УДК 533.6.011.6:614.628

А.Г.Виноградов, канд.фіз.-мат.наук
Академія пожежної безпеки ім.Героїв Чорнобиля, м.Черкаси, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ РОЗПИЛЕНОЇ ВОДИ З ПОВІТРЯМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ FLOWVISION

Представлен компьютерный расчет температурного поля в зоне действия водяной завесы в процессе экранирования конвективного теплового потока в воздушной среде. Выполнен сравнительный анализ относительного вклада в этот процесс конвективного теплообмена подвижных холодных капель с горячим воздухом и испарения воды с поверхности капель.

Computer calculation of a temperature field in an operative range of a water veil in the course of shielding of a convective heat stream in the air environment is presented. The comparative analysis of the relative contribution to this process of convective heat exchange of mobile cold drops with hot air and evaporations of water from a surface of drops is made.

1. Вступ

Програмний комплекс Flowvision призначений для моделювання тривимірних течій рідини й газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Flowvision заснований на кінцево-об'ємному методі розв'язку рівнянь гідродинаміки й використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подрібненням.

FlowVision вирішує тривимірні рівняння динаміки рідини і газу: рівняння Нав'є-Стокса (закони збереження маси і імпульсу) і рівняння переносу ентальпії (закон збереження енергії). При розрахунку складних течій, супроводжуваних додатковими фізичними процесами (турбулентність, горіння, рух контактних границь і т. д.), вирішуються додаткові рівняння, що описують ці процеси. Диференціальні рівняння апроксимуються на розрахунковій сітці у припущенні, що кожна клітинка являє собою кінцевий об'єм, в якому швидкості зміни фізичних величин збалансовані потоками цих величин через його границі.

Даний програмний комплекс є інтегрованою системою, до складу якої входять препроцесор (частина програми, в якій створюється й редагується розрахунковий проект), блок розрахунку рівнянь і постпроцесор (частина програми, в якій аналізуються результати розрахунку). Ці три складові частини об'єднані й працюють одночасно. Це дозволяє користувачеві проводити моделювання та одночасно в процесі розрахунків аналізувати результати, змінювати граничні умови й параметри математичної моделі.

У даній роботі за допомогою FlowVision досліджується водяна завіса, яка доволі часто використовується під час тактичних дій підрозділів пожежної охорони. Водяна завіса представляє собою дрібнорозпилену воду, локалізовану в певних просторових межах і призначену для запобігання розповсюдження шкідливих чинників (тепловий потік, задимлення, отруйні речовини) з однієї частини об’єму до іншої.

При екрануванні за допомогою водяної завіси конвективного теплового потоку відбувається конвективний теплообмін гарячого повітря з відносно холодними рухомими краплями води. При цьому повітря охолоджується, а краплі нагріваються. Цей процес супроводжується випаровуванням води з поверхні крапель, що також впливає на температуру повітря і крапель. Теоретичний розрахунок процесу конвективного теплообміну і температурного поля всередині водяної завіси (але без урахування процесу випаровування крапель) для найпростішої геометрії виконаний в роботах [1, 2]. Невирішеним залишилося питання про те, наскільки суттєвим є вплив процесу випаровування на температурне поле. Відповідь на це питання є важливою для побудови загальної математичної моделі водяних завіс та отримання практичних розрахункових формул для оптимізації їх параметрів.

У даній роботі за допомогою комплексу FlowVision виконані розрахунки з метою отримання відповіді на поставлене питання. Для моделювання водяної завіси в середовищі FlowVision використовується модель частинок, яка призначена для комп’ютерного моделювання двофазних течій (рухома несуча фаза з рухомими відносно неї частинками іншої речовини).

2. Постановка задачі

Засобами комп’ютерного моделювання необхідно виконати дослідження процесу конвективного теплообміну водяної завіси з рухомим нагрітим повітрям поблизу осередку пожежі. Необхідно виконати розрахунок температурного поля повітря після його взаємодії з водяною завісою для 2 випадків: за наявності та відсутності процесу випаровування води з поверхні крапель. Далі на основі отриманих результатів необхідно зробити висновок щодо того, наскільки суттєвим є вплив процесу випаровування на ефективність екранування конвективного теплового потоку за допомогою водяної завіси.

