

Multi-component composite coatings based on refractory compounds with a low speed of diffuse interaction, are concerned in the article in order to increase the service life. A study was conducted to increase the heat resistance of working blades, in which a diffusion borosilicide coating was formed on their surface; on the surface of coating a layer of molybdenum disilicide with a thickness of 120  $\mu\text{m}$  was applied using the slip method.

Experiments showed that when the thickness (over 120 microns) of the layer of disilicide suspension was increased, its detachment from the borosilicate surface of the working blade was observed. It was found that the thickness of the  $\text{MoSi}_2$  layer should not exceed 120 microns. Based on the results of the test of borosilicinated blades with a layer of  $\text{MoSi}_2$ , the combined coating at a temperature of 1,600 $^{\circ}\text{C}$  works for 450 hours, which is one and a half times longer than the service life of samples with only a borosilicide coating. The slip layer made of  $\text{MoSi}_2$  is found to increase the service life of the borosilicide coating. A metallographic analysis of the samples was carried out, which proved that the multi-layered coating is a composition based on molybdenum disilicide, reinforced with refractory oxides. An X-ray phase analysis of the protective surface layer of the slip coating was carried out, which showed that after high-temperature treatment, in addition to molybdenum silicides, it contains a number of the following oxides:  $\text{Zr SiO}_4$ ,  $\text{HfSiO}_4$ ,  $\text{YAlO}_3$ ,  $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_3$ .

According to the study, organic compounds of one- and two-component additives, introduced into the saturating mixture, ensure the formation of a borosilicide coating on refractory metals with a certain arrangement of boride and silicide layers and an adjustable structure of the silicide layer. Therefore, in aggregate, these factors contribute to increasing the service life of the protective diffuse coating.

**engines, gas turbine engines, diffuse coating, borosilicide coating, heat resistance, refractory compounds**

*Одержано (Received) 27.03.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 31.03.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023*

УДК 656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.127-135](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.127-135)

**Л.А. Тарандушка**, проф., д-р техн. наук, **М.П. Рудь**, доц., канд. техн. наук,

**О.В. Батраченко**, доц., д-р техн. наук

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*

*e-mail: tarandushkal@ukr.net; hochspannung77@gmail.com; avbatrachenko1980@gmail.com*

## Аеродинамічний аналіз впливу повітряних потоків від вантажівки на рух мотоцикла

В статті досліджується проблема забезпечення безпеки руху мотоцикла в умовах турбулентного повітряного сліду створеного великогабаритним вантажним автомобілем. При керуванні мотоциклом особливу небезпеку становить рух в умовах турбулентних повітряних потоків з різкою зміною їх швидкості та напрямку. Було побудовано аеродинамічну модель руху вантажного автомобіля і мотоцикла для різного їх взаємного розташування. Було проведено дослідження моделей турбулентності, щоб оцінити точність найпоширеніших моделей Нав'є-Стокса, усереднених за Рейнольдсом таких як  $k-\epsilon$  і  $k-\omega$ . Встановлено зони в яких виникають найбільші зміни тиску повітря при русі мотоцикла, визначено величину цих змін. Відповідно надано рекомендації щодо особливостей руху мотоцикла при обгоні великогабаритного вантажного автомобіля та безпечної траєкторії при якій такий маневр найбільш безпечний для водіїв з недостатнім досвідом управління мотоциклом.

**аеродинамічний аналіз, моделі турбулентності, безпека руху мотоцикла**

**Постановка проблеми.** Обчислювальна гідродинаміка (CFD) – це галузь науки, що вивчає рух рідин та газів за допомогою математичних методів та комп'ютерної технології. Вона знайшла застосування в багатьох галузях, таких як авіаційна та автомобільна промисловість, енергетика, морська промисловість, медицина та інші.

Постійно зростаюча обчислювальна потужність комп'ютерів, вдосконалення чисельних методів CFD аналізу, збільшення доступності та різноманітності програмного забезпечення дозволяють постійно розширювати сферу використання обчислювальної гідродинаміки.

