

## ВПЛИВ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ МІЖ ГОНОЧНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ НА ЇХ АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Авершин Андрій Геннадійович**, канд. техн. наук, доцент кафедра ДМ та ТММ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [avershin.andrey@gmail.com](mailto:avershin.andrey@gmail.com), ORCID: 0000-0002-9522-7229

**Лукашов Іван Володимирович**, асистент кафедри автомобілів, завідувач лабораторії швидкісних автомобілів,

**Бобро Віталій Станиславович**, студент групи АА-41-22

Дослідження аеродинаміки гоночних автомобілів має довгу історію, проте вивчення специфічного впливу інтерференції (взаємодії) аеродинамічних потоків між кількома транспортними засобами, зокрема під час маневрів, є особливо актуальним та складним напрямком. Хоча комплексні дослідження автомобільної аеродинаміки розвиваються з середини ХХ століття, а з 1990-х років отримали значний поштовх завдяки застосуванню чисельних методів, проблема інтерференції залишається критичною для безпеки та ефективності, особливо у контексті сучасних трендів.

Сучасний розвиток автомобільної промисловості, зокрема орієнтація на автоматизацію та безпілотні технології [1, 2], що включають ключові системи навігації, сприйняття середовища та управління [3], підвищує значущість дослідження інтерференції. Аеродинамічні сили значно впливають на керуваність гоночного автомобіля, особливо під час маневрів. Їх точний облік є життєво необхідним для розробки надійних систем автономного керування високошвидкісними транспортними засобами.

Маневр обгону є ключовим прикладом процесу, де інтерференція викликає складні нестационарні аеродинамічні ефекти. Коли два гоночні автомобілі знаходяться у безпосередній близькості, виникає взаємний вплив їхніх аеродинамічних структур (вихрових шлейфів, зон тиску). Ця інтерференція призводить до суттєвих змін аеродинамічних сил (опору, притискної) та моментів (тангажу, крену, ристання), що діють на кожен автомобіль, залежно від динамічно змінюючої відстані та їх взаємного положення. Такі зміни можуть:

- Різко погіршити стійкість автомобіля.
- Створити серйозні загрози безпеці, оскільки непередбачені аеродинамічні збурення можуть вийти за межі можливостей системи керування або реакції водія (або автономної системи).
- Суттєво вплинути на результативність, змінюючи баланс притискної сили та опору.

Аеродинамічна інтерференція (або взаємодія) між гоночними автомобілями — це важливий аспект у автоспорті, особливо у серіях, де машини часто рухаються у щільному пелетоні (наприклад, Formula 1, IndyCar,

GT-перегони). Це явище впливає на стабільність, швидкість та ефективність обгону.

Тому вдосконалення аеродинамічних характеристик транспортних засобів, відпрацювання методів математичного моделювання аеродинамічних характеристик є актуальним завданням і визначає напрямок дослідження.

Питання інтерференції між гоночними автомобілями вирішувалося як взаємно розташування одного транспортного засобу відносно іншого на декількох відстанях (рис. 1.1). Також в якості контрольного було проведено чисельне моделювання окремого гоночного автомобіля.

Чисельне моделювання стаціонарних і нестационарних потоків проводилося за допомогою програмного пакету Open FOAM.

Атмосферне середовище описувалося моделлю ідеального газу. У чисельних експериментах задавалися такі граничні умови: швидкість зустрічного потоку повітря спрямована вздовж поздовжньої осі автомобіля, дорівнює 20 м/с і збігається зі швидкістю руху проїжджої частини. На відстані задано тиск стандартної атмосфери  $P_\infty$ .

Розрахункова область побудована за принципом аеродинамічної труби. Твердотільна модель занурюється в розрахункову область [4-6]. Розрахункова область описується тетраедричною сіткою, що містить близько 10 мільйонів вузлів з конденсатами біля твердих поверхонь для опису примежового шару. Транспортний засіб являє собою гоночний автомобіль формула E8 (рис 1-2).

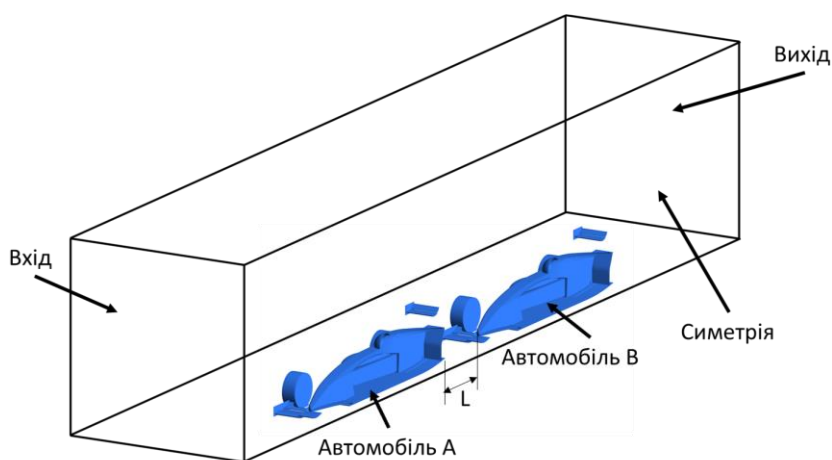


Рисунок 1 – Схема розрахункової області навколо автомобілів

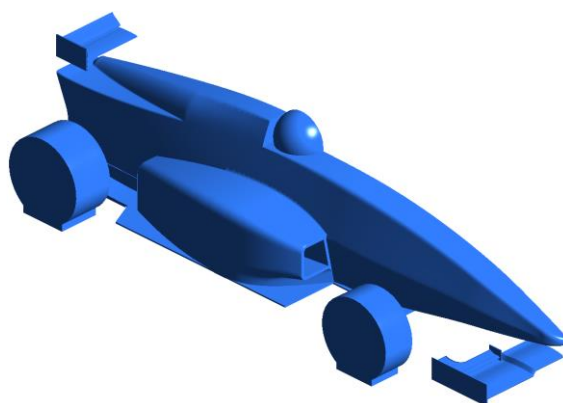


Рисунок 2 – Тривимірна модель формула E8

Питання взаємного розташування розглядалося у двох варіантах II – відстань між автомобілями 1 м III – відстань між автомобілями 5 м. Також в якості реверсної задачі I розглядалося моделювання аеродинаміки навколо окремого автомобіля (Рис. 3).

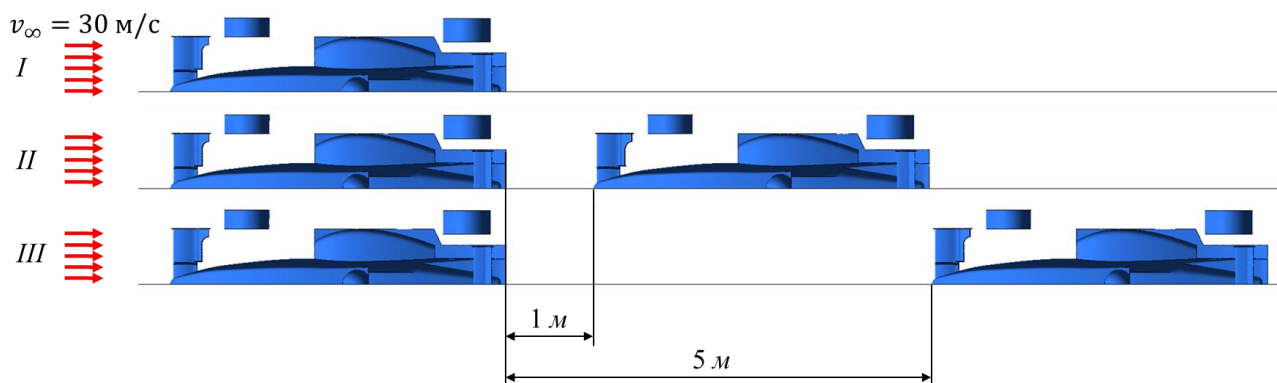


Рисунок 3 – Тривимірна модель формула E8

Аналіз розподілів швидкості на поверхнях автомобіля (рисунок 4) вказує на зниження швидкості в зонах розташування аеродинамічних елементів як автомобіля А так и В (рисунок 4) в варіантах II та III в порівнянні із еталонним автомобілем (варіант I). Це призводить до зниження аеродинамічних характеристик  $C_x$  та  $C_y$  (таблиця 2-3). Вплив інтерференції в більший мірі спостерігається у варіанті II, в той час як у варіанті III інтерференція впливає в менший мірі. Особливим цей вплив є на автомобіль В. Так зниження коефіцієнту аеродинамічного спротиву може становити до 83%.

