

НОВИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АНТИКРИЛ РАЛІЙНИХ АВТОМОБІЛІВ

В статті вирішувались такі завдання: за допомогою чисельного моделювання дослідити аеродинаміку ралійного автомобіля класу "седан"; на основі аналізу отриманих при чисельному моделюванні результатів запропонувати таке розміщення антикрил, яке забезпечить найбільшу силу притискання ралійного автомобіля до траси. На основі отриманих результатів встановлено, що в місцях класичного розміщення антикрил швидкість повітря є меншою за швидкість руху автомобіля. В той же час над кабіною автомобіля швидкість повітря в 1,5 рази вища за швидкість його руху. Запропоновано новий спосіб розміщення антикрил – над кабіною ралійного автомобіля. Як слідує з отриманих результатів, при використанні лише верхнього антикрила, площа якого дорівнює сумарній площі переднього та заднього антикрил, очікується підвищення притискної сили в 3,68-4,15 разів. При використанні лише верхнього антикрила, площа якого в 2,5 разу більша за сумарну площу переднього та заднього антикрил, очікується підвищення притискної сили в 9,20-10,37 разів. Приріст притискної сили можна корисно використовувати в необхідних межах для підвищення розгінних характеристик автомобіля, покращення його керованості та зменшення вірогідності аварійних ситуацій при відриві автомобіля від покриття траси під час долаття її нерівностей. На розроблене рішення подано заявку на винахід.

Ключові слова: ралійний автомобіль, аеродинаміка, антикрило, притискна сила, вдосконалення.

OLEXANDR MIKHAILOVICH PILIPENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO
Cherkassy State Technological University

A NEW WAY TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF THE AIRFOIL OF A RALLY CAR

Increasing the effort of pushing a racing car to the motorway improves its accelerating characteristics and driveability. It is especially important for rally racing cars, which during their movement perform numerous jumps on the unevenness of the race circuit with difficult road surface. Analysis of the current state of the issue of providing high pressing force of rally racing cars showed that today it is also solved by a traditional, not very efficient way. The pressing force is created by the system, which consists of two airfoils, front and rear, each of them contains several working surfaces. The following tasks were solved in the article: to study the aerodynamics of a rally racing car of the "sedan" class using numerical simulation; on the basis of the analysis obtained in the numerical modeling of the results, to offer such an arrangement of airfoils, which will provide the greatest pressing force of the rally racing car to the motorway. On the basis of the obtained results it was established that in the places of classical location of the airfoils the airspeed is less than the speed of the car. At the same time, the airspeed over the cabin of the car is 1,5 times higher than the speed of its movement. A new way of placing an airfoil is offered – over a cabin of a rally racing car. As follows from the obtained results, with the use of only the upper airfoil, the area of which is equal to the total area of the front and rear airfoils, an increase of the pressing force is expected to be 3,68-4,15 times greater. When using only the upper airfoil, the area of which is 2,5 times greater than the total area of the front and rear airfoils, pressing force 9,20-10,37 times greater is expected. Increase of the pressing force can be effectively used in the necessary limits to increase acceleration characteristics of the car, improvement of its driveability and reduce of the likelihood of incidents when the car is separated from the motorway surface during overcoming its unevenness. An application for a patent was given on the developed decision.

Keywords: rally car, aerodynamics, airfoil, clamping force, refinement.

Постановка проблеми

Як відомо, для автомобілів дуже важливою є оптимальні аеродинамічні властивості, оскільки малий аеродинамічний опір обумовлює менше споживання палива. Це відноситься як для легкових так і до вантажних автомобілів [1]. Однак для гоночних автомобілів ще один аспект аеродинаміки є вкрай важливим, а саме – створення великої притискної сили за допомогою антикрил. Підвищення зусилля притискання гоночного автомобіля до траси покращує два його показники – розгінні характеристики та керованість. Особливо важливим це є для ралійних автомобілів, які під час свого руху виконують численні стрибки на нерівностях траси зі складним покриттям.

