

УДК 536.5+004.42

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАНИЧНИХ УМОВИ (ВХІДНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПОТІК) ТА (ТЕМПЕРАТУРА)

Я. М. Кавин, Р.І.Петрів

Українська академія друкарства вул. Під Голоском, 19, 79020, Україна

Використання граничних умов (вхідний тепловий потік) і (температура) для розрахунку та моделювання теплопередачі має сенс в плані застосування розрахунків неізотермічного потоку при різних швидкостях з використанням віртуального каналу для отримання більш реального профіля температури. Віртуальний канал - це довгий теплоізолюваний канал із заданою температурою на вході, в якому реалізується профіль швидкості, заданий в налаштуваннях граничних умови (вхідний потік). Гранична умова (вхідний потік) дозволяє розрахувати тепловий потік на межі входу, на основі розв'язування повноцінного рівняння конвективного теплообміну за напрямком руху течії. Крім профілю температури, слід також звернути увагу на величину щільності теплового потоку, що суттєво впливає на візуалізацію термічної картини поширення теплового поля в процесі конвективного теплообміну неізотермічним потоком перенесення енергії.

Ключові слова: *гранична умова (вхідний потік), щільність теплового потоку, профіль стаціонарної температури, конвективний теплопереніс, щільність теплового потоку, гранична умова (температура).*

Постановка проблеми. Гранична умова (вхідний потік) використовується при моделюванні неізотермічних течій, коли необхідно спільно вирішувати рівняння руху і енергії. Якщо температура середовища на вході в розрахункову область відома, можна скористатися граничною умовою (температура). Однак в деяких випадках більш доцільно використовувати граничну умову (вхідний потік), яке дозволяє підвищити точність. Щоб продемонструвати, як працює гранична умова (вхідний потік) в порівнянні з граничною умовою (температура), необхідно проаналізувати профіль стаціонарної температури в довгому каналі в двох вимірах, в якому направлений тепловий потік між двома пластинами [2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моделювання теплопередачі за допомогою граничних умов (вхідний потік) та (температура), є продовженням досліджень поширення теплового поля в процесі конвективного теплообміну неізотермічним потоком перенесення енергії. Дослідженням цих питань займалися і займаються такі науковці, як PhD Nicolas Hus керівник групи дослідників COMSOL France. Даний напрямок дослідження розвивається в університеті Жозефа Фур'є /Joseph Fourier University/ (Гренобль) /Франція.

Мета статті. Метою даного моделювання є визначення значень каналу проходження теплового потоку, для яких можна задати точні теплові параметри за допомогою граничних умов (температура) і (вхідний потік) відповідно

створення більш точних моделей ізотермічних течій, зокрема теплотоків, коли необхідно спільно розв'язувати рівняння руху та енергії, зокрема теплової.

Виклад основного матеріалу досліджень. Граничні умови (вхідний потік) можна використовувати на зовнішніх межах доменів для теплоносія з додаванням віртуального каналу із заданою температурою на вході, в якому формується профіль швидкості на основі параметрів заданих в налаштуваннях граничних умов. Відповідно це дозволяє розрахувати тепловий потік на вході, на основі розв'язку повноцінного рівняння конвективного теплообміну в напрямку руху теплоносія [1, 2].

Математично граничну умову (вхідний потік) можна описати через щільність теплового потоку:

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \rho \Delta H \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} \quad (1)$$

тут зміна ентальпії ΔH визначається, як

$$\Delta H = \int_{T_{\text{upstream}}}^T C_p dT + \int_{p_{\text{upstream}}}^p \frac{1 - \alpha_p T}{\rho} dp, \quad (2)$$

де можна виділити два доданки:

$$\Delta H_T = \int_{T_{\text{upstream}}}^T C_p dT \quad \text{та} \quad \Delta H_p = \int_{p_{\text{upstream}}}^p \frac{1 - \alpha_p T}{\rho} dp$$

відповідно (2) можна записати як

$$\Delta H = \Delta H_T + \Delta H_p$$

У цьому співвідношенні дві складові. Перша складова залежить від різниці температур, а друга складова залежить від різниці тисків.

