

УДК 629.114.4-047.58:004.9

О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО

Черкаський державний технологічний університет

І.М. ЛИТОВЧЕНКО

Національний університет харчових технологій

## ЗМЕНШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ КАБІНИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЮ

Підвищення вартості пального та прийняття більш жорстких екологічних норм в розвинених країнах світу висуває вимогу зменшення споживання пального автотранспортом. Особливо гостро ця проблема постає для автопотягів, яким властиві значні енергоємність та дальність перевезень. Ефективним шляхом підвищення цієї проблеми є зменшення аеродинамічного опору автопотягів. Значний інтерес представляють дані, згідно з якими відмова від застосування дзеркал заднього виду в конструкції автопотягу дозволяє економити до 6% палива. Дана цифра бачиться значною, зважаючи на малу фронтальну площу дзеркал в порівнянні з кабіною та напівприцепом. Провідні автовиробники замість дзеркал пропонують використовувати відеокамери заднього виду. Метою статті є зменшення аеродинамічного опору кабіни сідельного тягача шляхом обґрунтування місця розташування цифрових пристроїв заднього виду. За допомогою чисельного моделювання встановлено, що причиною високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду є їх розташування в зоні звуження набігаючого на кабіну потоку повітря, і, як наслідок, в зоні більшої до 4-х разів його швидкості. Запропоновано розміщення відеокамер заднього виду позаду бокових дверей кабіни, що забезпечує зменшення динамічного тиску набігаючого на них потоку повітря до 100 разів, і, як наслідок, забезпечує їх мінімальний аеродинамічний опір. Шляхом чисельного моделювання підтверджено ефективність запропонованого технічного рішення.

Ключові слова: автопотяг, сідельний тягач, аеродинамічний опір, відеокамери заднього виду.

O.M. PILIPENKO, O.V. BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

I.M. LITOVCHENKO

National University of Food Technologies

## REDUCING AERODYNAMIC DRAG OF A SEMI-TRUCK CAB

The rising cost of fuel and the adoption of more stringent environmental regulations in the developed world the demand of reducing the fuel consumption of vehicles. Especially sharply this problem arises for trains, which have significant energy content and transportation distance. Effective way to improve this problem is to reduce the aerodynamic drag of trucks. The total aerodynamic resistance of the train due to many factors. Of considerable interest are data showing that the rejection of the use of mirrors in design of the train allows you to save up to 6% fuel. This figure appears significant, despite the small frontal area in comparison with cabin and trailer. Leading manufacturers offer to use instead of mirrors, rear view camera. The concept car Aero Liner MAN has video cameras that are installed in locations standard location of rear view mirrors on the mounts with low stiffness. Camera car Renault Optifuel installed on the holders of increased rigidity, which, however, have a high resistance, the location of cameras standard. The following modification of this truck the Renault Optifuel LAB 2 has modified the camcorder's streamlined shape, they are located above the side doors of the cab, but also near the windshield. A similar placement of cameras have capoten and Buscopan Volvo trucks Concept Truck. The purpose of this article is to reduce aerodynamic drag cab of the truck tractor by study of the location of digital devices. Numerical simulation of the aerodynamics of the trailer was performed using the software complex FlowVision. The flow around the sides of the cockpit to clearly distinguish three characteristic zones: the zone of air flow moving at a speed of 25 m/s; the zone of high air velocity (up to 40 m/s); zone of substantially reduced speed (about 10 m/s). With the help of numerical modelling it is established that the cause of the high aerodynamic drag of the rear view mirrors is their location in a zone of narrowing which is incident on the cab air flow, and, as a consequence, the larger area up to 4 times its velocity. The proposed placement of cameras rear view behind side doors of the cab that provides a reduction of dynamic pressure impinging on them flow of air up to 100 times and, consequently, provides minimal aerodynamic drag. Numerical simulation confirmed the effectiveness of the proposed technical solution. The direction of future research may be experimental verification of the obtained results.

Keywords: road train, truck, aerodynamic drag, rear view camera.