В автомобільній промисловості найбільш поширене використання CFD для аналізу зовнішньої аеродинаміки транспортних засобів з метою отримання їх оптимальної форми, яка дозволить зменшити витрати палива, підвищити зчеплення з дорогою та стійкість при виконанні маневрів тощо. В той же час перспективним напрямом використання обчислювальної гідродинаміки для аналізу сценаріїв руху серійних транспортних засобів в реальних ситуаціях на дорогах загального користування. Зокрема привертає увагу дослідження впливу повітряних потоків на рух мотоцикла.

Згідно звітам Національної Адміністрації Безпеки Дорожнього Руху США (NHTSA) мотоцикл є одним з найбільш небезпечних транспортних засобів з точки зору дорожньо-транспортних пригод з людськими жертвами. Зокрема у 2020 році серед травмованих у ДТП мотоциклісти становили 3,6% в той же час серед тих хто отримав смертельні травми мотоциклістів було 15,4% [1]. Аналіз аварій за участю мотоциклів показав, що найчастіше їх причинами є недостатня вправність та невміння керувати мотоциклом, а також недостатня увага. Саме тому на нашу думку важливим завданням є визначення можливих небезпечних ситуацій, які можуть виникнути при русі мотоцикла та надання рекомендацій водіям для дій в таких випадках.

Однією з небезпечних ситуацій для мотоцикліста є рух в умовах турбулентних потоків, які створюються великогабаритними вантажними автомобілями на швидкісних трасах. Виконання аеродинамічного аналізу впливу повітряних потоків від вантажівки на рух мотоцикла важливо з кількох причин:

**Безпека:** аеродинамічні сили, створювані повітряними потоками від вантажівки, можуть значно вплинути на стійкість і керованість мотоцикла. Аналіз може допомогти визначити потенційні небезпеки та розробити стратегії мінімізації ризику нещасних випадків.

**Ефективність.** Повітряні потоки також можуть впливати на продуктивність мотоцикла, включаючи його швидкість, економію палива та керованість. Розуміючи аеродинамічні сили, дизайнери можуть оптимізувати конструкцію мотоцикла, щоб зменшити опір і покращити продуктивність.

**Комфорт:** високошвидкісні повітряні потоки можуть спричинити дискомфорт для водіїв, включаючи удари, турбулентність і шум. Аеродинамічний аналіз може допомогти визначити способи зменшити ці ефекти та зробити поїздку комфортнішою.

Аеродинамічний аналіз руху вантажівки та мотоцикла передбачає дослідження потоку повітря навколо обох транспортних засобів і того, як цей потік впливає на їхній рух. Фактори, які можна враховувати, включають розмір і форму транспортних засобів, їх швидкість і характеристики повітряного потоку.

Коли вантажівка рухається на високій швидкості, позаду неї створюється турбулентний повітряний слід. Це турбулентне повітря може вплинути на рух мотоцикла. Турбулентність може спричинити хитання мотоцикла та стати нестабільним, особливо на високих швидкостях. Крім того, турбулентне повітря може створювати силу опору, яка сповільнює мотоцикл і збільшує споживання палива.

Щоб мінімізувати вплив турбулентного повітря, мотоцикліст може розташуватися на безпечній відстані позаду вантажівки. Це допоможе зменшити турбулентність і створити більш плавний потік повітря навколо мотоцикла. Водію також може знадобитися відрегулювати швидкість, щоб не потрапити в турбулентність

або кільватер вантажівки.

Іншим фактором, який може вплинути на аеродинаміку мотоцикла, є форма та дизайн самого мотоцикла. Мотоцикл обтічної форми з обтічником або лобовим склом може зменшити силу опору, спричинену потоком повітря, і підвищити його стійкість. Форма і дизайн коліс і шин мотоцикла також можуть впливати на його аеродинаміку.

Загалом, аеродинамічний аналіз руху вантажівки та мотоцикла передбачає вивчення різних факторів, які можуть впливати на їхній рух та стійкість.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із перших практичних застосувань обчислювальної гідродинаміки був аналіз зовнішньої аеродинаміки транспортних засобів. Нині ці інструменти широко використовуються як у сферах проектування спортивних, так і цивільних автомобілів [2-3]. Що стосується чисельних досліджень аеродинаміки мотоцикла, то література, навпаки, дуже обмежена. Через зовсім іншу природу потоку в порівнянні з потоком навколо автомобіля він характеризується рядом нетипових елементів і несе в собі багато проблем [4-5].