Канал по якому відбувається рух неізотермічної течії, на певній ділянці, охолоджується конвективним тепловим потоком. Параметри каналу, зокрема висота і довжина є певно визначені, а саме: висота каналу - 1 см, а довжина частини, на яку впливає конвективний тепловий потік, - 10 см.

Тепер можна знайти рішення для моделі за допомогою граничних умов (температура) або (вхідний потік) на вході каналу. У моделі змінюються два параметри:

1. Швидкість на вході - U : 1 см/с і 10 см/с.
2. Довжина каналу до області, на яку впливає тепловий потік - L : 0; 0,2; 1, 2 см.

Результати моделювання для найвищої швидкості теплового потоку на вході ($U = 10$ см/с).

На рис.1 зображений профіль температури, для якого використовується гранична умова (зверху) і (знизу). Ці два графіки дуже схожі, і на їх основі дуже складно зробити який-небудь висновок.

На рис.2 показаний профіль температури уздовж вертикальної лінії на початку зони охолодження. Вона збігається з межею входу, якщо $L = 0$ (надалі «опорна лінія»). Суцільні лінії позначають результати, отримані при використанні граничної умови (вхідний потік), а пунктирні - при використанні граничної умови (температура).

При $L = 0$ профіль температури сильно відрізняється від профілю, отриманого в процесі рішення. Це вказує на класичну проблему, що виникає при використанні граничної умови (температура). Оскільки профіль температури уздовж опорної лінії заздалегідь не відомий, найкраще задатись оптимальною температурою - в даному випадку перед входом.

Якщо при використанні граничної умови (вхідний потік) значення L підвищується, то профіль температури уздовж опорної лінії сходиться з тим же профілем, як при використанні граничної умови (температура).

При $L = 0$, профіль температури набагато ближче до профілю отриманого в процесі рішення, ніж при використанні граничної умови (температура).

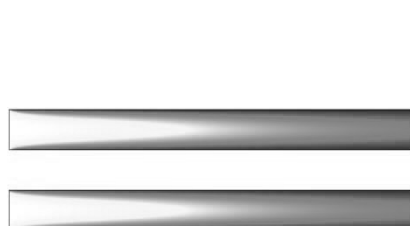


Рис. 1 Температурне поле в каналі при використанні граничної умови температура (вгорі) і вхідний потік (внизу) при $L = 0$ і $U = 10$ см/с.

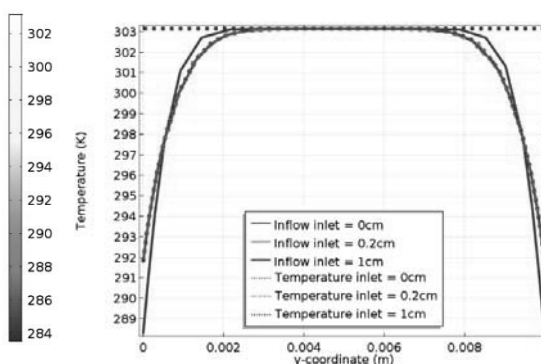


Рис. 2 Порівняння температури уздовж опорної лінії при використанні граничної умови вхідний потік (суцільна лінія) і температура (пунктирна лінія).

Якщо значно збільшити довжину каналу перед входом, то профіль температури на межі входу, отриманий при використанні граничної умови (вхідний потік), збігається з профілем, отриманим при використанні граничної умови (температура). Цікаво, що для числової схеми ці дві умови в даному випадку абсолютно ідентичні.

Крім профілю температури, слід також звернути увагу на величину щільності теплового потоку. У таблиці нижче наведені значення інтенсивності теплового потоку при різних значеннях L . В одному стовпці міститься значення для граничної умови (вхідний потік), а в іншому - значення для граничної умови (температура).

