

# ХІМІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

УДК504.054 (45)

К.В. Синило

Київський національний авіаційний університет

## ДИНАМІКА РОЗВИТКУ СТРУМЕНЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ВІД АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА НА ПІДСТАВІ FLUENT 6.3

© Синило К.В., 2009

**Надано результати числового моделювання обмежених спутних струменів за програмою Fluent 6.3 та основні закономірності їх розвитку поблизу поверхні.**

**There are represented results of numerical simulations of wall slipsream due to program Fluent 6.3 and basic mechanisms their development close to surface.**

**Вступ.** Експлуатаційні операції аеропорту істотно впливають на якість атмосферного повітря (АП) як на території, так і навколо аеропорту. Ця проблема загострюється зі зростанням кількості повітряного транспорту та міжнародних перевезень, а також публічною стурбованістю.

Дослідження структури турбулентних струменів є важливою та актуальною темою за останні роки. Несподіваний інтерес у цій сфері зумовлено проблемами довкілля відповідно до викидів від наземного та повітряного транспорту. Використання досвіду та результатів моделювання турбулентних струменів для оцінки параметрів динаміки струменя від авіаційного двигуна (АД) зумовлює підвищення точності існуючих моделей дисперсії.

Відповідно до міжнародної практики три відомі моделі були розроблені з метою оцінки якості атмосферного повітря на території аеропорту:

- LASPORT – система моделювання емісії та дисперсії, яка ґрунтується на моделі Лангранжа [1]; та на моделі Гаусса [2];
- ALAQS – система моделювання оцінки емісій, розроблена організацією Eurocontrol [3].

Розробка численних систем моделювання є актуальною, оскільки дає змогу оцінити динаміку та структуру турбулентних струменів стислих газів від АД, що значно підвищує точність оцінки та прогнозів регулювання якості повітря на території аеропорту.

На підставі програмного забезпечення Fluent 6.3 [4] було здійснено чисельне моделювання спутного струменя поблизу обмежувальної поверхні. Поставлена задача відповідає моделі струменя відпрацьованих газів від АД, який викидається у напрямку вітру поблизу земної поверхні.

**Моделювання струменя від авіаційного двигуна за програмою Fluent 6.3.** Моделювання було виконано для струменя круглого перетину (діаметр 1 м) на висоті 3.5 м від земної поверхні. Напрямок руху модельованого струменя та оточуючого середовища збігається, при цьому швидкість оточуючого потоку (вітру) становить 2 м/с.

Чисельне моделювання спутних струменів було виконано за програмою Fluent 6.3 [4] для тривимірної задачі та з урахуванням таких початкових умов:

- температура струменя – 473 К;
- швидкість струменя – 100 м/с, 400 м/с.

З метою виконання чисельного моделювання відповідно до розглянутої задачі було побудовано розрахункову сітку за допомогою підпрограми Gambit.

Для моделювання була використана модель турбулентності LES. Базова концепція моделі LES міститься у детальному розрахунку великих вихорів і моделюванні впливу малих і

універсальних на великі. LES виконує детальний розрахунок і прогноз миттєвих характеристик потоку, а також забезпечує рішення турбулентності. У разі моделювання обмежених потоків застосування моделі LES збільшує точність та тотожність розв'язання, що зумовлено результатом детального розрахунку основних компонентів турбулентного потоку (вихрової структури) поблизу обмежувальної поверхні. Саме модель LES була використана для розв'язання основних рівнянь ГТД з метою моделювання обмежених струменів із зазначеними початковими умовами.

**Результати моделювання спутних струменів та механізми їх розвитку.** На підставі отриманих результатів розрахунку для досліджених спутних струменів та програми TecPlot було побудовано:

- Профілі максимальної швидкості, тобто вісь струменя (рис. 1).
- Параметри розповсюдження обмежених спутних струменів (рис. 2).
- Контури тиску, температури, швидкості та турбулентної в'язкості для модельованого потоку (рис. 3, 4, 5).

