

УДК 504.054 (45)

Синило К.В. (Україна, Київ)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУМЕНЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ВІД ТУРБОРЕАКТИВНОГО АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ЗА ПРОГРАМОЮ FLUENT 6.3

Вступ

Експлуатаційні операції аеропорту суттєво 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 зумовлений проблемами навколишнього середовища, відповідно до викидів від наземного та повітряного транспорту. Використання досвіду та результатів моделювання турбулентних струменів для оцінки параметрів динаміки струменя від авіаційного двигуна (АД) обумовлює підвищення точності існуючих моделей дисперсії.

Відповідно до міжнародної практики, 3 відомі моделі було розроблено з метою оцінки якості атмосферного повітря на території аеропорту:

- LASPORT – система моделювання емісії та дисперсії, яка базується на моделі Лангранжу[1];
- EDMS – система моделювання емісії та дисперсії, яка базується на моделі Гауса[2];
- ALAQS – система моделювання оцінки емісій, розроблена організацією Eurocontrol [3].

Розробка чисельних систем моделювання є актуальною, оскільки дозволяє 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 за програмою FLUENT 6.3

На підставі програмного забезпечення Fluent 6.3 [4] було виконано чисельне моделювання струменя відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна, який викидається у атмосферне повітря у напрямку вітру поблизу земної поверхні. Таким чином, наведена задача відповідає моделі обмеженого спутного струменя.

Розрахунок було здійснено для режиму малого газу: температура струменя складала 423 К, а швидкість – 98 м/с.

Моделювання було виконано для наступних метеорологічних умов: температура повітря складала 298 К, швидкість вітру – 2 м/с. Слід зазначити, що напрямок вітру збігається зі струменем викиду від АД.

Моделювання було виконано для струменя круглого розтину (діаметр 1м) на висоті 3.5 м від земної поверхні.

З метою виконання чисельного моделювання відповідно до розглянутої задачі було побудовано 2 розрахункові сітки (mesh 1, mesh 2) за допомогою підпрограми Gambit.

Розрахункова сітка становить собою комплексну область з елементами циліндру та паралелепіпеду. Довжина розрахункової зони складає 220м, ширина та висота – 30м.

Для моделювання було використано чисельний метод LES, який використовується з метою розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса, які визначають динаміку розвитку турбулентного потоку. У випадку моделювання обмежених потоків, застосування моделі LES збільшує точність та схожимість розв'язання, що обумовлено результатом детального розрахунку основних компонентів турбулентного потоку (вихревої структури) поблизу обмежувальної поверхні.

Аналіз результатів моделювання струменя відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна за програмою Fluent 6.3

На підставі отриманих результатів розрахунку для розглянутої задачі та програми TecPlot було побудовано:

- профіль максимальної швидкості, тобто вісь струменя (горизонтальний профіль), рис. 2;

- контури швидкості, температури та турбулентної в'язкості для потоку, що моделюється, рис. 2, 3, 4;
- профіль горизонтального та вертикального розповсюдження струменя (вертикальний профіль), рис.5.

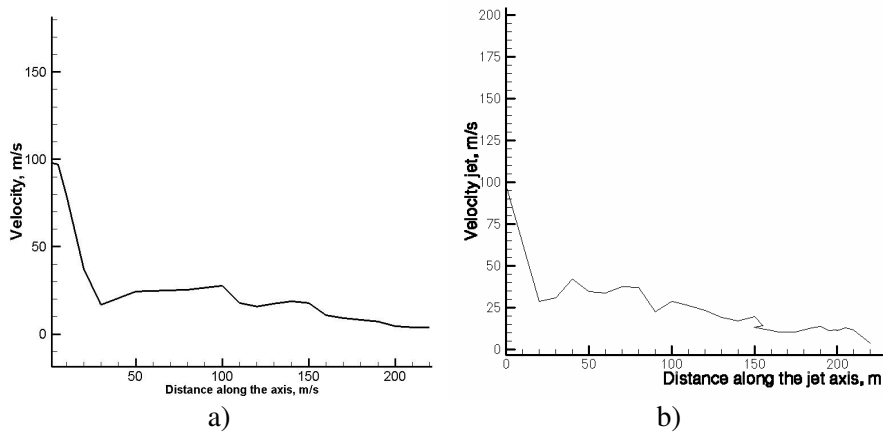


Рисунок 1 – Профіль максимальної швидкості струменя (вісь струменя) відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна на підставі розрахункових сіток mesh 1 (a) та mesh2 (b)

Наведені контури та графіки виконаного чисельного моделювання дозволяють відстежити такі закономірності у характері поведінки струменя відпрацьованих газів поблизу земної поверхні:

- падіння швидкості впродовж вісі струменю прямопропорційне віддаленню від виходу струменя;
- ефект плавучості, який виникає внаслідок перевищення температури струменя температури навколишнього середовища. Підйом струменя спостерігається на основній ділянці струменя;
- ефект Коанди – прилипання струменя до підстеляючої поверхні, внаслідок зниження тиску та розрядження потоку поблизу поверхні, в результаті струмінь прилипає до поверхні та рухається уздовж неї.