Таблиця 1

Значення щільності теплового потоку при найвищій швидкості на вході

L	вхідний потік	температура
0.0	18.993	20.165
0.2	19.013	19.043
1.0	19.013	19.013
2.0	19.014	19.014

При використанні граничної умови (вхідний потік) величина теплового потоку майже постійна. При використанні граничної умови (температура) на величину теплового потоку впливає значення L .

Результати моделювання для найнижчої швидкості теплового потоку на вході ($U = 1 \text{ см/с}$).

На рис. 3 показано температурне поле, отримане при використанні граничної умови (вгорі) і при використанні граничної умови (внизу). Незважаючи на те, що ці два графіки схожі, при більш ретельному їх розгляді стає ясно, що в кінці межі входу є різниця між двома профілями температури.

На рис. 4 показаний профіль температури уздовж опорної лінії. Як і на попередніх графіках, суцільні лінії позначають результати використання граничної умови (вхідний потік), пунктирні - результати використання граничної умови (температура).

Відповідно при $L = 0$ гранична умова (температура) визначає постійну температуру вздовж опорної лінії. Профіль цієї температури значно відрізняється від результатів, отриманих при найбільших значеннях L . Як було зазначено вище, при підвищенні значення L температура сходиться з даним профілем. При співставленні рішень, отриманих при використанні граничних умов (вхідний потік) і (температура), можна помітити, що при будь-якому значенні L рішення, отримане при використанні граничної умови (вхідний потік), завжди ближче до профілю температури отриманого в процесі рішення.



Рис. 3 Температурне поле в каналі при використанні граничної умови температура (вгорі) і вхідний потік (внизу) при $L = 0$ і $U_{in} = 10 \text{ см/с}$.

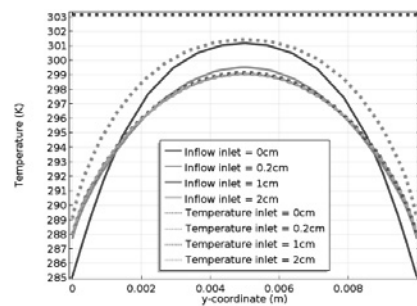


Рис. 4. Порівняння температури уздовж опорної лінії при використанні граничної умови вхідний потік (суцільна лінія) і температура (пунктирна лінія).

У таблиці 2 показана величина теплового потоку для двох граничних умов.

Таблиця 2

L	вхідний потік	температура
0.0	2.4217	4.3634
0.2	2.4217	2.8811
1.0	2.4217	2.4360
2.0	2.4217	2.4219

Спостерігається тенденція, аналогічна першому випадку, за винятком того, що при використанні граничної умови (температура) вплив L на величину теплового потоку набагато вагоміша. Якщо гранична умова (температура) використовується при $L = 0$, то величина теплового потоку майже в 2 рази більша у порівнянні з результатом, отриманим для довгої початкової ділянки. При використанні граничної умови (вхідний потік) величина теплового потоку прогнозується точно при будь-якому значенні L [1].

Ці результати показують, що при малому значенні L (і особливо при $L = 0$) профіль температури і величина теплового потоку більш реальні при використанні граничної умови (вхідний потік), ніж при використанні рівномірного розподілу температури, що задається граничною умовою (температура). Це можна пояснити тим, що однорідний профіль температури на вході не є реальним. На практиці температура не регулюється безпосередньо на вході - це практично відбувається в резервуарі, розташованому на певній відстані.