Аналіз існуючого стану питання забезпечення високої притискної сили ралійних автомобілів показав, що і сьогодні вирішується воно традиційним шляхом. Притискна сила створюється системою, яка складається з двох антикрил, переднього і заднього, кожне з яких містить по кілька робочих поверхонь. При цьому переднє антикрило розташоване в нижній частині переднього бампера. Воно помітним чином зменшує дорожній просвіт, який є важливим для швидкісного долаття нерівностей траси. Заднє антикрило розташоване на самій задній частині кузова автомобіля. Для кузова типу "седан" це багажник, для кузова типу "хетчбек" – верхня частина задньої двері.

Ефективність роботи заднього антикрила при такому розташуванні викликає сумніви, оскільки в задній частині автомобіля слід очікувати падіння швидкості потоку повітря, який набігає, внаслідок характерної зміни профілю автомобілю. Недостатньо висока швидкість потоку повітря, який набігає, в свою чергу, як відомо, обумовлює падіння підйомної сили крила або в даному випадку - зниження притискної сили антикрила.

Виходячи з цього актуальним є дослідження аеродинаміки ралійних автомобілів з метою визначення ефективності роботи антикрил при їх класичному розташуванні і, за необхідності, пошук нового більш ефективного способу їх розміщення.

Аналіз останніх джерел

Праці закордонних дослідників достатньо докладно висвітлюють різноманітні проблемні питання аеродинаміки гоночних автомобілів [2, 3]. Автор роботи [4] свої дослідження присвятив підвищенню конструктивної міцності передніх антикрил та покращенню шляхової стійкості гоночних автомобілів. Результати досліджень [5] дозволяють зменшити аеродинамічний опір автомобіля за рахунок конструктивної модифікації його кузова, а результати досліджень [6] – за рахунок конструктивної зміни днища автомобіля. В роботі [7] наведені дані, що дозволяють підвищити ефективність роботи антикрил гоночних автомобілів класу "Formula Student", які за своєю конструкцією подібні до автомобілів класу "Formula 1" та значно відрізняються від ралійних автомобілів. Автором [8] виконані дослідження з покращення курсової стійкості легкового автомобіля шляхом динамізації вертикальних робочих елементів заднього антикрила.

Проведений аналіз дозволяє визначити, що у відомих літературних джерелах відсутні дані, які присвячені обґрунтуванню класичного розміщення антикрил в ралійних автомобілях або ж розробці нових способів такого розміщення.

Метою статті є обґрунтування за допомогою чисельного моделювання нового способу розміщення антикрил ралійного автомобіля, спрямованого на підвищення їх притисної здатності.

Виклад основного матеріалу

В статті вирішувались такі завдання:

1) за допомогою чисельного моделювання дослідити аеродинаміку ралійного автомобіля класу "седан";

2) на основі аналізу отриманих при чисельному моделюванні результатів запропонувати таке розміщення антикрил, яке забезпечить найбільшу силу притискання ралійного автомобіля до траси.

Моделювання проводилось із використанням програмного комплексу FlowVision. Він призначений для розрахунку гідро- та газодинамічних задач (разом зі зв'язаними процесами тепло- і масопереносу) в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях. Базовими в програмі є рівняння Нав'є-Стокса, рівняння нерозривності потоку, рівняння турбулентної в'язкості. В даній роботі в ході моделювання була використана $k-\epsilon$ модель турбулентної течії потоку. Чисельне інтегрування рівнянь за просторовими координатами проводилось з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує можливість при вирішенні завдань провести адаптацію сітки до особливостей геометрії поблизу кордонів.

При моделюванні прийнято наступні допущення: об'єктом досліджень обрано 3D-модель ралійного автомобіля марки «Subaru Impreza WRC», автомобіль нерухомий, на нього набігає потік повітря із відповідною швидкістю, вплив поперечних геометричних параметрів автомобіля на особливості його аеродинаміки не враховувався, автомобіль рухається по прямолінійній плоскій поверхні.