### Постановка проблеми

Підвищення вартості пального та прийняття більш жорстких екологічних норм в розвинених країнах світу висуває вимогу зменшення споживання пального автотранспортом. Особливо гостро ця проблема постає для автопотягів, яким властиві значні енергоємність та дальність перевезень. Ефективним шляхом підвищення цієї проблеми є зменшення аеродинамічного опору автопотягів [1–3].

Загальний аеродинамічний опір автопотягу обумовлюється багатьма чинниками. Значний інтерес представляють дані [4], згідно з якими відмова від застосування дзеркал заднього виду в конструкції автопотягу дозволяє економити до 6% палива. Дана цифра бачиться значною, зважаючи на малу фронтальну площу дзеркал в порівнянні з кабіною та напівприцепом.

Провідні автовиробники замість дзеркал пропонують використовувати відеокамери заднього виду. Концепт-кар MAN Aero Liner має відеокамери, які встановлені в місцях стандартного розташування дзеркал заднього виду на тримачах з малою жорсткістю. Відеокамери автомобілю Renault **Optifuel** встановлені на тримачах підвищеної жорсткості, які, однак, володіють підвищеним опором, місце розташування камер стандартне. Наступна модифікація цього автопотягу Renault **Optifuel** LAB 2 має видозмінені відеокамери обтічної форми, вони розташовані вище бокових дверей кабіни, але також біля самого лобового скла. Аналогічне розміщення відеокамер мають капотні та безкапотні сідельні тягачі Volvo Concept Truck.

На думку авторів статті, описане розміщення відеокамер заднього виду не сприяє максимально

можливого зменшенню їх аеродинамічного опору. Актуальним є розробка нового технічного рішення, яке б дозволило суттєво зменшити аеродинамічний опір відеокамер заднього виду вантажних автомобілів.

#### Аналіз останніх джерел

В роботах [1–3] наведені узагальнені числові дані впливу окремих чинників на загальний аеродинамічний опір автопотягу. Автори [5, 6] представили результати моделювання аеродинаміки автопотягу стандартної будови. Авторами роботи [7] було досліджено ефективність застосування задніх спойлерів. У відомих роботах не пояснено природу високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду автопотягів. Також не запропоновано технічних рішень, які б дозволяли суттєво зменшити аеродинамічний опір відеокамер заднього виду.

**Метою статті є** зменшення аеродинамічного опору кабіни сідельного тягача шляхом обґрунтування місця розташування цифрових пристроїв заднього виду.

#### Виклад основного матеріалу

В статті вирішувались наступні завдання:

- за допомогою чисельного моделювання дослідити аеродинаміку сідельного тягача та встановити причини високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду;
- запропонувати таке розміщення відеокамер заднього виду на кабіні сідельного тягача, яке б забезпечувало їх мінімальний аеродинамічний опір;
- засобами чисельного моделювання оцінити ефективність запропонованих технічних рішень.
- Прийняті наступні допущення: об'єктом досліджень обрано 3D-модель автопотягу марки «IVECO New Stralis XP», вплив геометричних параметрів кабіни на особливості її аеродинаміки не враховувався, автопотяг рухається по прямолінійній плоскій поверхні.

Дослідження ефективності застосування розробленого способу проводилось шляхом чисельного моделювання аеродинаміки автопотягу із використанням програмного комплексу FlowVision та SolidWorks Flow Simulation. Базовими в математичній моделі були рівняння Нав'є-Стокса, рівняння нерозривності потоку, рівняння турбулентної в'язкості. Крім того, в модель входять рівняння для турбулентної енергії і швидкості дисипації турбулентної енергії. В даній роботі в ході моделювання була використана k-ε модель турбулентної течії в'язкої рідини з невеликими змінами густини при великих змінах числа Рейнольдса. У розрахунку були використані наступні параметри: густина повітря  $1,2 \text{ кг/м}^3$ ; температура повітря  $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; швидкість набігаючого повітря  $25 \text{ м/с}$  (відповідає руху автопотягу зі швидкістю  $90 \text{ км/год}$ ).

На рис. 1 показано результати моделювання – швидкість повітря при обтіканні автопотягу. В контексті мети даної роботи найбільший інтерес представляє зона кабіни сідельного тягача. При обтіканні бокової сторони кабіни чітко виділяються три характерні зони (рис. 1): 1 – це зона набігаючого потоку повітря, він рухається зі швидкістю  $25 \text{ м/с}$ ; 2 – зона підвищеної швидкості повітря (до  $40 \text{ м/с}$ ); 3 – зона суттєво зменшеної швидкості (близько  $10 \text{ м/с}$ ).