 © А.Г.Виноградов, 2011

3. Виконання розрахунків

Розміри розрахункової області визначені, виходячи з умови, що вони повинні перевищувати розміри водяної завіси. Розрахункова область створена за допомогою CAD-системи SolidWorks у вигляді паралелепіпеда розмірами 15×10×5 м^3 (рис. 1). На фронтальній грані паралелепіпеда розміром 15×5 м^2 в її нижній частині розташований отвір прямокутної форми розмірами 10×30 см^2 для вводу потоку крапель. Вектор початкової швидкості крапель спрямований під кутом 45° до горизонтальної площини. Ліва грань паралелепіпеда розміром 10×5 м^2 призначена для вводу гарячого повітря, права грань – для його виводу. Розрахункова сітка, що містить близько 24 тис. комірок, була створена з локальним подрібненням в зоні завіси, особливо дрібним в зоні отвору для вводу крапель.

Граничні умови для потоку крапель у зоні їх вводу задавалися таким чином:

- масовий потік крапель – 5 кг/с;
- діаметр крапель – 1 мм;
- початкова швидкість крапель – 15 м/с;
- кут розпилення крапель – ±10°;
- початкова температура крапель – 20°C.

Граничні умови для вводу потоку повітря:

- початкова температура повітря – 200°C;
- початкова швидкість повітря – 2 м/с.

На рис. 1 показані розраховані за цих умов траєкторії крапель та їх розташування відносно розрахункової області, а також орієнтація у просторі осей системи координат, що використовувалася під час розрахунків.

Розрахунки, виконані засобами FlowVision, дозволяють отримати потужні масиви даних щодо просторових розподілів великої кількості параметрів, що відображають механічні та термодинамічні процеси в розрахунковій області. Для їх графічного відображення в даній роботі використовується метод контурних графіків на площині, просторове положення якої в розрахунковій області можна обирати довільним чином. Крім того, в роботі використані 2-вимірні графіки для відображення залежності температури від просторової координати вздовж прямої, заданої в межах даної площини. З цією метою всередині розрахункової області була задана вертикальна площина (паралельна координатній площині xy), положення якої показане на рис. 1 білим контуром. В межах цієї площини була задана горизонтальна пряма АБ, паралельна осі x, яка також показана на рис. 1.

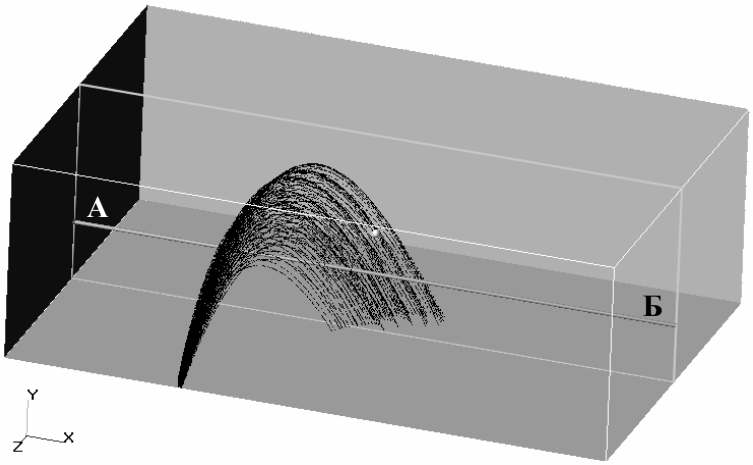

Рис. 1. Геометрія розрахункової області

На рис. 2 представлені отримані в результаті розрахунків просторові розподіли температури в межах заданої площини для двох випадків. На рис. 2*а* розрахунок виконаний з урахуванням процесу випаровування крапель, а на рис. 2*б* під час розрахунку вважалося, що випаровування відсутнє. Для визначення кількісних значень температур на рисунках показана шкала насиченості кольорів та їх відповідність температурам ізоліній (в °C).

Для більш точного порівняння кількісних значень температур на рис. 3 представлені графіки залежності температури від координати x вздовж прямої АБ, положення якої показане на рис. 1 і 2, для двох зазначених вище розрахунків.

Порівняння графіків, що відповідають цим двом випадкам, дозволяє зробити висновок щодо подібності як просторових розподілів температур, так і їх кількісних значень. Різниця температур на двох графіках не перевищує 4-5°C.

Порівнюючи цю величину із загальною величиною зниження температури внаслідок ефекту теплового екранування (в даному випадку близько 40°C), отримаємо похибку близько 10%. Таким чином, виконаний розрахунок дозволяє зробити висновок, що процес випаровування крапель при здійсненні екранування конвективного теплового потоку відіграє допоміжну роль. Найбільш суттєвим у даному випадку є процес охолодження повітря внаслідок його конвективного теплообміну з відносно холодними рухомими краплями, з яких сформовано водяну завісу.

Отже, для наближених розрахунків з допустимою похибкою 10-15% процес випаровування крапель можна не враховувати.