Фундаментальною основою обчислювальної гідродинаміки є чисельне розв'язання рівняння Нав'є–Стокса. Першим етапом для розв'язання задачі гідродинаміки завжди є визначення характеру потоку. Існують два типи потоків - ламінарний і турбулентний. Критерієм визначення типу потоку є число Рейнольдса. Слід одразу сказати, що у всіх практичних випадках задач аеродинаміки автомобілів потік повітря буде турбулентним.

В даний час існує три основні групи методів моделювання турбулентності

- пряме чисельне моделювання (DNS) - безпосереднє (без будь-якого попереднього опосередкування) чисельне рішення нестационарних тривимірних рівнянь Нав'є-Стокса

- моделювання великих вихорів (LES) - ідея полягає у фільтрації характеристик турбулентності від короткохвильових неоднорідностей.

- середні за Рейнольдсом рівняння Нав'є-Стокса (RANS) - рішення середніх за часом рівнянь для, відповідно, середніх характеристик турбулентної течії

Пряме чисельне моделювання турбулентних течій потребує найбільшої кількості обчислень. Особливістю рівнянь Нав'є-Стокса є отримання дуже відмінних результатів навіть при незначній зміні початкових умов. Хоча на сьогодні отримані прямі розв'язки рівнянь Нав'є-Стокса для деяких випадків потоків, але вважається, що використання цих методів для вирішення прикладних задач стане можливим не раніше другої половини 21-го століття.

Моделювання великих вихорів дозволяє відфільтрувати дрібні вихори на молекулярному рівні, але при цьому враховувати структури потоку розміром менше ніж розмір обчислювальної сітки. Ці методи дозволяють отримувати дані про швидкозмінні турбулентні течії, такі як виникають при взаємному русі двох тіл, як в розглядуваній задачі. Однак використання цих методів можливе лише для тривимірної геометрії.

Усереднені за Рейнольдсом рівняння мають найбільше застосування в практичних задачах аеродинаміки автомобілів. Залежно від кількості і виду додаткових рівнянь ці методи поділяють на:

- алгебраїчні (L-VEL, Y+), які найменш вимогливі до обчислювальних ресурсів, але й найменш точні;
- з одним диференціальним рівнянням (модель Спаларта-Аллараса);
- двома диференціальними рівняннями з пристінковими функціями (стандартна та реалістична k- $\epsilon$ , k- $\omega$ );

- двома диференціальними рівняннями без пристінкових функцій (SST,  $v2f$ ).

Кожна з моделей має свої переваги та недоліки, і вибір моделі залежить від конкретної задачі та ресурсів, які доступні для її розв'язування.

Найбільш поширеною є модель  $k-\epsilon$ : ця модель базується на розподілі енергії турбулентних коливань ( $k$ ) та їх ефективній дифузії ( $\epsilon$ ) в просторі. Вона дозволяє вирішувати задачі зі складними течіями, такими як течія внутрішнього простору, але не дуже ефективна для течій з великими градієнтами.

Також часто використовується модель  $k-\omega$  в якій замість рівняння дисипації вирішується рівняння швидкості дисипації турбулентної енергії. Модель менш чутлива до роздільної здатності сітки порівняно з моделлю  $k-\epsilon$ , краще обробляє анізотропні потоки результат рішення залежить від початкового наближення, оскільки менш стабільна.

Також для спрощення вирішення задачі використаємо модель нестисливої рідини – математична модель суцільного рідкого середовища, густина якого залишається незмінною при зміні тиску в ньому. Така модель може використовуватись для потоків газу з швидкістю менше 0,3 Маха.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження проблеми забезпечення безпеки руху мотоцикла в умовах турбулентного повітряного сліду створеного великогабаритним вантажним автомобілем. Надати рекомендації щодо безпечної траєкторії руху мотоцикла при виконанні маневру обгону великогабаритного вантажного автомобіля.