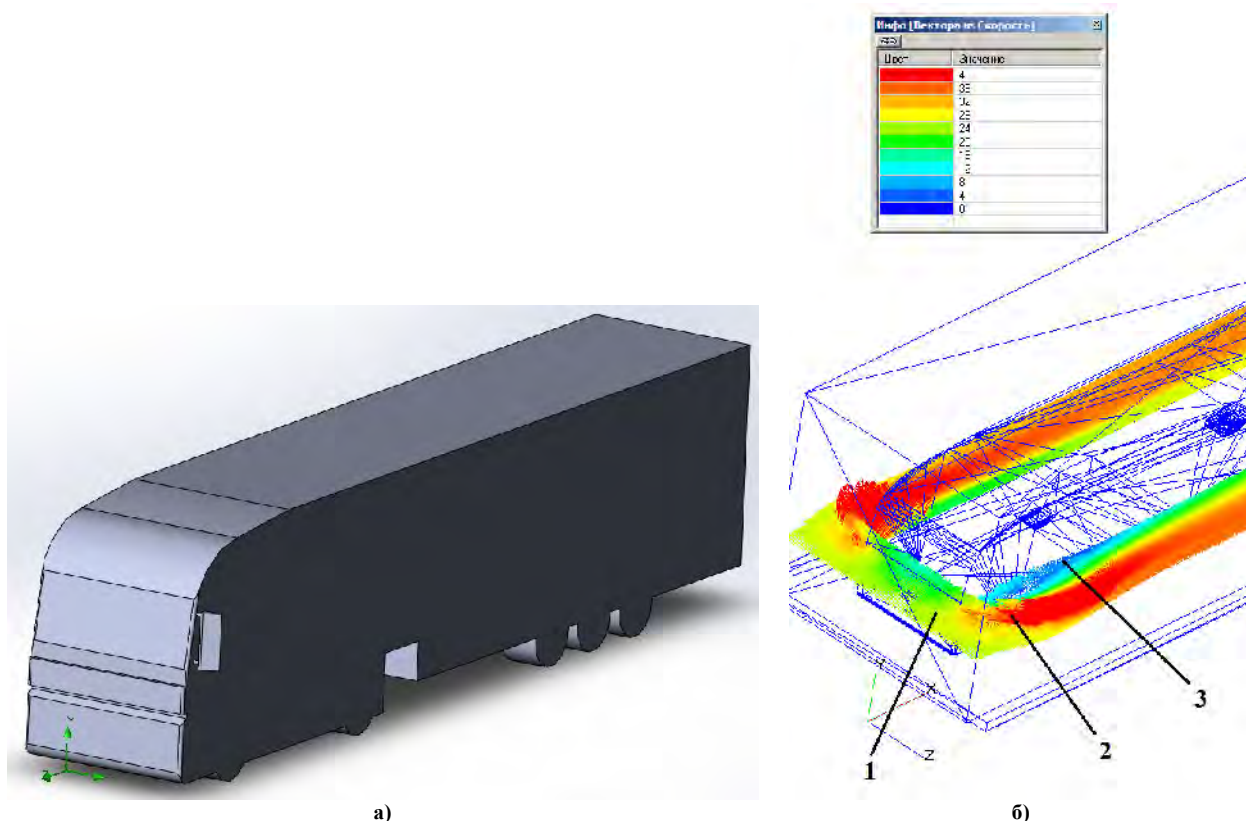


Рис. 1. 3D-модель автопотягу IVECO New Stralis XP та результати визначення швидкості повітря при її обтіканні:  
а) 3D-модель автопотягу; б) результати визначення швидкості повітря, м/с

Проведені нами дослідження дозволили встановити, що класичне розміщення як дзеркал заднього виду, так і відеокамер заднього виду не сприяє максимально можливому зменшенню аеродинамічного опору цих елементів.

