануванні таких дисциплін як «Тепломасообмін», «Гідрогазодинаміка», «Технічна термодинаміка», «Сонячна теплоенергетика», «Низькопотенційні джерела енергії», що, зокрема, є фундаментальними для збагачення знань інженера про механізми та сфери застосування раніше вивчених фізичних процесів, буває недостатньо текстових викладок, котрі, зазвичай, не є багатими на графічний матеріал. Одним з численних варіантів ілюстрації механізмів та процесів, що трапляються при вивченні вищезазначених дисциплін, є програмне моделювання.

Мета роботи. Знайомство з наявним у вільному доступі програмним пакетом Energy 2D, спектром його можливостей та аналіз сфер, в яких він може бути застосований як допоміжне джерело інформації.

Матеріали і результати досліджень. Energy 2D – програмний пакет, розробка доктора Чарльза Ксі, члена науково-дослідного центру Конкорд Консорціум, Массачусетс, США. Ця програма дозволяє працювати у кластері так званої модельної інженерії та досліджень (*Simulation-based engineering and science*). Програмний пакет направлений на візуалізацію складних та простих гідрогазодинамічних (*fluid dynamics*) процесів (рис. 1). Зокрема, він може бути застосований для симуляції всіх трьох режимів теплообміну: конвективного, радіаційного та теплопровідності.

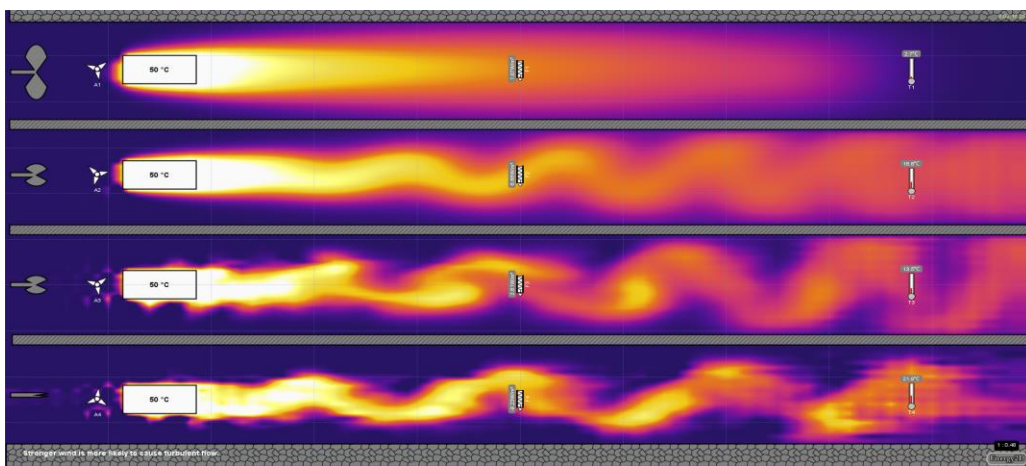


Рисунок 1 – Візуалізація ламінарного, перехідного та турбулентного рухів рідини
Коротко розглянемо аналітичні підходи та методи, за якими дана програма виконує обчислення і наведемо приклади моделювання режимів теплообміну

Моделювання теплопровідності. Дане явище для гетерогенного тіла може бути описане та симульоване використовуючи рівняння теплопровідності виду

$$\rho c \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{v}T) \right] = \nabla \cdot [k \nabla T] + q, \quad (1)$$

де $T(x, y, z, t)$ – температурний розподіл;
 k – коефіцієнт теплопровідності;
 c – питома теплоємність;
 ρ – густина;
 \mathbf{v} – векторне поле швидкостей та
 $q(x, y, z, t)$ – внутрішня генерація тепла.

Підходом до розв'язку рівняння (1) слугують в сукупності метод кінцевих різниць на часовому проміжку (*Finite-difference time-domain (FDTD) method*) та метод релаксації (*relaxation method*). Типові приклади застосування Energy 2D для аналізу теплопровідності включають: розвинені поверхні теплообміну [1] (рис. 2), теплоізоляційні властивості тіл, візуалізація температурного поля тощо.

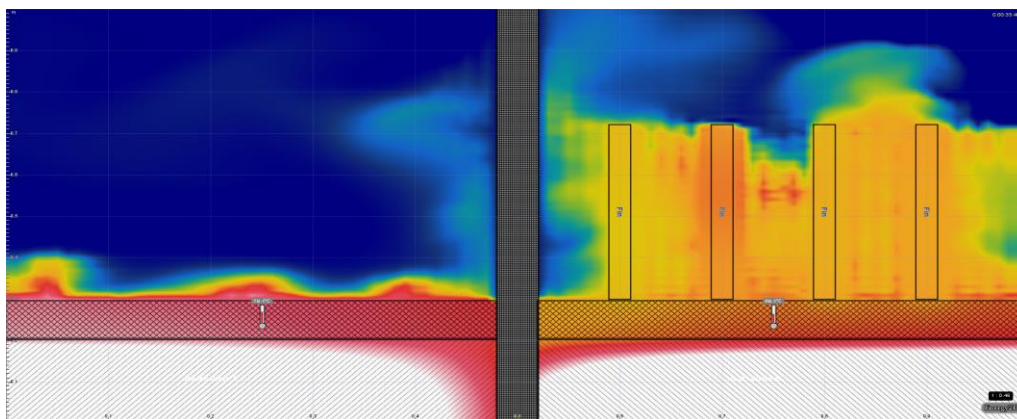


Рисунок 2 – Аналіз передачі тепла розвинутими поверхнями теплообміну (в даному випадку шипами, справа) порівняно із гладкими (зліва)

Моделювання конвективного теплообміну. Дане явище в програмному пакеті розглядається лише для нестисливих Ньютонівських рідин, поведінка яких може бути описана та симульована використовуючи рівняння Нав'є-Стокса виду

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = \alpha \nabla^2 \mathbf{v} - (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} - \nabla p + \mathbf{f}, \quad (2)$$

де \mathbf{v} – векторне поле швидкостей;
 α – коефіцієнт кінематичної в'язкості; p – тиск;
 \mathbf{f} – сила, що діє на тіло (наприклад, сила тяжіння або плавучість).