**Виклад основного матеріалу.** У представленому дослідженні для дослідження аеродинаміки мотоцикла використовувалися методи обчислювальної гідродинаміки (CFD). Хоча CFD наразі є перевіреним і надійним методом, який використовується для вивчення та проектування аеродинаміки, на точність і правильність результатів впливає низка елементів: деталі геометрії, правильна числова сітка, вибір моделі турбулентності, визначення граничних умов тощо. Таким чином, добре проводити експериментальне підтвердження або порівняння з експериментальними даними з літератури. У нашому дослідженні контрольне моделювання було моделюванням тіла Ахмеда (стандартна модель, яка широко застосовується в автомобільній промисловості для валідації засобів моделювання). Другим важливим елементом, який дозволяє оцінити правильність моделювання, є представлення детальної специфікації, починаючи з тестів збіжності сітки, застосованих числових параметрів і визначених умов потоку. В цьому розділі описана методологія дослідження.

– Побудова геометрії моделі

Для проведення аеродинамічного дослідження було створено спрощені CAD-моделі сідлового тягача «європейської» (безкапотної) схеми та дорожнього мотоцикла. В моделях максимально спрощені ті елементи, які істотно не впливають на аеродинаміку, з метою зменшення часу обчислень, при збереженні реалістичності моделі. Зовнішній вигляд моделей та їх габаритні розміри вказані на рисунку 1.

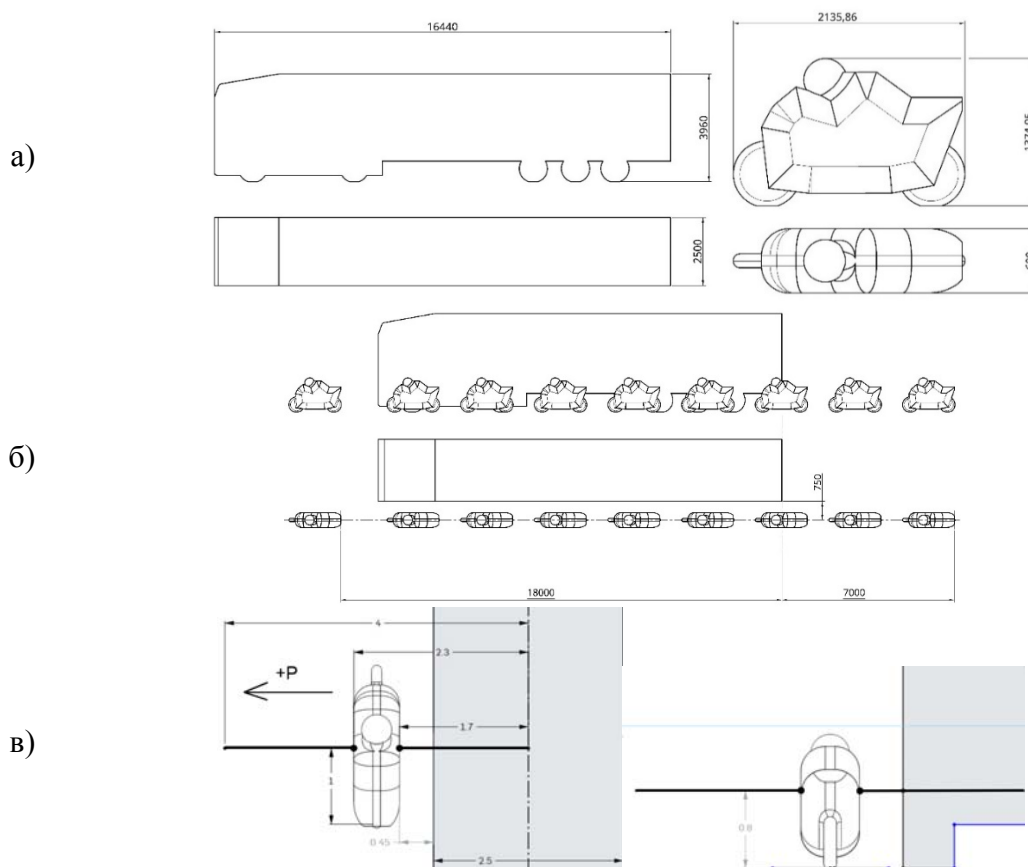


Рисунок 1 – CAD модель великогабаритного вантажного автомобіля та мотоцикла для яких проводиться аналіз (а), траєкторія руху мотоцикла при обгоні (б), поперечний переріз для якого наводяться розрахунки швидкості та тиску повітря (в).