Висновки. Оскільки у багатьох випадках граничні умови (температура) і (вхідний потік) служать для опису схожих умов і дають схожі результати моделювання, існує ряд завдань, в яких інтенсивність перенесення тепла за рахунок теплопровідності співставна з конвективним потоком, а значить гранична умова (вхідний потік) дає більш реальний профіль температури, ніж гранична умова (температура). Крім того, використання граничної умови (температура) може давати невірні значення температури, в результаті чого в розрахунку з'являються необґоунтовано високі теплові потоки. Враховуючи, що гранична умова (вхідний потік) моделює віртуальний канал, повинен бути перепад тиску між входом віртуального каналу і межею, на якій задані граничні умови. Над теплоносієм, що рухається по каналу, здійснюється робота сил тиску, в результаті чого температура на вході віртуального каналу відрізняється від температури на межі, на якій задано граничну умову (вхідний потік).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Владимиров В. С., Жаринов В. В. Уравнения математической физики. — М.: Физматлит, 2004.- 174 с.
2. Егоров В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности: учеб. пособ. Санкт-Петербург: СПб ГУ ИТМО, 2006. - 77 с.
3. Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження. Прохоренко С. та ін. Вимірювальна техніка та метрологія. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia). 2012. № 73. - С. 41-44.

REFERENCES

1. Vladimirov V. S., Zharinov V. V. (2004). Uravnenija matematicheskoj fiziki. — M.: Fizmatlit. , 2004.- 174 s. (in Russian)
2. Egorov V. I. (2006). Primenenie JeVM dlja reshenija zadach teploprovodnosti: ucheb. posob. Sankt-Peterburg: SPb GU ITMO. -77 s. (in Russian)
3. Otsiniuvannia rivnia neodnoridnosti materialu shliakhom analizu teplovoho vidhuku na vuzkozonne teplove zbudzhennia. Prokhorenko C. ta in. (2012).

Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia).
№ 73.- S. 41-44. (in Ukrainian)

MODELING OF THE HEAT TRANSFER THROUGH BOUNDARY CONDITIONS OF INPUT HEAT FLUX AND TEMPERATURE

Ya.M. Kavyn, R.I. Petriv

Ukrainian Academy of Printing 19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
yaroslav-kavin@ukr.net

It makes sense in the application of calculations of non-isothermal heat flux at different speeds using a virtual channel to obtain a more realistic temperature profile using of boundary conditions (input flux) and (temperature) for calculation and simulation of the heat transfer. According to that, it allows to calculate the heat flow at the input based on the solution of a complete equation of convective heat transfer in the direction of flow. A virtual channel is a long, heat-insulated channel with a given input temperature, which implements a profile of the speed specified in the settings of the boundary conditions (input flux).

The boundary condition (input flux) allows to calculate the thermal flux at the entrance based on solving a full-fledged equation of convective heat exchange along the direction of flux and also used in the simulation of non-isothermal currents, when there must be solved the joint equations of motion and energy. If the temperature of the medium at the entrance to the calculated area is known, it can be used the limiting condition (temperature). However, in some cases it is more appropriate to use the boundary condition (input flux), which allows greater accuracy. Besides the temperature profile, it should also pay attention to the value of the density of the heat flux, which essentially influences the visualization of the thermal picture of the propagation of the thermal field in the process of convective heat exchange by a non-isothermal flow of energy transfer. If the convection heat transfer is dominated at the entrance, then the temperature is so the gradient and hence the thermal flux is very small due to the thermal conductivity to the input limit. In this case, the difference in enthalpy is close to zero.

There must be a pressure drop between the input of the virtual channel and the limit on which the condition is specified considering that the boundary condition (input flux) simulates the virtual channel, from which the heat flux enters the input of the calculated area. Above the heat flowing along the channel, the work of the forces of pressure is carried out, which results in the temperature at the entrance of the virtual channel is different from the temperature at the limit, on which the boundary condition (input flux) is specified.

Keywords: *boundary condition (input flux), heat flux density, stationary temperature profile, convective heat transfer, heat flux density, boundary condition (temperature).*

Стаття надійшла до редакції 5.06.2018
Received 5.06.2018