

*І.М. Плюта, м.н.с., УкрНДІЦЗ,
В.О. Тищенко, к.держ.упр., доцент, ІДУЦЗ,
С.А. Єременко, к.т.н., доцент, заст. нач. інст., ІДУЦЗ,
Є.В. Іванов, викладач, НУЦЗУ*

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДОПОМОГОЮ ОКРЕМОГО МОДУЛЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ FLOW VISION

(представлено д.т.н. Поздєєвим С.В.)

В роботі розглянуті основні етапи процесу комп'ютерного моделювання задачі формування водяної завіси при вирішенні прикладних завдань оперативно-рятувальних підрозділів з ліквідації пожеж та надзвичайних ситуацій, пов'язаних з викидом небезпечних хімічних речовин. Геометрична модель сформована за використанням оболочки CAD – системи Solid Works, що дало змогу провести серію розрахунків та отримати різні проекції траєкторії крапель. Наведений підхід дозволяє у подальшому визначити вплив повітряних мас на ефективність процесу формування водяної завіси при гасінні пожежі.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, водяна завіса, програмний комплекс, гасіння пожеж.

Постановка проблеми. Незважаючи на широке розповсюдження водяних завіс під час гасіння пожеж, їх властивості є недостатньо дослідженими. Нормативні документи не висвітлюють особливості проектування стаціонарних водяних завіс, необхідність їх застосування під час гасіння пожеж. Відсутні дані про ефективність водяних завіс під час пожеж.

Існуючі на сьогодні економічні проблеми, а саме малий обсяг фінансування прикладних наукових досліджень в галузі пожежної безпеки, перенасиченість вітчизняного ринку протипожежної продукції системами імпортного виробництва сумнівної якості, де більшість параметрів, які забезпечують ефективність застосування систем подібного роду, досягнуто виключно за рахунок кількісних характеристик. Останнє свідчить про недостатність вивчення питання щодо проектування та застосування водяних протипожежних завіс. Стан питання, з цього напрямку, ускладнено неможливістю проведення повноцінних експериментальних досліджень, враховуючи досить високу вартість випробувань. Альтернативним шляхом вирішення проблеми є застосування вискоєфективних засобів моделювання теплових процесів до яких слід віднести сучасний програмний комплекс Flow Vision, який базується на використанні технології CAD – системи Solid Works. Як бачимо, на сьогодні, існує актуальна проблема з дослідження фізичних властивостей протипожежних завіс. Її вирішення вимагає залучення сучасних програмно-апаратних засобів, як-то Flow Vision, базову комплектацію яких слід доповнити окремим розрахунковим модулем спеціального призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пошуку новітніх шляхів підвищення ефективності методів протидії пожежам у вигляді застосування протипожежної водяної завіси актуальна в країнах ЄС, США, Китаю [1]. Наукові дослідження в цих країнах мають чітку практичну спрямованість [2], та враховуються у якості рекомендацій [3], які супроводжують номеклатурні зразки відомих виробників [4, 5]. Дослідження українських вчених у сфері розробки новітніх методик застосування протипожежних водяних завіс досить тривалий час відбувались в контексті загальних тенденцій [6], які притаманні регіональним особливостям розвитку країн Спільноти Незалежних Держав у цілому [7]. Втім, враховуючи регіональні особливості знаходження України та загальнодержавні тенденції розвитку країни, наукова спільнота актуалізує [8] свої дослідження у розрізі їх бачення науковцями провідних країн світу [9], та активізує дослідження із застосуванням сучасних інформаційних технологій [10].

Однак суттєвим недоліком існуючих підходів є відсутність стандартних процедур та відповідних прикладних модулів для проведення інваріаційних досліджень з широким колом параметрів.

Постановка завдання та його вирішення. Задача дослідження полягає у розробці прикладного багатоваріативного програмного забезпечення на базі програмного комплексу Flow Vision та його тестування для подальшого вирішення прикладних завдань з визначення ефективних параметрів функціонування водяних протипожежних завіс.