Найбільший аеродинамічний опір властивий дзеркалу заднього виду, яке має класичне розміщення на кабіні автомобілю (рис. 2, б). Це обумовлено розташуванням дзеркала в зоні звуження повітряного потоку і, як наслідок, в зоні підвищеної його швидкості. Швидкість потоку в даній зоні є більшою в 1,6 рази в порівнянні з вільним обтіканням дзеркала (рис. 2, а). Описані вище концепт-кари оснащені сучасними відеокамерами заднього виду, однак місце їх розташування залишилось незмінним (рис. 2, в).

Нами пропонується розташування відеокамер заднього виду в характерній зоні пониженої (до 3-4 разів) швидкості повітряного потоку, яка утворюється при обтіканні кабіні автомобілю (рис. 2, г). В такому разі турбулізація повітряного потоку та аеродинамічний опір відеокамер заднього виду будуть мінімальними. Для належного огляду зони біля передніх коліс доцільно передбачити також і фронтальні камери.

На рис. 3 показані результати моделювання аеродинаміки кабіні стандартної будови із дзеркалом заднього виду. На одній боковій стороні кабіні показано особливості обтікання дзеркала, на другій – кабіні без дзеркала. Як видно з рис. 3, наявність дзеркала спричинює підвищення швидкості набігаючого потоку повітря в даній зоні з 90 км/год до 144 км/год. Дзеркало знаходиться в зоні найбільшого лобового тиску повітря (рис. 3, б). Отже, значна економія палива при відмові від використання дзеркал заднього виду в конструкції автопотягу досягається завдяки тому, що вони розташовуються, по суті, в найгіршому з точки зору аеродинаміки місці автомобіля.

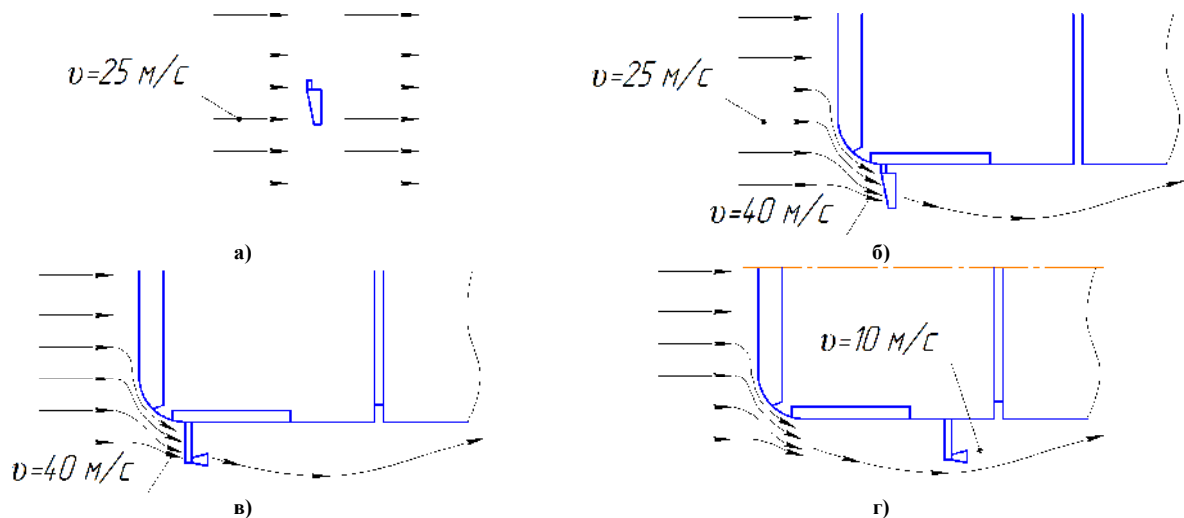


Рис. 2. Схеми розташування пристроїв заднього виду та їх обтікання повітряним потоком (кабіна сідельного тягача, вид зверху)