*Джерело: розроблено авторами*

#### Обчислювальна область та граничні умови

Розміри домену в якому були проведені обчислення аеродинаміки обрані виходячи з умови мінімальної взаємодії зовнішніх границь області з границями об'єктів всередині. Це дозволить повноцінно дослідити структуру потоку, що виникає за рухомими вантажівкою і мотоциклістом. Висота (8 м), ширина (10 м) і довжина (40 м) обчислювальної області були взяті для всіх проаналізованих випадків.

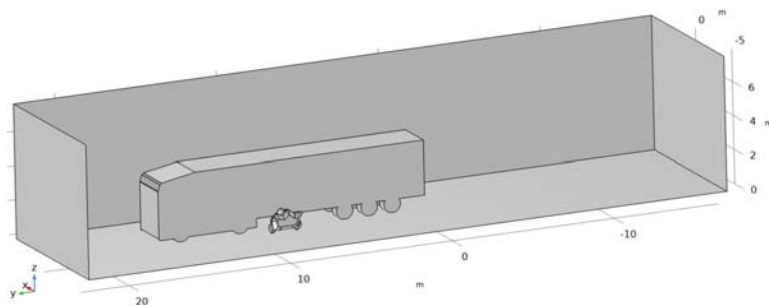


Рисунок 2 – Обчислювальна зона для якої досліджується аеродинамічна модель

*Джерело: розроблено авторами*

Розроблена модель використовує чотири типи граничних умов.

Для моделювання суцільних стін транспортних засобів та поверхні дороги (рисунок 3а) використовується стандартна гранична умова відсутності ковзання. Стіна без ковзання – це стінка, у якій швидкість текучої речовини відносно швидкості стінки дорівнює нулю. Для нерухомої стіни це означає, що  $\mathbf{u}=0$ .

Для бокових та верхньої стінок домену (рисунок 3б) використано параметр ковзання, який передбачає умову відсутності проникнення речовини через стінку. Тобто нормальна складова вектору швидкості  $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}=0$ . Неявно вважається, що на стінці ковзання немає в'язких ефектів і, отже, не розвивається прикордонний шар. З точки зору моделювання, це може бути розумним наближенням, якщо основним ефектом стінки є запобігання виходу речовини з області. Це не відповідає реальним умовам, але враховуючи достатню відстань між стінками транспортних засобів та стінками домену, може бути використано без значної втрати точності моделі.

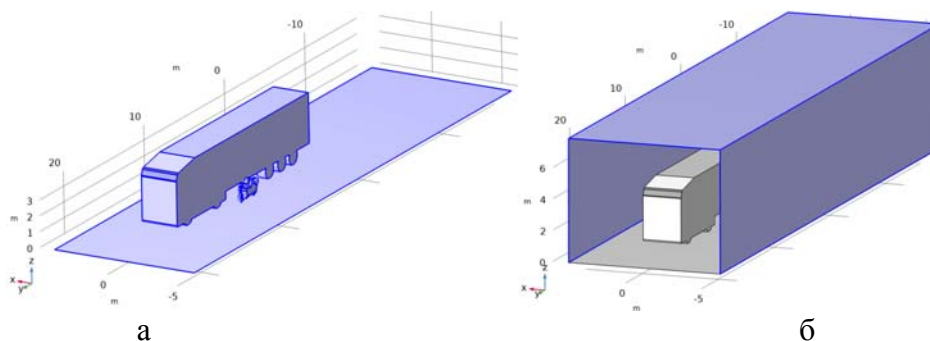


Рисунок 3 – Граничні умови зони дослідження (умови ковзання повітря на стінках моделі)  
Джерело: розроблено авторами