Для отримання рішення поставленої задачі, виконаємо порівняльний аналіз результатів математичного та комп'ютерного моделювання. Математичний розрахунок представлено формулами (1) та (2) [8]:

$$x = \frac{1}{g} \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha \cdot \{A + B \cdot [\tan \alpha \cdot \sec \alpha + \ln(\tan \alpha + \sec \alpha)]\}}, \quad (1)$$

$$y = \frac{1}{g} \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{\tan \alpha \cdot d\alpha}{\cos^2 \alpha \cdot \{A + B \cdot [\tan \alpha \cdot \sec \alpha + \ln(\tan \alpha + \sec \alpha)]\}}, \quad (2)$$

де використані позначення:

$$A = \frac{1}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha_0} - B \cdot [\tan \alpha_0 \cdot \sec \alpha_0 + \ln(\tan \alpha_0 + \sec \alpha_0)],$$

$$B = \frac{C \cdot \rho_1 \cdot S}{2 \cdot m \cdot g} = \frac{3 \cdot \rho_1}{8 \cdot \rho_2 \cdot d \cdot g}, \quad (3)$$

де C – аеродинамічний коефіцієнт (для краплі у формі кулі $C = 0,5$); ρ_1 – густина повітря; ρ_2 – густина води; $S = \pi \cdot d^2 / 4$ – площа міделевого перерізу краплі; α_0 – початкове значення кута α ; g – прискорення вільного падіння; m – маса краплі; v_0 – її початкова швидкість (4).

Формули (1) і (2) представляють траєкторію краплі в параметричній формі, де як параметр виступає кут α .

Розрахункова формула для модуля поточної швидкості краплі також залежно від кута α :

$$v = \frac{1}{\cos \alpha \cdot \sqrt{A + B \cdot [\tan \alpha \cdot \sec \alpha + \ln(\tan \alpha + \sec \alpha)]}}. \quad (4)$$

Будемо вважати, що краплі в межах завіси не змінюються за розміром, не відбувається їх розпад, коагуляція або будь-яка взаємодія. В цьому випадку кількість крапель, що перетинають будь-який переріз водяної завіси за одиницю часу, є однаковою і дорівнює початковій кількості крапель N , яка генерується зрошувачем за одиницю часу.

На рис. 1 представлені розраховані за допомогою пакету MathCAD траєкторії крапель для наступних умов: $v_0 = 30$ м/с, $d = 0,5$ мм, зі значеннями початкового кута α_0 : червона лінія – 30° ; синя – 36° ; коричнева – 42° .

Слід зазначити, що під час розрахунку повітря вважалось нерухомим, тобто не було враховано явище захоплення потоком крапель повітряних мас внаслідок їх в'язкої взаємодії.