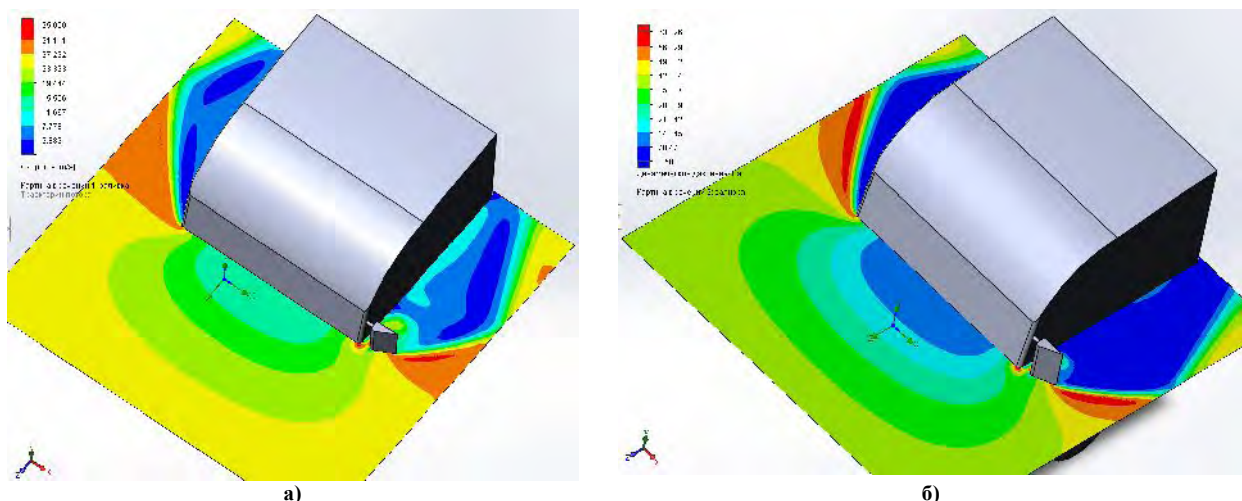


Рис. 3. Результати моделювання аеродинаміки повітряного потоку при обтіканні кабіні із дзеркалами заднього виду: а) швидкість, м/с; б) динамічний тиск, Па

На рис. 4 показано аеродинамічні властивості кабіні при використанні відеокамер заднього виду. З однієї сторони кабіні камера розташована як у відомих концепт-карах, спереду (конструкція камер відповідає конструкції камер автопотягу Renault **Optifuel** LAB 2). З іншої сторони кабіні камера розташована за розробленим рішенням технічним рішенням позаду бокових дверей кабіні (відповідно до рис. 2, г).

Як видно з рис. 4, запропоноване розміщення відеокамери призводить до зменшення швидкості набігаючого потоку на неї у 3 рази, зменшення тиску повітря до 100 разів та зменшення до 2-х разів турбулізації повітряного потоку. Все означене доводить перевагу запропонованого розміщення камер позаду бокових дверей кабіни автопотягу.

Запропоновані нами конструктивні зміни відповідають положенням теорії технічних систем, згідно яких новому принципу дії елемента має відповідати новий порядок його розміщення чи спосіб використання. На розроблене рішення подано заявку на винахід [8].

Слід відмітити, що аналогічне, задне, розташування відеокамер має сучасний електрокар Tesla Semi [9], який вперше був представлений світовій спільноті 16 листопада 2017 р. Технічне ж рішення, наведене у цій статті, було розроблено раніше і його опис також був опублікований раніше [8, 10].

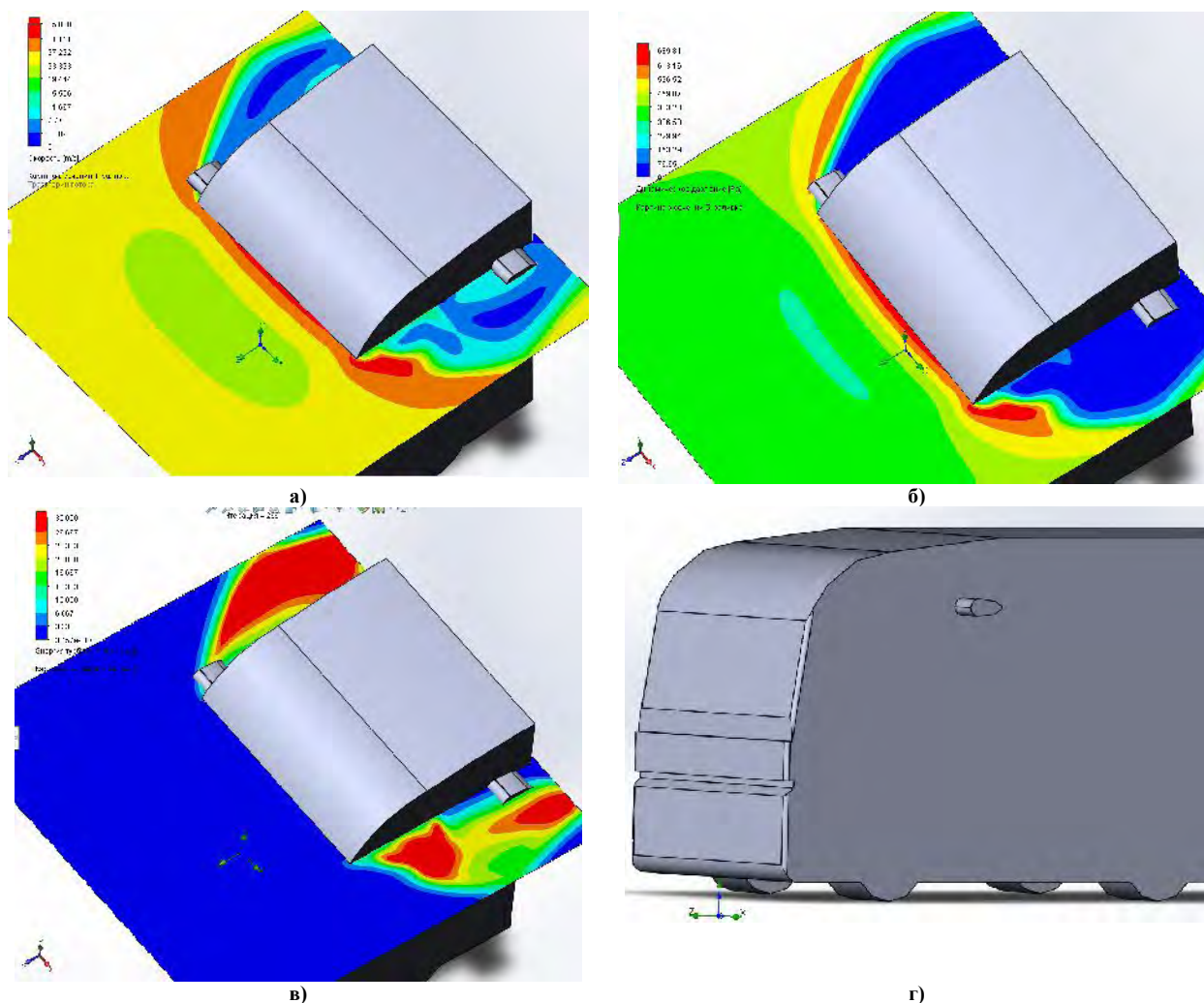


Рис. 4. 3D-моделі кабіни сідельного тягача та результати моделювання аеродинаміки повітряного потоку при обтіканні кабіни з цифровими відеокамерами заднього виду: а) швидкість, м/с; б) динамічний тиск, Па; в) енергія турбулентності, Дж/кг; г) 3D-модель кабіни сідельного тягача із розташуванням відеокамери заднього виду за розробленим технічним рішенням

### Висновки

За допомогою чисельного моделювання встановлено, що причиною високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду є їх розташування в зоні звуження набігаючого на кабіну потоку повітря, і, як наслідок, в зоні більшої до 4-х разів його швидкості.

Запропоновано розміщення відеокамер заднього виду позаду бокових дверей кабіни, що забезпечує зменшення динамічного тиску набігаючого на них потоку повітря до 100 разів, і, як наслідок, забезпечує їх мінімальний аеродинамічний опір. Шляхом чисельного моделювання підтверджено ефективність запропонованого технічного рішення.

Напрямок подальших досліджень може бути експериментальна перевірка отриманих результатів.

### Література

1. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.
2. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report. Canada, 2012. URL: [www.tc.gc.ca](http://www.tc.gc.ca).
3. Pevitt C. A Computational Simulation of Aerodynamic Drag Reductions for Heavy Commercial



Vehicles / C. Pevitt, H. Chowdury, H. Moriaand, F. Alam // 18th Australasian Fluid Mechanics Conference. – Launceston, Australia. – 3–7 December 2012. – P. 54–84.

4. Чехута В. Дальнобойная перспектива по-европейски / В. Чехута // Автотрак. – 2014. – № 3. – С. 42–48.

5. Пилипенко О. М. Моделювання аеродинаміки сидельного автопотягу / О. М. Пилипенко, О. В. Батраченко, І. М. Литовченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – № 2. – С. 27–34.

6. Андрейчик А. Ф. Влияние заднего спойлера полуприцепа на общее аэродинамическое сопротивление седельного автопоезда / А. Ф. Андрейчик // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2. – С. 30–33.

7. Пилипенко О. М. Дослідження аеродинамічних властивостей задніх спойлерів сидельних автопотягів / О. М. Пилипенко, О. В. Батраченко, І. М. Литовченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – № 3.

8. Пат. на винахід Україна, МПК (2012) В 62В 35/00. Вантажний автомобіль / Пилипенко О. М., Батраченко О. В. ; заявник і власник патенту Батраченко О. В. – № a2011709862 ; заявл. 11.10.2017.

9. Жигульский Д. Tesla Semi: он существует! / Д. Жигульский // Автотрак. – 2017. – № 5. – С. 47–53.

10. Батраченко О. В. Вплив розташування пристроїв заднього виду на аеродинамічний опір вантажного автомобілю / О. В. Батраченко // Тези Міжнар. науково-практ. конф. «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців». – 19–20 жовтня 2017 р. – Харків. – С. 15–17.

#### References

1. Evhrafov A.N. Aerodinamika avtomobilia / A. N. Evhrafov. – M. : MHYU, 2010. – 356 s.
2. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report. Canada, 2012. URL: [www.tc.gc.ca](http://www.tc.gc.ca).
3. Pevitt C. A Computational Simulation of Aerodynamic Drag Reductions for Heavy Commercial Vehicles / C. Pevitt, H. Chowdury, H. Moriaand, F. Alam // 18th Australasian Fluid Mechanics Conference. – Launceston, Australia. – 3–7 December 2012. – P. 54–84.
4. Chekhuta V. Dalnoboiaia perspektyva po-evropeisky / V. Chekhuta // Avtotrak. – 2014. – № 3. – S. 42–48.
5. Pylypenko O. M. Modeliuvannia aerodynamiky sidelnogo avtopotiahu / O. M. Pylypenko, O. V. Batrachenko, I. M. Lytovchenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – № 2. – S. 27–34.
6. Andreichyk A. F. Vlyianye zadnego spoileru poluprytsepa na obshchee aerodynamicheskoe soprotyvlenye sedelnogo avtopoezda / A. F. Andreichyk // Mekhanyka mashyn, mekhanyzmov y materyalov. – 2014. – № 2. – S. 30–33.
7. Pylypenko O. M. Doslidzhennia aerodynamichnykh vlastyvostei zadnykh spoileriv sidelnykh avtopotiahiv / O. M. Pylypenko, O. V. Batrachenko, I. M. Lytovchenko // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – № 3.
8. Pat. na vynakhid Ukraina, MPK (2012) B 62V 35/00. Vantazhnyi avtomobil / Pylypenko O. M., Batrachenko O. V. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Batrachenko O. V. – № a2011709862 ; zaiavl. 11.10.2017.
9. Zhyhul'skyi D. Tesla Semi: on sushchesvtuet! / D. Zhyhul'skyi // Avtotrak. – 2017. – № 5. – S. 47–53.
10. Batrachenko O. V. Vplyv roztashuvannia prystroiv zadnoho vydu na aerodynamichniy opir vantazhnoho avtomobiliu / O. V. Batrachenko // Tezy Mizhnar. naukovoprakt. konf. «Avtomobilnyi transport i avtomobilebuduvannia. Novitni tekhnolohii i metody pidhotovky fakhivtsiv». – 19–20 zhovtnia 2017 r. – Kharkiv. – S. 15–17.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.      Надрукована/Printed : 16.05.2018 р.  
Стаття рецензована редакційною колегією