Аналіз інтерференції між автомобілями дає нам уявлення про аеродинамічну взаємодію між двома транспортними засобами. Завдяки цьому можна оцінити вплив аеродинамічних сил, що діють на транспортні засоби під час обгону. Розуміння цього впливу дозволяє проектувати інтелектуальні системи керування транспортними засобами.

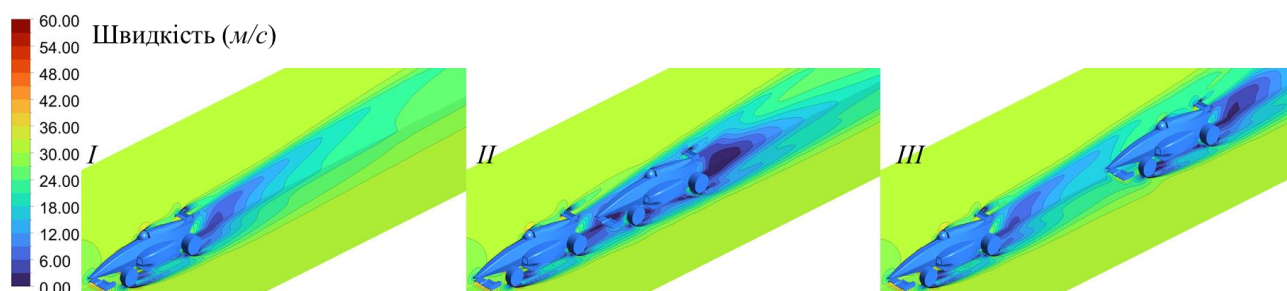


Рисунок 4– Поля швидкостей навколо транспортних засобів

При русі гоночних автомобілів один за одним зони стиснення і розрідження навколо автомобілів впливають один на одного.

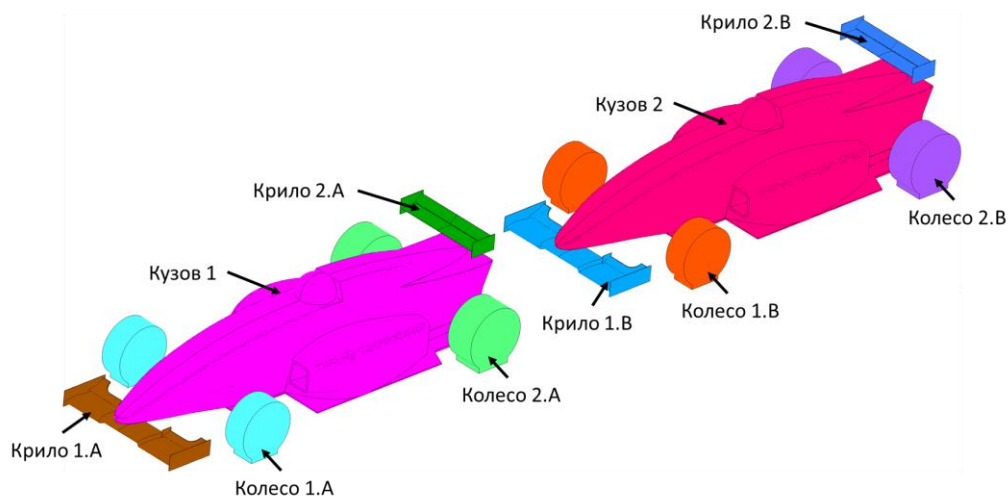


Рисунок 5 – Схема позначення основних аеродинамічних елементів

Таблиця 1 – Аеродинамічні коефіцієнти основних аеродинамічних елементів еталонного автомобіля (варіант I -окремий автомобіль).

	Кузов 1	Крило 1.A	Крило 2.A	Колесо 1.A	Колесо 2.A	Загальний
$C_x$	0,16	0,04	0,08	0,24	0,21	0,73
$C_y$	-0,35	-0,36	-0,36	0,16	0,17	-0,74

Таблиця 2 – Відношення аеродинамічних коефіцієнтів елементів автомобілей А и В по відношенню до еталонного (варіант II – відстань 1 м).