Підходом до розв'язку рівняння (2) слугують в сукупності метод МакКормака (*MacCormack method*) та метод релаксації. Типові приклади застосування Energy 2D для аналізу конвективного теплообміну включають: елементи пасивних будівель (рис. 3), порівняння природньої та вимушеної конвекції, інфільтрація приміщень, ефект тяги тощо.

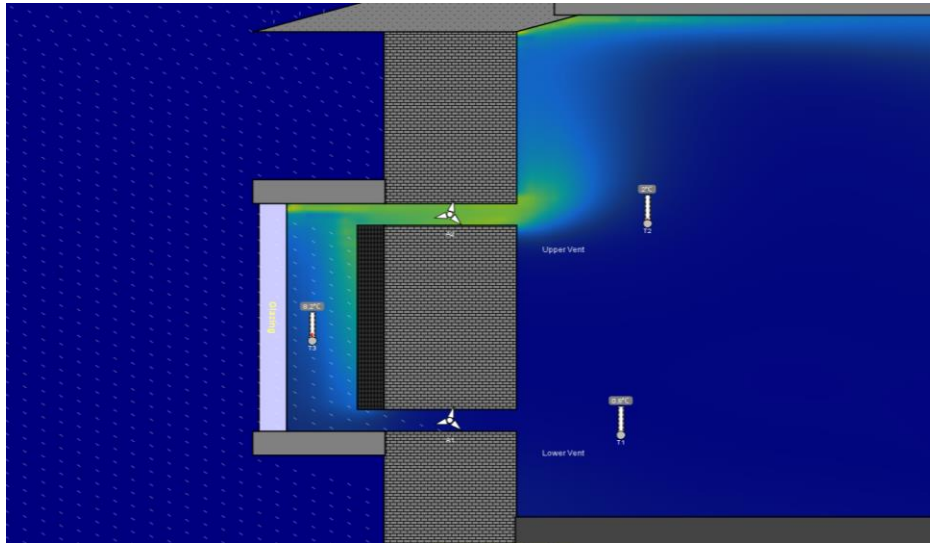


Рисунок 3 – Стіна Тромба як елемент пасивного будинку, принцип її дії та візуалізація конвективного теплообміну повітря всередині приміщення

Моделювання теплообміну випромінюванням. Закон Стефана-Болцмана описує залежність щільності випромінюваного потоку від температури об'єкта:

$$E = \varepsilon\sigma T^4$$

Для системи із n об'єктів необхідна дискретизація кожного з них на малі частини dA_i щоб провести моделювання теплообміну випромінюванням між ними (об'єктами). Типові приклади застосування Energy 2D для аналізу теплообміну випромінюванням включають: аналіз зміни кута падаючого випромінювання, і, як наслідок – площі опромінення (рис. 4), моделювання роботи сонячних концентраторів, сонячних печей, демонстрація зміни ступенів чорноти тіла тощо.

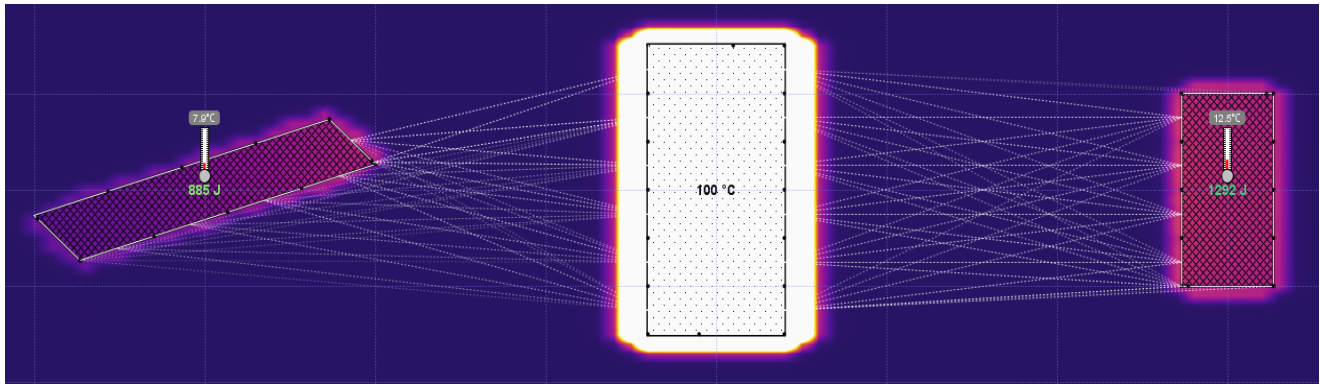


Рисунок 4 – Візуалізація залежності переданої енергії між тілами від кута опромінення

Висновки. Даний програмний пакет є відмінним засобом в ролі як навчального інструменту, так і професійного, коли необхідно провести певні моделювання, не вдаючись до складних та/або дороговартісних вимірів. Неоціненну користь він принесе при вивченні процесів, що мають місце у сонячній енергетиці, тепломасообміні, гідрогазодинаміці тощо.

Перелік посилань

1. Kern, D.Q. and Kraus, A.D. (1972) Extended Surface Heat Transfer, McGrawHill, New York.