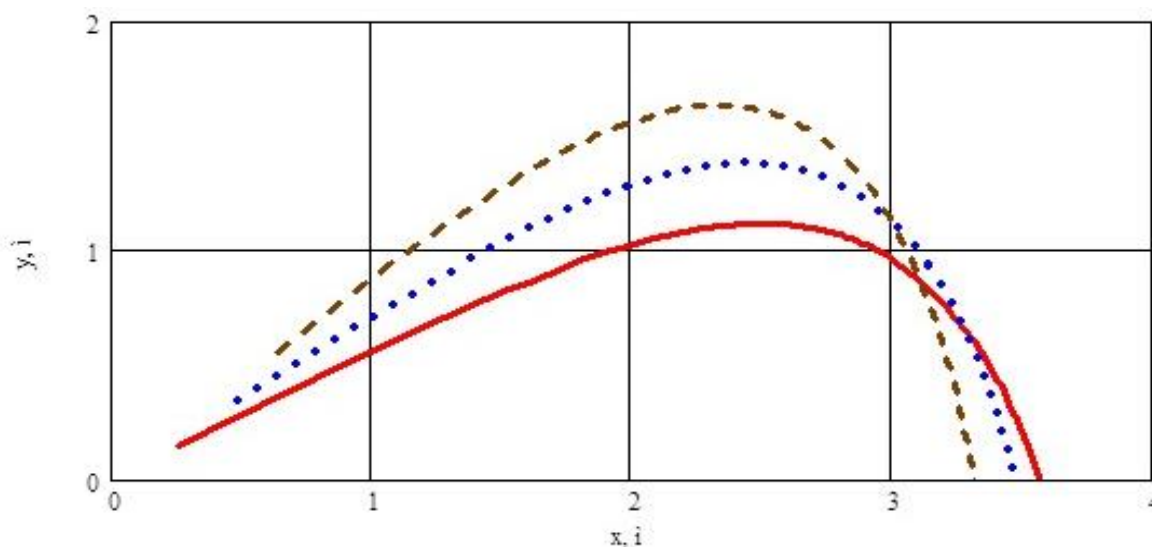


Рис. 1. Розрахунок траєкторій крапель для $v_0 = 30$ м/с, $d = 0,5$ мм

Нижче представлені результати моделювання завіси під час гасіння пожеж для таких самих початкових параметрів крапель, але за принципово іншим методом – за допомогою програмного комплексу Flow Vision.

Розрахункова область (геометрія задачі) була створена за допомогою CAD-системи SolidWorks у вигляді паралелепіпеда розмірами $10 \times 10 \times 20$ м³ (рис. 2). Розміри розрахункової області визначалися, виходячи з умови, що вони повинні значно перевищувати розміри водяної завіси.

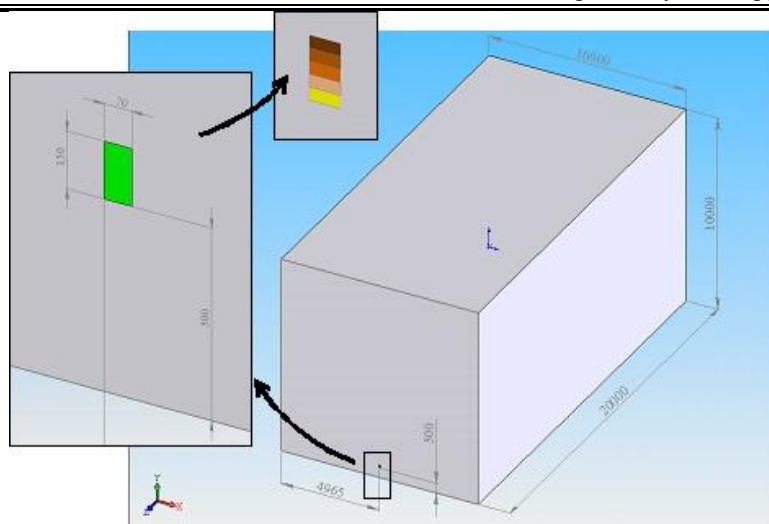


Рис. 2. Геометрія розрахункової області Flow Vision

На фронтальній грані паралелепіпеда був розташований отвір прямокутної форми розмірами $150 \times 70 \text{ мм}^2$ для вводу потоку крапель. У процесі розрахунків цей отвір довелося розбити на 5 окремих зон розмірами $30 \times 70 \text{ мм}^2$ для забезпечення більш гнучких умов задавання початкових параметрів потоку крапель.