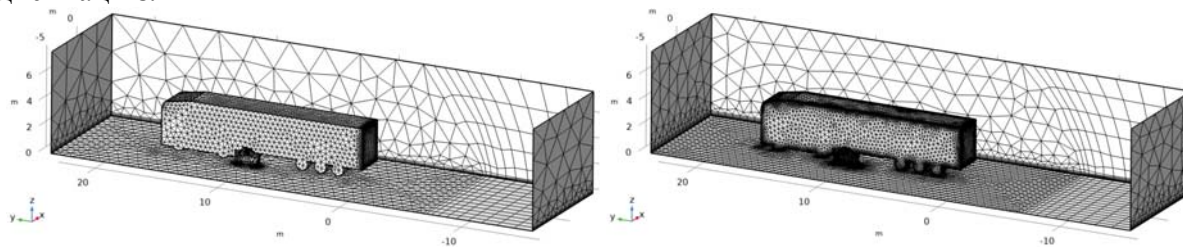
Інші дві граничні умови стосуються входу та виходу потоку з домену. Через вхідну границю задано швидкість руху повітряного потоку. Оскільки обчислення тривимірної нестационарної задачі для турбулентного потоку повітря потребує значного обсягу обчислень і є доцільним з використанням високопродуктивних обчислювальних кластерів або суперкомп'ютерів для нашої задачі прийнято припущення однакової швидкості руху повітря на при стаціонарній геометрії моделі. Швидкості руху вантажного автомобіля і мотоцикла відносно дорожнього полотна зазвичай значно більше ніж різниця їх швидкостей. Тому для нашої задачі приймемо усереднене значення швидкості 30 м/с (108 км/год). На виході з моделі приймемо граничну умову постійного атмосферного тиску.

#### Побудова сітки.

При побудові розрахункової сітки необхідно враховувати зони в яких виникають підвищені градієнти швидкості потоку та тиску повітря. В першу чергу це стосується пристінних зон біля яких відбувається формування турбулентного потоку. Тому біля стін досліджуваних транспортних засобів розмір комірок в напрямку нормальному стінці має бути значно менше ніж в тангенційному. Також в зонах передніх кромek кабiни вантажiвки та безпосередньо у кiльватерi вантажiвки виникають особливостi потоку, якi потребують бiльш точної сiтки. З iншої сторони зона на вiдстанi за автомобiлем потребує розрахунку для повноцiнної оцiнки потоку, але її вплив на шуканi параметри взаємодiї вантажiвки i мотоцикла значно менший, тому сiтка в цiй зонi намирено загрублена. На рисунку 4 показаний приклад розбиття геометрiї на 68329 елементiв (рисунок 4а) та на 278688 елементiв (рисунок 4б).

#### Чисельний вирішувач.

Вирішення задачі турбулентного потоку, як зазначалось вище потребує використання усереднених рівнянь Нав'є-Стокса. Серед доступних для використання в пакетах CFD моделювання моделей турбулентності для нашої задачі використано найбільш поширену модель (k-ε). Модель вводить два додаткових рівняння переносу та дві залежні змінні: турбулентну кінетичну енергію k та швидкість турбулентної дисипації ε.



а б  
Рисунок 4 – Розбиття на сітку обчислювального простору (зовнішні стінки, та стінки транспортних засобів

Джерело: розроблено авторами

Турбулентна в'язкість моделюється як

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{1}$$

Рівняння переносу для k представлено у наступному вигляді:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla k = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \Delta k \right) + P_k - \rho \varepsilon \tag{2}$$

де

$$P_k = \mu_T \left( \nabla \mathbf{u} : (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right) - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \mathbf{u} \tag{3}$$

Рівняння переносу для ε має вигляд:

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla \varepsilon = \nabla \cdot \left( \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4}$$