Були використані наступні параметри: густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$; температура $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$; швидкість набігаючого повітря $v_{\text{набіг}}=19,44 \text{ м/с}$, $v_{\text{набіг}}=27,78 \text{ м/с}$ та $v_{\text{набіг}}=36,11 \text{ м/с}$ (даний режим відповідає руху автомобіля зі швидкостями 70 км/год, 100 км/год та 130 км/год відповідно). При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу зовнішньої поверхні кузова автомобіля. При моделюванні був використаний спосіб візуалізації отриманих результатів, за допомогою векторного поля швидкості. Це дозволяло визначити місця зміни величини швидкості і зміни напрямку руху потоку повітря.

На рис. 1 показано результати моделювання. Аналізуючи отримані результати в контексті поставлених в роботі задач, можна виділити три характерні зони обтікання повітрям профілю автомобіля: 1 – зона розміщення переднього антикрила у відомих конструкціях ралійних автомобілів, 2 – зона над дахом кузова, 3 – зона розміщення заднього антикрила у відомих конструкціях ралійних автомобілів.

Яскраво видно, що для усіх досліджених режимів руху автомобіля швидкість v_2 потоку повітря в зоні 2 над дахом кузова суттєво зростає по відношенню до початкової швидкості повітря. В середньому вона зростає в 1,48 рази. Це означає, що, наприклад, при русі автомобіля зі швидкістю $v_{\text{набіг}}=100 \text{ км/год}$ потік повітря, який огинає дах кузова зверху, рухається зі швидкістю $v_2=148 \text{ км/год}$. Пояснити це можна тим, що дах кузова автомобіля утворює немовби звуження каналу по якому рухається повітря. В ньому швидкість потоку збільшується у відповідності до закону Бернуллі.

Звертають на себе увагу і особливості аеродинаміки в зонах 1 і 3. В них швидкість потоку повітря навпаки є меншою за початкову швидкість (за швидкість руху автомобіля). В зоні розміщення переднього антикрила 1 потік гальмується внаслідок лобового опору передньої частини капоту автомобіля та внаслідок необхідності дворазової різкої зміни напрямку руху на 90° для огинання переднього антикрила. Як наслідок, швидкість повітря v_1 в цій зоні є в середньому в 1,87 рази меншою за швидкість руху автомобіля.

В зоні 3 потік повітря гальмується внаслідок характерної зміни геометричної форми кузова в зоні заднього скла (висота профілю автомобіля зменшується) та внаслідок утворення завихрень потоку. Це призводить до зниження швидкості повітря v_3 в зоні розташування заднього антикрила в середньому на 10% в порівнянні зі швидкістю руху автомобіля.

Якщо ж порівняти швидкості v_1 і v_3 зі швидкістю v_2 , то виявляється, що швидкість в зоні 1 є нижчою в середньому в 2,75 рази, а в зоні 3 – в 1,62 рази. Це дозволяє зробити висновок, що класичне розміщення антикрил ралійних автомобілів в передній та задній частинах кузова (рис. 1, г) не дозволяє максимально ефективно використовувати кінетичну енергію потоку повітря, який набігає на автомобіль, для

створення зусилля притискання автомобілю до траси.