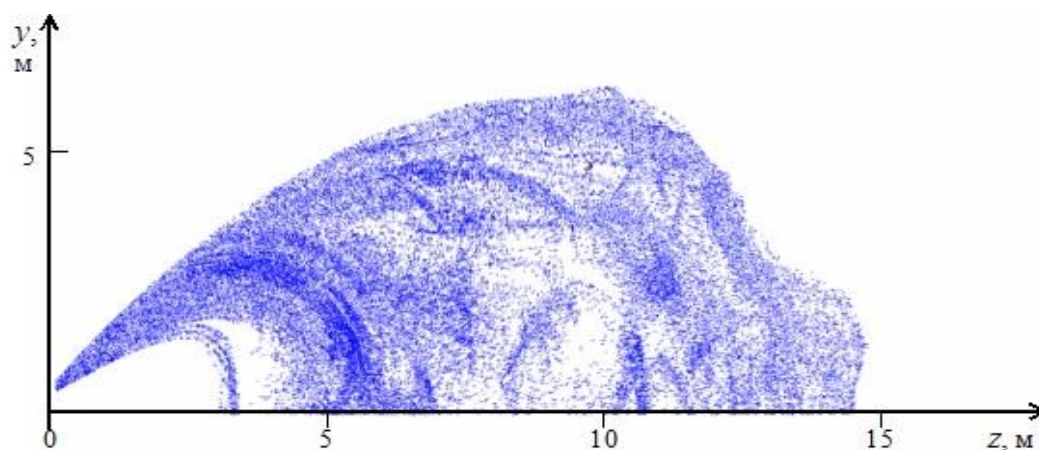


Рис. 3. Результат розрахунку траєкторій крапель (вид збоку)

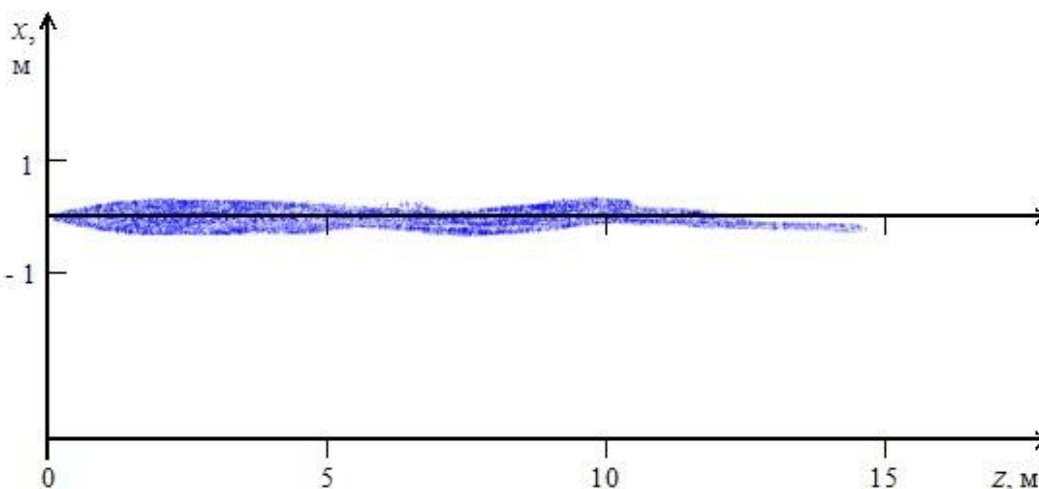


Рис. 4. Результат розрахунку траєкторій крапель (вид зверху)

Форма завіси, представлена на рис. 4, свідчить про дію ефекту самофокусування, який проявляється у стисканні траєкторій крапель до центральної вертикальної площини, внаслідок чого товщина завіси зменшується по мірі віддалення від джерела (зони вводу крапель). При цьому потік крапель, який поблизу джерела є розбіжним у межах сектора $\pm 12^\circ$ (див. граничні умови), поступово перетворюється на збіжний [8, 9].

Отже ефект самофокусування розбіжного потоку крапель полягає в тому, що швидкі краплі внаслідок тертя захоплюють повітряні маси й примушують їх рухатися в тому самому напрямку. Це відбувається локально, лише в зоні розпиленого струменя води, де повітря набуває максимальної швидкості (жовтий та червоний кольори векторів). Самі ж краплі завдяки цій взаємодії, навпаки, гальмуються.