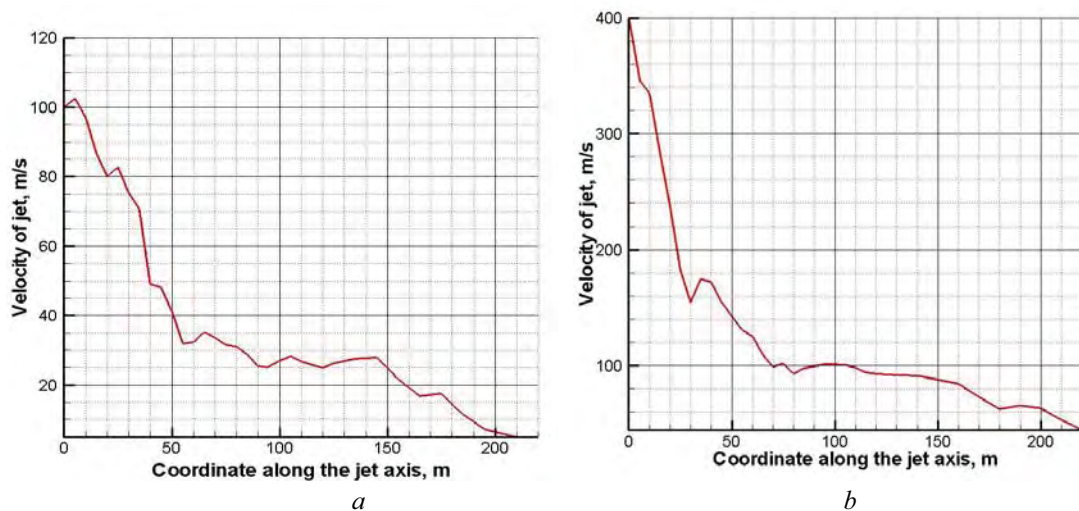


Рис. 1. Профілі максимальної швидкості для спутного обмеженого струменя (вісь струменя) з початковою швидкістю 100 м/с (а) та 400 м/с (б)

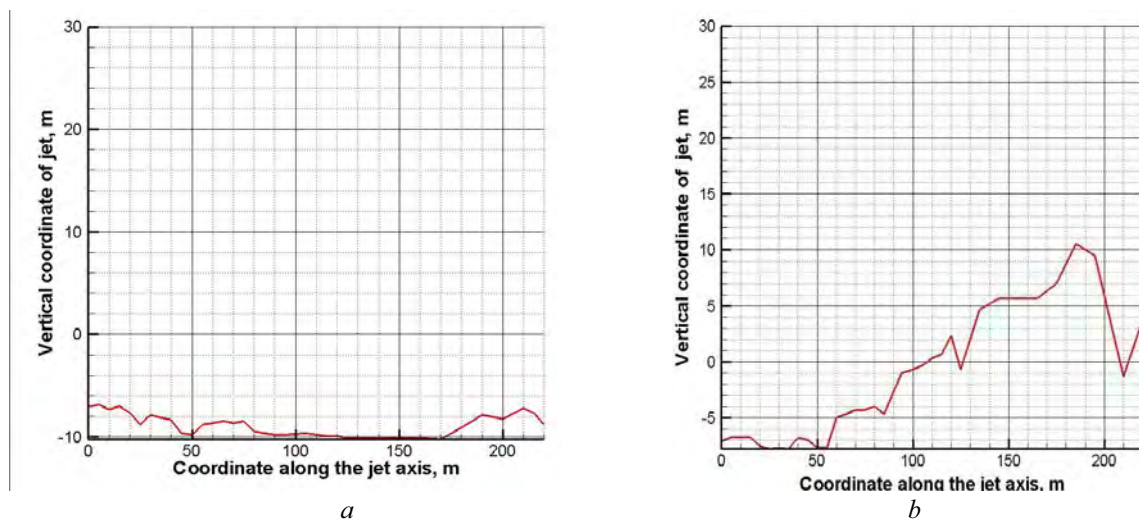


Рис. 2. Параметри розповсюдження для обмежених спутних струменів з початковою швидкістю 100 м/с (а) and 400 м/с (б)

Наведені контури та графіки виконаного чисельного моделювання дають змогу відстежити такі закономірності у характері поведінки спутного обмежувального струменя:

- падіння швидкості впродовж осі струменя прямопропорційне до віддалення від виходу струменя (рис. 1, 3);
- ефект плавучості, який виникає внаслідок перевищення температури струменя над температурою довкілля. Підйом струменя спостерігається на основній ділянці струменя (рис. 2, а, 3, а, 4, а);
- ефект Коанди – прилипання струменя до підстеляючої поверхні внаслідок зниження тиску та розрядження потоку поблизу поверхні, внаслідок цього струмінь прилипає до поверхні та рухається вздовж неї (рис. 2, б, 3, б, 4, б).

Присутність обмежувальної поверхні (стінки) зумовлює виникнення ефекту Коанди – прилипання струменя газів до стінки.