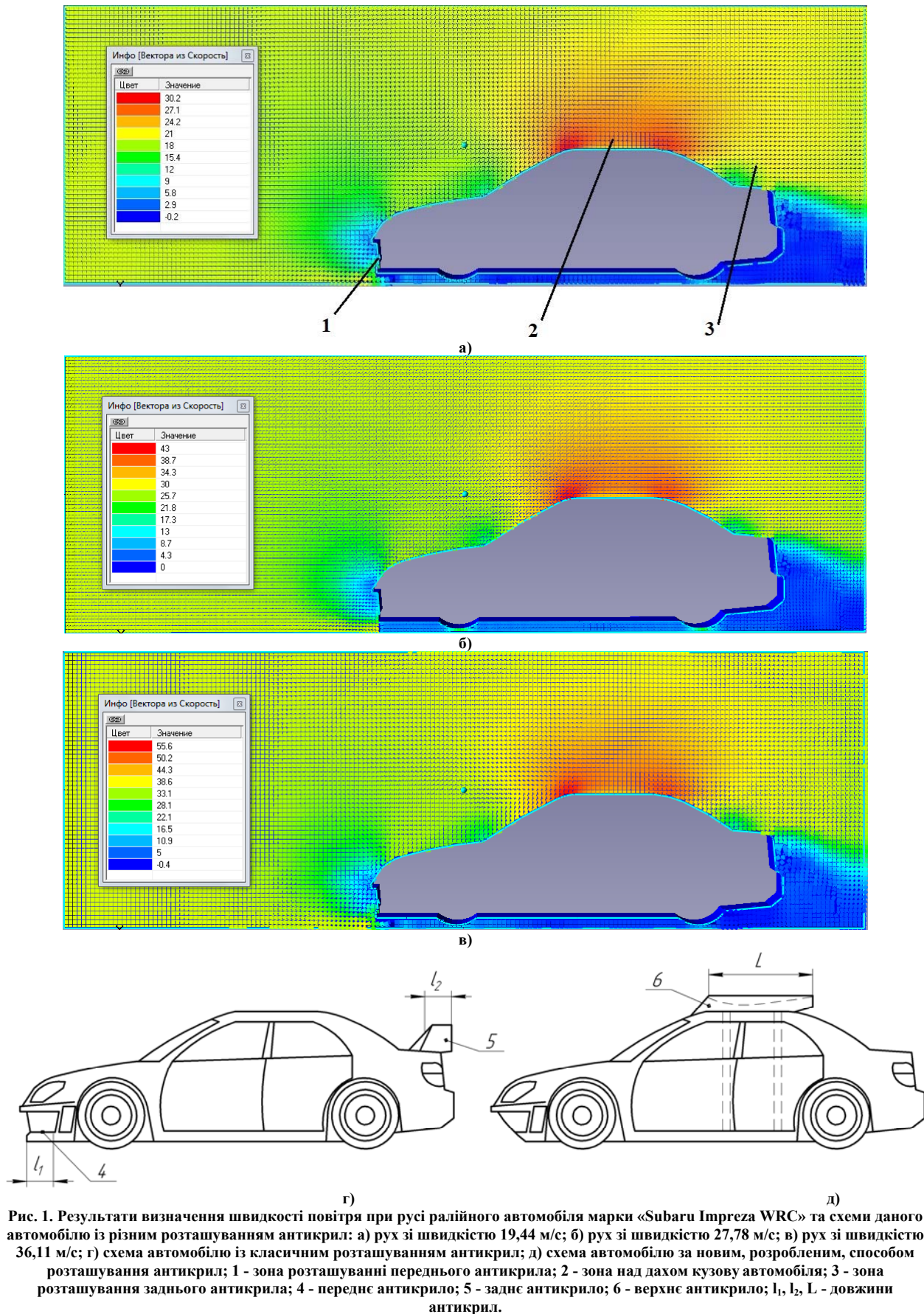


Рис. 1. Результати визначення швидкості повітря при русі ралійного автомобіля марки «Subaru Impreza WRC» та схеми даного автомобіля із різним розташуванням антикрил: а) рух зі швидкістю 19,44 м/с; б) рух зі швидкістю 27,78 м/с; в) рух зі швидкістю 36,11 м/с; г) схема автомобіля із класичним розташуванням антикрил; д) схема автомобіля за новим, розробленим, способом розташування антикрил; 1 - зона розташування переднього антикрила; 2 - зона над дахом кузову автомобіля; 3 - зона розташування заднього антикрила; 4 - переднє антикрило; 5 - заднє антикрило; 6 - верхнє антикрило; l_1 , l_2 , L - довжини антикрил.

Наступний висновок, який логічно випливає з аналізу результатів моделювання, дозволяє запропонувати нове розміщення антикрил над дахом кузову ралійного автомобіля (рис. 1, д) з обов'язковою

наявністю робочих площин антикрил в зоні, максимально наближеній до лобового скла. При цьому над дахом кузову може бути встановлено двоє або більше антикрил із загальною площею робочої поверхні, як у відомих конструкціях автомобілів. А може бути встановлене одне антикрило із довжиною, яка наближена до довжини даху кузову (рис. 1, д), зважаючи на конструктивні резерви, що характерні для зони 2 ралійного автомобіля.