Швидкий відносний рух повітря, згідно з законами аеродинаміки, призводить до локального зниження тиску, і навколишні повітряні маси внаслідок цього спрямовуються в цю зону. Вони утворюють обабіч струменя зустрічні вихори, які забезпечують притік нового повітря замість винесеного струменем і водночас стискають струмінь, перетворюючи його з розбіжного на збіжний.

Це явище призводить до зменшення товщини периферійної частини розпиленого водяного струменя при гасінні пожеж, де швидкості крапель майже вирівнюються зі швидкістю навколишнього повітря. В той же час, вздовж центральної площини струменя діє потужний повітряний потік у напрямку початкового руху крапель (рис. 4), який відносить краплі на значну відстань від джерела, збільшуючи загальну довжину водяної завіси. Саме цим пояснюється суттєва відмінність форми і особливо розмірів завіси при гасінні пожеж на рис. 3 від розрахованої без урахування повітряних потоків (рис. 1).

Висновки. У ході дослідження отримано окремий модуль прикладного багатоваріативного програмного забезпечення на базі програмного комплексу Flow Vision. В ході його тестування з метою вирішення прикладних завдань визначення ефективних параметрів функціонування водяних протипожежних завіс отримані результати, що дозволяють пояснити важливу роль руху повітряних мас, що виникає при їх взаємодії з потоком водяних крапель, у формуванні водяної завіси при гасінні пожеж.

ЛІТЕРАТУРА

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Iroquois_Theatre_fire, retrieved on May 4th, 2017.
2. National Fire Protection Association, “2015 NFPA 101: Life Safety Code”.
3. International Code Council, “2015 International Building Code”.
4. National Fire Protection Association, “2016 NFPA 72: Fire Alarm and Signaling Code”.
5. National Fire Protection Association, “2015 NFPA 5000: Building Construction and Safety Code”.

6. Стась С.В. Анализ гидродинамических характеристик потока жидкости в специальных пожарных стволах и насадках щелевого типа // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2008. № 2 (49), С. 139-142.

7. Єременко С.А., Ольшанський В.П., Халипа В.М., Дубовик О.О. Розрахунок пожежних гідравлічних струменів. К. 2005. 125 с.

8. Виноградов А.Г. Розрахунок векторного поля швидкостей крапель водяної завіси // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. 2008. №2 (49). Частина 2.

9. Виноградов А.Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы // Пожаровзрывобезопасность. 2010. № 5, С. 48-54.

10. Виноградов А.Г. Розрахунки траєкторних параметрів крапель водяної завіси у вертикальній площині // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2008. №53. С. 68-76.

Отримано редколегією 25.09.2019

И.М. Плюта, В.А. Тищенко, С.А. Еременко

Компьютерное моделирование водной завесы во время тушения пожаров при помощи программного комплекса FLOW VISION

В работе рассмотрены основные этапы процесса компьютерного моделирования задачи формирования водяной завесы при решении прикладных задач оперативно-спасательных подразделений по ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций связанных с выбросом опасных химических веществ. Геометрична модель сформирована за использованием оболочки CAD – системы Solid Works, что позволило провести серию расчетов и получить различные проекции траектории капель. Приведенный подход позволяет в дальнейшем определить влияние воздушных масс на эффективность процесса формирования водяной завесы при тушении пожара.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, водяная завеса, программный комплекс, тушения пожаров.

I. Pliuta, V. Tyshchenko, S. Yeremenko

Computer simulation of screen during fire extinguishing using the FLOW VISION software

The main stages of computer simulation of water screen to fulfill the applied tasks of the operational and rescue units on the response to fires and emergencies caused by hazardous chemical releases are considered in this paper. The geometric model was formed using the shell of the CAD – Solid Works system, which made it possible to perform a series of calculations and obtain different projections of the droplet trajectories. The above approach allows for further determining of the effect of air masses on the efficiency of water screen formation during fire extinguishing.

Keywords: computer simulation, water screen, software, fire extinguishing.