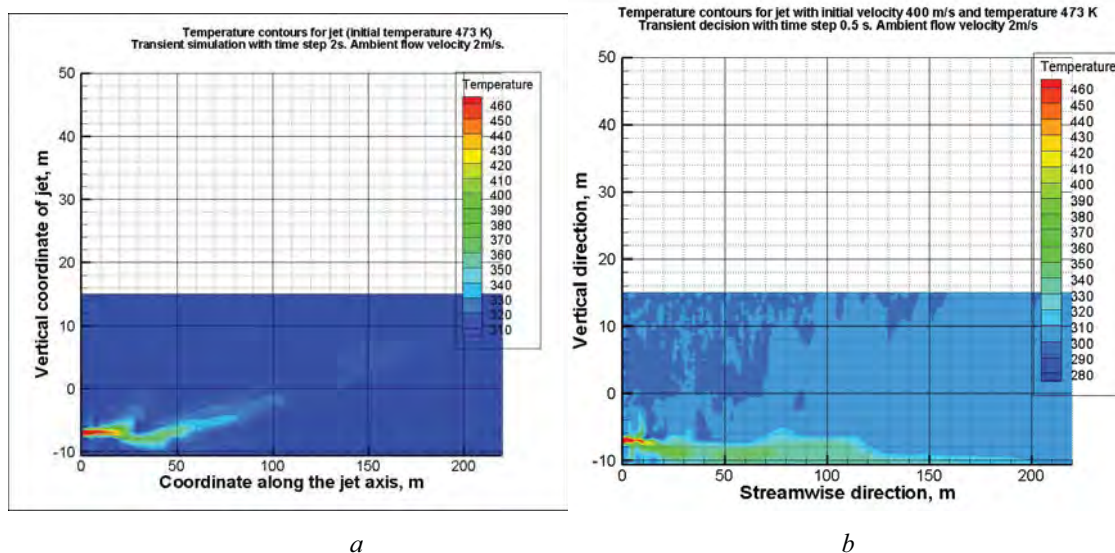


Рис. 3. Контури температури для спутних обмежених струменів із початковою температурою 473 К та початковою швидкістю 100 м/с (а) та 400 м/с (б)

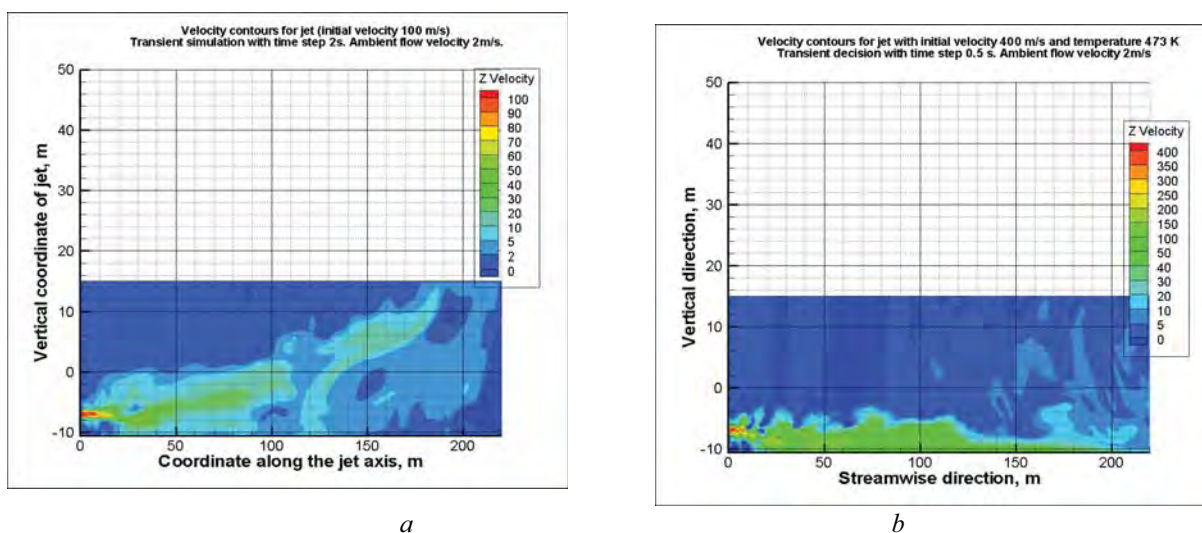


Рис. 4. Контури швидкості для спутних обмежених струменів з початковою швидкістю 100 м/с (а) та 400 м/с (б)

Згідно з результатами моделювання для струменів поблизу поверхні динаміка, структура і характер розвитку потоку визначаються взаємодією двох протилежних ефектів:

- ефекту плавучості;
- ефекту Коанди.

Перевага одного з них визначає характер поведінки струменя – спливання або прилипання.

Шарп та Вяз (Sharp@Vyas) [5] у своїх дослідженнях відзначали, що ефект прилипання потоків газів до обмежувальної поверхні на значних відстанях спостерігається до того часу, поки ефект плавучості не призводить до відривання струменя від стінки та спливання його над поверхнею.

Синклар [5] визначив параметри, які відіграють важливу роль для відривання струменя від поверхні, а саме – щодо подолання ефекту прилипання:

- температура струменя;
- швидкість струменя;
- геометрія сопла викиду струменя.

Так, у разі високих швидкостей струменя довжина ділянки прилипання струменя до стінки зростає, а відрив загальмовується та слабшає.

Результати виконаного моделювання підтверджують наведений факт. Досліджені струмені відрізняються тільки швидкістю 100 та 400 м/с, в той час, як температура однакова. Відповідно до результатів моделювання та наведених контурів механізми розвитку цих струменів у розрахунковому об'ємі протилежні. У струмені зі значною швидкістю 400 м/с домінує ефект Коанди (рис. 2, b, 3, b, 4, b), у струмені зі швидкістю 100 м/с – ефект плавучості (рис. 2, a, 3, a, 4, a).

Присутність обмежувальної поверхні вносить зміни до характеру турбулентності потоку, а отже, й до вихрової структури потоку. Формування ламінарного підшару призводить до значної в'язкості поблизу обмежувальної поверхні [6]. Інтенсивність вихора, спричиненого присутністю поверхні, зростає та досягає істотних значень порівняно з вільним струменем. Утворення вихора у зоні пониженого тиску зумовлює зрушення струменя до стінки.

Контури турбулентної в'язкості (рис. 5) на підставі виконаного моделювання підтверджують вплив підстеляючої поверхні на характер розвитку спутного струменя, а саме – його зсування у напрямку поверхні (рис. 5, b). Слід зазначити, що у разі домінування ефекту плавучості у спутних обмежених струменях, контури турбулентної в'язкості відображають протилежну тенденцію, а саме – підйом струменя над підстеляючою поверхнею (рис. 5, a).

Отже, розвиток обмеженого струменя відбувається за такою схемою: струмінь зміщується у напрямку поверхні та прилипає до неї під дією ефекту Коанди. Швидкість потоку зменшується під час віддалення від виходу струменя. Вихори, спричинені присутністю поверхні, також зменшуються (від'ємна складова завихреності), а потім вступають у дію сили плавучості (позитивна складова завихреності), які спричиняють відрив струменя.

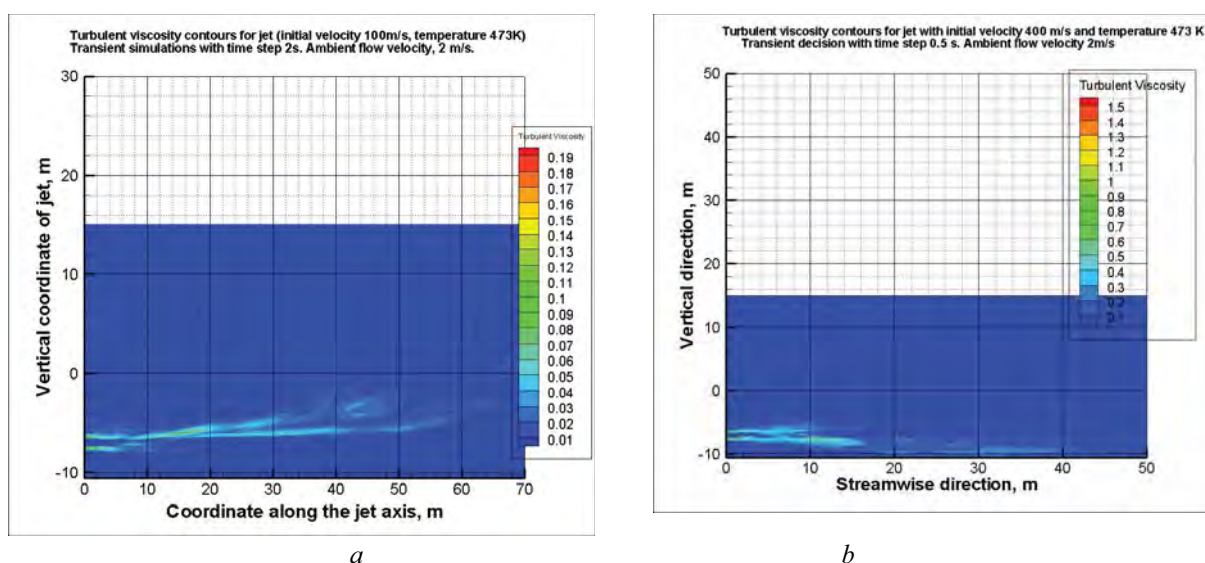


Рис. 5. Контури турбулентної в'язкості для спутних обмежених струменів з початковою температурою 473 К та початковою швидкістю 100 м/с (a) and 400 м/с (b)

1. Janicke Consulting, LASPORT version 1.3 Reference Book, November 2005, 93. 2. Emissions and Dispersion Modelling System (EDMS) Reference Manual. FAA-AEE-01-01. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Washington, D.C. CSSI, Inc., Washington, D.C. September 2002. 3. Peeters S., ALAQS-AV Application Reference Manual, Eurocontrol Experimental Centre, 2003. 4. ALAQS CFD Comparison of Buoyant and Non-Buoyant Turbulent Jets, EUROCONTROL Experimental Centre ALAQS, School of Engineering and Design, Brunel University, UK. 5. FLUENT 6.2 User's Manual (2003), Fluent Inc, Lebanon, NH, USA. 6. Абрамович Г.Н. Теорія турбулентних струменів. — М., 1963.

УДК 628.543

О.А. Атаманюк<sup>1</sup>, М.П. Назаренко<sup>2</sup>, О.М. Назаренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ВАТ “Запоріжсталь”,

<sup>2</sup>Запорізька державна інженерна академія

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИХ ЯВИЩ ПРИ ЗНЕВОДНЕННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАМІВ

© Атаманюк О.А., Назаренко М.П., Назаренко О.М., 20010

**Виконано дослідження електролізу шламової води і електрокінетичних явищ під час процесу згущення, осадження і зневоднення шламів металургійного виробництва гравітаційним методом з обробленням їх постійним струмом електрики.**

**The research on the electrolysis of sludge water and electrolyte phenomena in the process of the metallurgical production sludges condensation, deposition and dehydration by means of gravitation method while treating them with direct electrical current is performed.**

Під час дослідження процесів згущення, осадження і зневоднення шламів металургійного виробництва гравітаційним методом були проведені серії активних експериментів за планами другого порядку з метою знаходження оптимальних умов. Чинниками впливу були температура і напруга постійного електричного струму. Оптимальними виявились температура осадження +60 °С і напруга постійного струму – 200 В. За цих оптимальних умов проведення осадження шламів упродовж 60 хв ущільнення твердої фази досягало 40–43 % за середньої вологи 50–60 %.

Експерименти проводились на пілотній установці, зображеній на рис. 1.

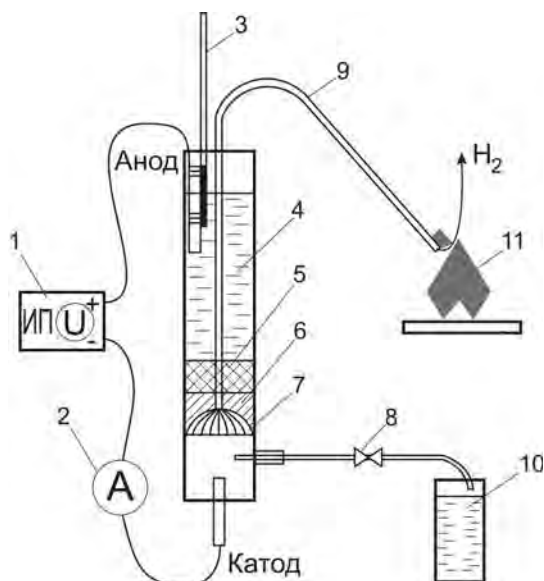


Рис. 1. Пілотна установка для визначення електрокінетичних явищ і параметрів фільтрації шламів під дією гравітаційних сил і напруги постійного струму електрики: 1 – джерело постійного струму з вольтметром; 2 – амперметр; 3 – штанга для регулювання висоти розміщення анода; 4 – суспензія, що досліджується; 5 – шар шламу, що ущільнюється; 6 – дренаж із піску; 7 – дренажний щільовий ковпачок; 8 – вентиль для регулювання кількості фільтрату, що скидається; 9 – трубка для відведення газів, які виділились на катоді; 10 – смітник для збору фільтрату; 11 – джерело відкритого полум'я