В результаті

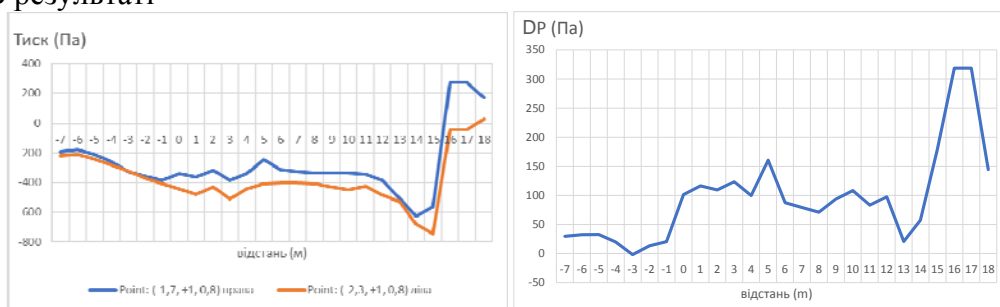


Рисунок 5 – Зміни тиску на стороні мотоцикла при його русі вздовж вантажівки

Джерело: розроблено авторами

На рисунку 6 показано результати розрахунку моделі (а саме тиску повітря) при незмінних характеристиках її геометрії та граничних умовах, але з різною щільністю сітки. Як видно з розрахунку характер кривої не змінюється для всіх розмірів комірок. Однак абсолютне значення тиску для сітки з 60 тис. кінцевих елементів відрізняється від сітки 590 тис. елементів до 50%. В той час як тривалість розрахунку зростає з 10 хвилин для одної позиції мотоцикла до 340 хвилин. Для сітки з 100 тис. елементів

похибка не перевищує 15%. А час розрахунку складає близько 15 хвилин. Отримані дані дозволяють зробити наступні висновки:

1) оскільки при суттєвому збільшенні густини сітки помітно, що відмінність результатів зменшується, то вибрана модель турбулентності забезпечує отримання однозначних східних даних;

2) оскільки характер кривої не змінюється, то для першої оцінки результатів, яка не потребує високої точності абсолютних значень, але необхідна для встановлення загальних властивостей моделі достатньо обчислень з грубою сіткою з 60 тис. елементів.

3) при зменшенні розмірів елементів час обрахунку зростає з більшою швидкістю ніж точні результати, тому з точки зору оптимізації комп'ютерного часу розрахунків використання сітки більше ніж 200 тис елементів недоцільне.

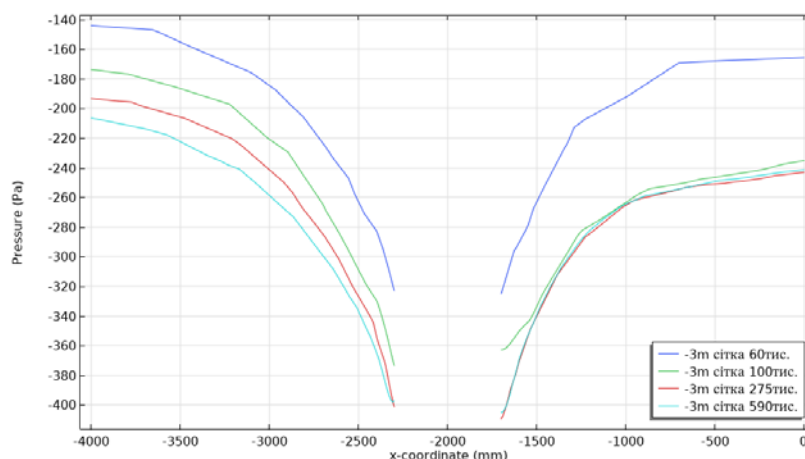


Рисунок 6 – Аналіз східності моделі турбулентної течії повітря залежно від густини сітки  
Джерело: розроблено авторами

**Висновки.** Для різних сіток і моделей турбулентності було виконано комплексне моделювання аеродинаміки руху мотоцикла в умовах турбулентного повітряного сліду створеного великогабаритним вантажним автомобілем. Нижче представлені висновки цього дослідження:

- найбільш небезпечною зоною при обгоні автомобіля є ділянка яка починається від переднього зрізу кабіни довжиною близько 3-4 метри. На цій ділянці перепад тисків по сторонам мотоцикла спочатку спадає з близько 100 Па при русі вздовж причепа до 50 Па тобто вдвічі, а потім одразу зростає в майже 7 разів (з близько 50 до 350 Паскаль). Якщо в абсолютні значення таких різниць тисків можуть бути малопомітними, то різкі зміни за час менше ніж 1 секунда, можуть призвести до короткочасної втрати керування недосвідченим водієм, що в умовах близькості вантажівки суттєво підвищує небезпеку маневру обгону.

- Необхідно надавати рекомендації водіям мотоциклів при обгоні вантажних автомобілів дотримуватись дистанції між мотоциклом та автомобілем не менше 1 метра.

- В подальшому провести дослідження впливу на мотоцикл повітряних потоків від великогабаритних транспортних засобів, що рухаються в зустрічному напрямку, оскільки вони можуть потенційно становити ще більшу небезпеку.

## Список літератури

1. Traffic Safety Facts Annual Report Tables. *NHTSA*: websiet. 2020. URL : <https://cdan.nhtsa.gov/tsftables/tsfar.htm#> (Last accessed: 27.02.2023)..



2. Piechna, J. A Review of Active Aerodynamic Systems for Road Vehicles. *Energies* 2021, 14, 7887. <https://doi.org/10.3390/en14237887>
3. Thomas Christian Schuetz, *Aerodynamics of Road Vehicles*. SAE International, 2015, 1312 p.
4. Palanivendhan, M.; Nagpal, D.; Rao, D.; Philip, J.; Ganapathi, M. Design and analysis of an aerodynamic kit for a two wheeled race motorcycle. *Mater. Today Proc.* 2021. 45(29). Pp. 7239-7246.
5. Angeletti, M.; Sclafani, L.; Bella, G.; Ubertini, S. The Role of CFD on the Aerodynamic Investigation of Motorcycles; SAE Technical Papers; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2003.
6. Corin, R. J., He, L. and Dominy, R. G. A CFD investigation into the transient aerodynamic forces on overtaking road vehicle models. *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96. 2008. 8-9. Pp. 1390-1411.

## References

1. Traffic Safety Facts Annual Report Tables . *NHTSA*: websiet. 2020. Retrived from <https://cdan.nhtsa.gov/tsftables/tsfar.htm#> [in English].
2. Piechna, J. A (2021). Review of Active Aerodynamic Systems for Road Vehicles. *Energies* 14, 7887. <https://doi.org/10.3390/en14237887> [in English].
3. Thomas Christian Schuetz. (2015). *Aerodynamics of Road Vehicles*, SAE International [in English].
4. Palanivendhan, M.; Nagpal, D.; Rao, D.; Philip, J. & Ganapathi, M. (2021). Design and analysis of an aerodynamic kit for a two wheeled race motorcycle. *Mater. Today Proc.* 45(29), 7239-7246 [in English].
5. Angeletti, M.; Sclafani, L.; Bella, G. & Ubertini, S. (2003). *The Role of CFD on the Aerodynamic Investigation of Motorcycles*. SAE Technical Papers; SAE International: Warrendale, PA, USA [in English].
6. Corin, R. J., He, L. & Dominy, R. G. (2008). A CFD investigation into the transient aerodynamic forces on overtaking road vehicle models. *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96, 8-9, 1390-1411 [in English].

**Lyudmyla Tarandushka**, Assoc. Prof., DSc., **Maksym Rud**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Batrachenko**, Assoc. Prof., Doctor of tech. sci.

*Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

## **Aerodynamic Analysis of the Influence of Air Flows From a Truck on Motorcycle Motion**

The article examines the problem of ensuring the safety of motorcycle movement in the conditions of a turbulent air trail created by a large truck. The development of computer technology, software and methods of computational fluid dynamics (CFD) allows conducting theoretical studies of various aspects of the movement of motor vehicles, which are difficult to reproduce experimentally and which at the same time can have a significant impact on accidents on public roads.

A motorcycle is one of the most dangerous vehicles in terms of traffic accidents with human casualties. The analysis of accidents involving motorcycles showed that most of the time their causes are insufficient skill and inability to drive a motorcycle, as well as insufficient attention. At the same time, when driving a motorcycle, movement in conditions of turbulent air flows with a sharp change in their speed and direction is a particular danger. Such conditions arise when overtaking large trucks moving at high speed. An aerodynamic model of the movement of a truck and a motorcycle was built for their different relative positions. From the position of the motorcycle in the turbulent wake behind the truck and after passing the compressed air zone in front of the truck. A study of turbulence models was conducted to assess the accuracy of the most common Reynolds-averaged Navier-Stokes models such as  $k-\epsilon$  and  $k-\omega$ .

Zones in which the largest changes in air pressure occur during motorcycle movement have been established, and the magnitude of these changes has been determined. Accordingly, recommendations are provided regarding the characteristics of motorcycle movement when overtaking a large-sized truck and the safe trajectory in which such a maneuver is the safest for drivers with insufficient experience in driving a motorcycle.

**aerodynamic analysis, turbulence models, motorcycle safety**

*Одержано (Received) 10.03.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 19.03.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023*