Притискна сила, що діє на ралійний автомобіль, може бути збільшена за рахунок фактору збільшеної робочої площі антикрила 6. З метою підвищення надійності конструкції, ралійний автомобіль доцільно обладнати додатковими стійками, які будуть передавати силу притискання від антикрила на нижню частину кузову автомобіля.

Оцінити величину притискної сили антикрил можна за допомогою відомого виразу [9]:

$$F = C_y \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (1)$$

де F - притискна сила, Н; C_y - коефіцієнт притискної сили, який залежить від кута атаки;
 ρ - густина повітря, кг/м³; v - швидкість потоку повітря, який набігає, м/с; S - робоча площа крила, м².

Порівняти величину притискної сили для класичного $F_{\text{клас}}$ та нового $F_{\text{нов}}$ способів розміщення антикрил можна за значення коефіцієнту збільшення притискної сили K_F . Він визначається за виразом, отриманим на основі (1) шляхом елементарних алгебраїчних перетворень:

$$K_F = \frac{F_{\text{нов}}}{F_{\text{клас}}} = \frac{v_2^2 S_2}{v_1^2 S_1 + v_3^2 S_3}, \quad (2)$$

де v_1 - швидкість потоку повітря в зоні 1 (відповідно до рис. 1), м/с; v_2 - швидкість потоку повітря в зоні 2;

v_3 - швидкість потоку повітря в зоні 3; S_1 - робоча площа переднього антикрила 4, яке розташоване в зоні 1, м²; S_2 - робоча площа верхнього антикрила 6, яке розташоване в зоні 2, м²; S_3 - робоча площа антикрила 5, яке розташоване в зоні 3, м².

В таблиці 1 наведено дані, отримані при чисельному моделюванні та при розрахунках за виразом (2).

Таблиця 1

Результати визначення швидкості повітря в характерних зонах ралійного автомобіля та порівняння ефективності роботи антикрил при класичному та розробленому способах їх розміщення

Швидкість руху автомобіля $v_{\text{набіг}}$, м/с	Середня швидкість повітря в характерних зонах			Коефіцієнт збільшення притискної сили K_F за різної площі верхнього антикрила (відповідно до рис. 1, г, д)	
	v_1 , м/с	v_2 , м/с	v_3 , м/с	при $L=l_1+l_2$ та $l_1=l_2$	при $L=2,5(l_1+l_2)^*$ та $l_1=l_2$
19,44	10,38	29,15	17,93	3,96	9,22
27,78	13,84	41,38	25,17	4,15	10,37
36,11	21,65	53,27	32,78	3,68	9,20

* - значення $L=2,5$ обумовлене можливістю збільшити довжину антикрила на всю довжину даху кузову даної марки автомобіля

Як видно з результатів розрахунку, при використанні верхнього антикрила 6, площа якого дорівнює сумарній площі переднього 4 та заднього 5 антикрил, очікується підвищення притискної сили в 3,68-4,15 разів у порівнянні з притискною силою при класичному розміщенні антикрил. Такий результат досягається лише за рахунок нового способу розташування антикрила на автомобілі (над дахом кузову).

При використанні верхнього антикрила 6, площа якого в 2,5 рази більша за сумарну площу переднього та заднього антикрил (верхнє антикрило розташовується на всю довжину даху кузову), очікується підвищення притискної сили в 9,20-10,37 раз у порівнянні з притискною силою при класичному розміщенні антикрил в передній та задній частинах автомобіля. Такий результат досягається за рахунок нового розміщення антикрила та збільшення його довжини в межах довжини даху кузову.

Висновки

Отримані результати доводять перспективність використання нового способу розміщення антикрил на ралійних автомобілях. Приріст притискної сили у 3,68-10,37 раз можна корисно використовувати в необхідних межах для підвищення розгінних характеристик автомобіля, покращення його керованості та зменшення вірогідності аварійних ситуацій при відриві автомобілю від покриття траси під час долаття її нерівностей.