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 [5]. Інтенсивність вихора, спричиненого присутністю поверхні, зростає та досягає суттєвих значень у порівнянні з вільним струменем. Утворення вихора у зоні пониженого тиску обумовлює 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 випадку домінування ефекту плавучості у спутних обмежених струменях, контури турбулентної в'язкості відображають протилежну тенденцію, а саме підйом струменя над підстеляючою поверхнею(рис. 5, a) .

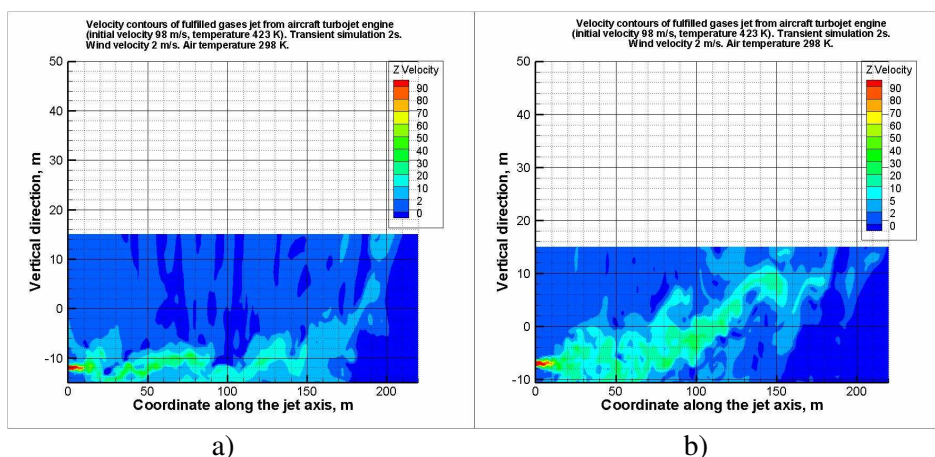


Рисунок 2 – Контури швидкості для струменя відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна на підставі розрахункових сіток mesh 1 (a, c) та mesh2 (b, d)

Таким чином, на підставі наведених контурів та профілів характеристик потоку, розвиток обмеженого струменя відбувається за такою схемою: струмінь зміщується в напрямку поверхні та прилипає до неї під дією ефекту Коанди. Швидкість потоку зменшується під час віддалення від виходу струменя, і в дію вступають сили плавучості, які спричиняють відрив струменя. Контури турбулентної в'язкості (рис.4), на підставі виконаного моделювання, підтверджують домінування ефекту плавучості у спутному струмені вілпрацьованих газів від АД і відображають підйом струменя над підстеляючою поверхнею.

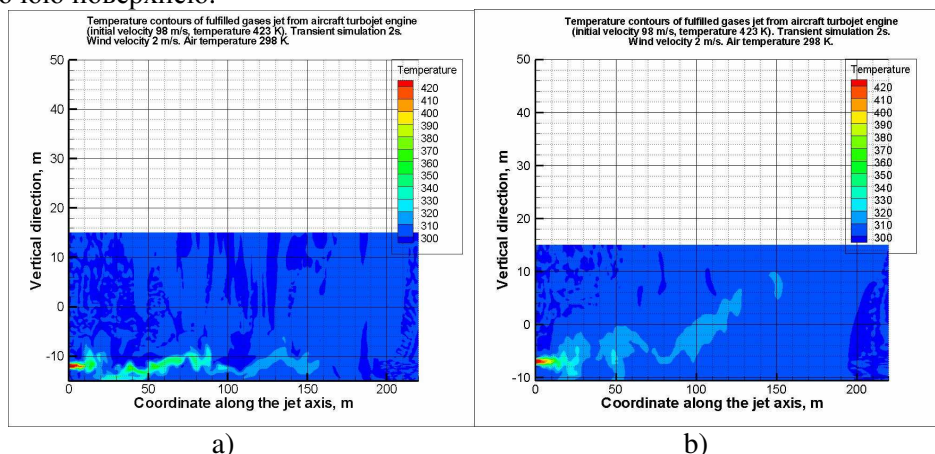


Рисунок 3 – Контури температури для струменя відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна на підставі розрахункових сіток mesh 1 (a, c) та mesh2 (b, d)

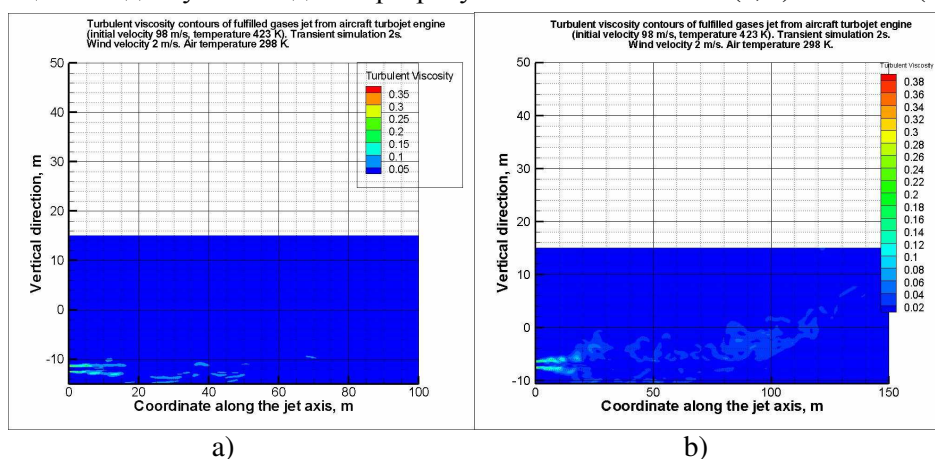


Рисунок 4 – Контури турбулентної в'язкості для струменя відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна на підставі розрахункових сіток mesh 1 (a) та mesh2 (b.)

Оцінка ефекту плавучості струменя відпрацьованих газів від АД відповідно до комплексної моделі НАУ та чисельного моделювання Fluent 6.3

Результати виконаного чисельного моделювання відображають та підтверджують виникнення ефекту плавучості у струмені відпрацьованих газів від АД. Спливання струменя обумовлено дією Архимедових сил, які виникають унаслідок перевищення температури газів струменя (423 K) відносно температури оточуючого повітря (298 K).

З урахуванням заданих початкових умов (температура – 423K, швидкість – 98м/с) було визначено висоту спливання струменя відпрацьованих газів за допомогою комплексної моделі НАУ та на підставі результатів чисельного моделювання за програмою Fluent 6.3. Також було визначено подовжню та вертикальну координату скривленої ділянки струменю, внаслідок дії Архимедових сил. Результати розрахунку зведено у таблицю 2.

**Результати розрахунку плавучості струменя газів за чисельним моделюванням
(Fluent 6.3) та комплексною моделлю НАУ**

	Розрахунок	Висота спливання, „h _A ”, м	Висота двигуна, м	Вертикальна ко-та струменя, м	Продольна ко-та струменя, м
1	Mesh1	21.54	3.5	25.04	210
2	Mesh2	20.62	3.5	24.12	175
3	Comp.NAU	42.53	3.5	48.03	250

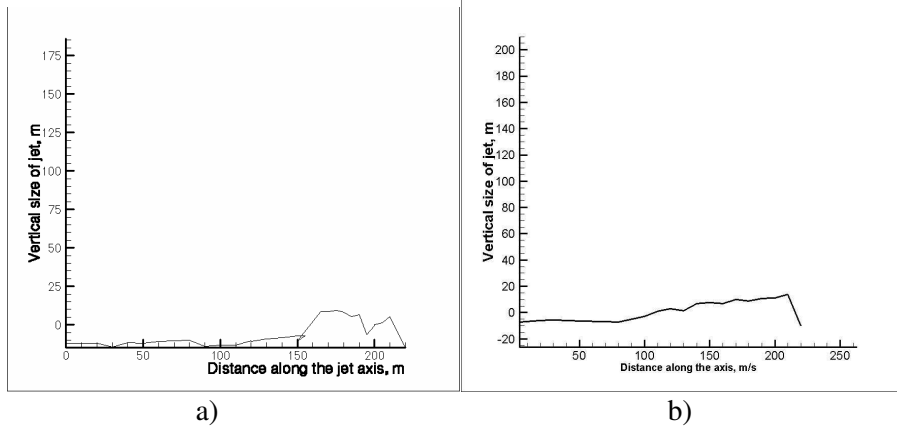


Рисунок 5 – Параметри розповсюдження струменя відпрацьованих газів від турбореактивного авіаційного двигуна на підставі розрахункових сіток mesh 1 (a) та mesh2 (b)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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. FLUENT 6.2 User's Manual (2003), Fluent Inc, Lebanon, NH, USA
5. ALAQS CFD Comparison of Buoyant and Non-Buoyant Turbulent Jets, EUROCONTROL Experimental Centre ALAQS, School of Engineering and Design, Brunel University, UK.