	Кузов 1	Крило 1.A	Крило 2.A	Колесо 1.A	Колесо 2.A	Загальний А
% $C_x$	3,34	-0,24	0,00	-2,48	-5,11	-1,54
% $C_y$	-4,32	-0,36	-2,29	-0,92	-1,42	-2,81
	Кузов 2	Крило 1.B	Крило 2.B	Колесо 1.B	Колесо 2.B	Загальний В
% $C_x$	27,29	18,12	3,09	16,60	12,73	-82,62
% $C_y$	5,16	40,14	9,19	14,04	18,19	19,26

Таблиця 3 – Відношення аеродинамічних коефіцієнтів елементів автомобілей А и В по відношенню до еталонного (варіант III – відстань 5 м).

	Кузов 1	Крило 1.A	Крило 2.A	Колесо 1.A	Колесо 2.A	Загальний А
% $C_x$	15,60	-0,39	10,38	-2,46	10,17	6,67
% $C_y$	5,44	0,00	-3,48	-1,08	8,56	-0,83
	Кузов 2	Крило 1.B	Крило 2.B	Колесо 1.B	Колесо 2.B	Загальний В
% $C_x$	44,70	68,93	26,13	40,13	16,92	34,57
% $C_y$	8,34	87,89	39,84	44,53	16,97	52,53

## Висновки

Сформульовано задачу чисельного моделювання обтікання транспортних засобів; розроблено методику чисельного експерименту для моделювання зовнішніх потоків навколо транспортних засобів у нестационарній постановці.

Дослідження обтікання транспортних засобів під час обгону дозволило розрахувати аеродинамічні сили. Встановлено залежності аеродинамічних сил від взаємного розташування транспортних засобів.

Аналіз аеродинамічних сил необхідно враховувати при проектуванні форми кузова та автоматизації системи керування перспективних безпілотних транспортних засобів.

## Література

1. McManus, J., & Sprot, A. (2020). Aerodynamic Effects of a Leading Car on a Following Car in Formula 1. SAE Technical Paper. DOI:10.4271/2020-01-0541.
2. McBeath, K., & Dominy, R. (2018). Computational Study of Aerodynamic Interference Between Two Race Cars. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 179, 5-12. DOI:10.1016/j.jweia.2018.05.012.
3. Watkins, S., & Passmore, M. (2019). Wind Tunnel Investigation of the Slipstream Effect in Motorsport. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 233(6), 1431-1442. DOI:10.1177/0954407018815940.
4. Andrii Avershyn and Filipkovskij S. Aerodynamic Interaction of Minivan Vehicles During an Overtaking Maneuver ICTM-2023 (INTEGRATED COMPUTER TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING) (Online), №80, Kharkiv, Ukraine, December 27-29, 2023
5. Katz Joseph. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed [текст] / Joseph Katz. – 1995. – 224p. – ISBN 0-8376-0142-8.
6. Zhao, J., Liang, B., Chen, Q. The Key Technology Toward the Self-Driving Car. International Journal of Intelligent Unmanned Systems, 6(1), 2–20 (2018). <https://doi.org/10.1108/IJUS-08-2017-0008>.

УДК 629

## ОСОБЛИВОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ПРИЧЕПНИХ АВТОПОЇЗДІВ

**Альокса Микола Миколайович** канд. техн. наук, професор кафедра автомобілів імя А.Б. Гредескула, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [anikolaj52@gmail.com](mailto:anikolaj52@gmail.com), ORCID ID: [0000-0002-0568-4419](https://orcid.org/0000-0002-0568-4419)

**Петренко Дмитро Андрійович**, студент групи АА-61-24

При гальмуванні причіпного автопоїзда у зчипці виникає у поздовжній площині зусилля. Це зусилля в залежності від параметрів ланок автопоїзда та умов гальмування має різний характер (стиснення, розтягування або відсутнє) і визначається за формулою [1,2].

$$P_{кр} = (\gamma_n - \gamma_m) \cdot \frac{G_m \cdot G_n}{G_{an}}$$