В той же час, слід зазначити, що цей висновок є справедливим лише для параметрів водяних завіс та термодинамічних умов, близьких до умов виконаного розрахунку. Для інших умов, що є суттєво іншими за такими параметрами, як початкова температура повітря, середній діаметр крапель, їх початкова швидкість та масовий потік, ця проблема потребує додаткового дослідження.

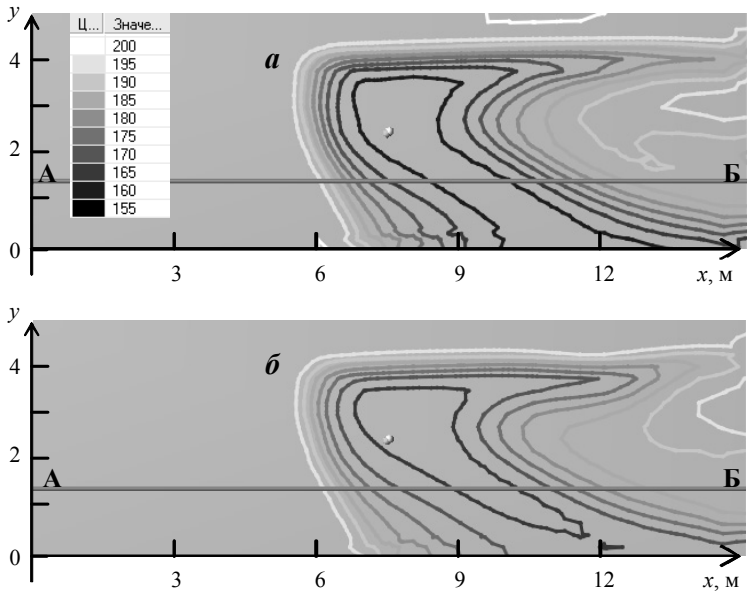

Рис. 2. Просторові розподіли температури повітря в межах заданої площини: *а*)з урахуванням випаровування крапель; *б*) без урахування випаровування

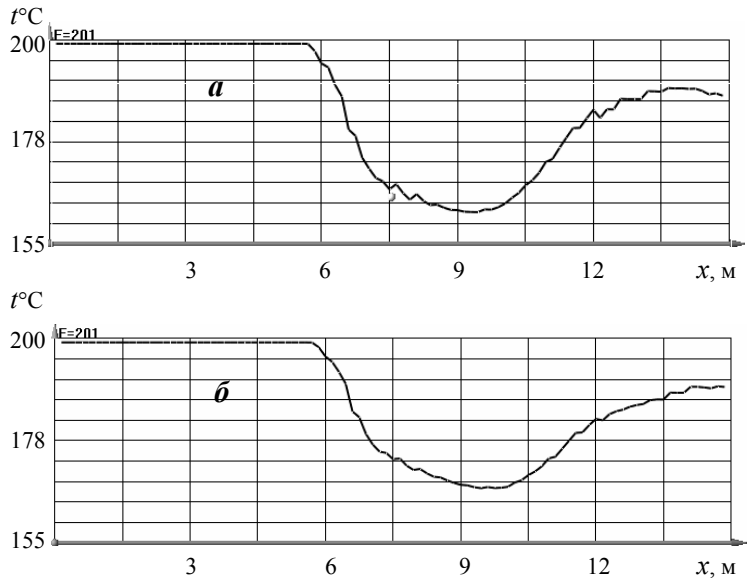

Рис. 3. Просторова залежність температури повітря вздовж прямої АБ: *а*) з урахуванням випаровування крапель; *б)* без урахування випаровування

4. Висновки

За допомогою програмного комплексу FlowVision виконане дослідження процесу теплового екранування конвективного теплового потоку водяною завісою. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що для заданих параметрів основним чинником екранування є процес конвективного теплообміну гарячого повітря з відносно холодними рухомими краплями води. Процес випаровування крапель також впливає на формування температурного поля в зоні завіси, але його вплив є відносно слабким. При виконанні наближених розрахунків з допустимою похибкою 10-15% процесом випаровування крапель можна знехтувати.

Наступним етапом дослідження повинно бути виконання серії подібних розрахунків для інших умов теплового екранування, що відрізняються такими параметрами, як початкова температура повітря, середній діаметр крапель, їх початкова швидкість та масовий потік, а також для іншої геометрії формування водяної завіси (наприклад, вертикальна дренчерна завіса).

Список використаної літератури

1. Виноградов А.Г. Екранування конвективних теплових потоків водяними завісами // Вісник Сумського державного університету, серія „Технічні науки (машинобудування)". – 2003. – №12(58). – с. 19-23.

2. Виноградов А.Г. Конвективний теплообмін розпиленої води з повітрям // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – № 1. – с. 26-32.