На розроблене технічне рішення подано заявку на винахід.

Література

1. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.

2. Joseph Katz. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed. – Cambridge, 2006. – 279 p.
3. Xin Zhang. Ground Effect Aerodynamics of Race Cars / Xin Zhang, Willem Toet, Jonathan Zerihan. – Applied Mechanics Reviews, 2009. – Vol. 9. – 33–49 p.
4. Хряков К. С. Повышение устойчивости скоростных безрельсовых транспортных средств при прохождении кривых малого радиуса : дисс. ... кандидата технических наук : 05.02.02. – Москва, 2016. – 196 с.
5. Переверзев, С. Б. Улучшение обтекаемости легкового автомобиля путем совершенствования параметров кузова : дисс. ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Москва, 2005. – 155 с.
6. Ильин Е. В. Совершенствование аэродинамики подднищевой зоны легкового автомобиля : дисс. ... кандидата технических наук : 05.05.03. – Москва, 2003. – 151 с.
7. Анучин И. Е. Влияние расположения антикрыльев на аэродинамические характеристики спортивного автомобиля класса формула-студент / И. Е. Анучин, А. В. Тумасов, В. В. Беляков // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2014. – № 4(106). – С. 189–195.
8. Олейник И. В. Аэродинамическая корректировка поперечных ускорений автомобиля при боковом скольжении / И. В. Олейник, В. Л. Супрун // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту Донецького національного технічного університету. – 2012. – № 2. – С. 158–164.
9. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Ч.1: Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла. Ч. 1. Изд. 4 / Н. Ф. Краснов. – М. : URSS, 2010. – 496 с.

References

1. Evhrafov, A.N. Aerodynamyka avtomobyliya / A. N. Evhrafov. – M.: MHYU, 2010. – 356 s.
2. Joseph Katz. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed. - Cambridge, 2006. - 279 p.
3. Xin Zhang. Ground Effect Aerodynamics of Race Cars / Xin Zhang, Willem Toet, Jonathan Zerihan. - Applied Mechanics Reviews, 2009. - Vol. 9. - 33-49 p.
4. Khriakov, K. S. Povyshenye ustoichyvosti skorostnykh bezrelsovykh transportnykh sredstv pry prokhozhdennyi kryvykh maloho radyusa: dySSERTatsiya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.02.02.- Moskva, 2016.- 196 s.
5. Pereverzev, S. B. Uluchshenye obtekaemosti lehkovo avtomobyliya putem sovershenstvovaniya parametrov kuzova: dySSERTatsiya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.05.03.- Moskva, 2005.- 155 s.
6. Ylyn, E. V. Sovershenstvovanye aerodynamyky poddnyshchevoi zony lehkovo avtomobyliya: dySSERTatsiya ... kandydata tekhnicheskyykh nauk : 05.05.03.- Moskva, 2003.- 151 s.
7. Anuchyn, Y. E. Vlyaniye raspolozheniya antykrlyev na aerodynamicheskiye kharakterystyky sportyvno avtomobyliya klassa formula-student / Y. E. Anuchyn, A. V. Tumasov, V. V. Belyakov // Trudy Nyzhegorodskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta ym. R.E. Alekseeva, 2014. - № 4(106) - S. 189-195.
8. Oleinyk, Y. V. Aerodynamicheskaia korrektyrovka poperechnykh uskorenyi avtomobyliya pry bokovom skolzhenny / Y. V. Oleinyk, V. L. Suprun // Visti Avtomobilno-dorozhnoho instytutu Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho unyversytetu, 2012. - №2. - S. 158-164.
9. Krasnov, N.F. AehroDynamika. CH.1: Osnovy teorii. AehroDynamika profilya i kryla. CH.1. Izd.4. / N. F. Krasnov. - M: URSS/ - 2010yu - 496 s.

Рецензія/Peer review : 22.04.2018 р.

Надрукована/Printed :03.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією