

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2017

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2017, Issue 2, Volume 247

Хмельницький

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ В БУНКЕРІ ЕМУЛЬСИТАТОРУ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ ЖИВЛЯЧИМ ПАТРУБКОМ	7
О.В. ПЕТРОВ, В.А. ПОДОЛЯК, С.О. ГУНДЕРЧУК ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТОСУВАНЬ	12
Н.М. СТЕБЕЛЕЦЬКА ОЦІНКА ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНОСТІ ПАР ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ	15
Е.А. ЯРЕМЕНКО, Н.А. ЯРЕМЕНКО, И.Н. МИРОНЕНКО РАСЧЕТ ЗАМКНУТЫХ РАМ	19
С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ТРЬОМА ШАТУНАМИ ТА КОРОМИСЛОМ	23
О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ СІДЕЛЬНОГО АВТОПОТЯГУ	27
В. В. СЛАВІН ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДВИГУНА В РЕЖИМІ МІНІМАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ ХОЛОСТОГО ХОДУ	34
С.В. СМУТКО, С.П. ЛІСЕВИЧ, Д.О. ГАЛЮК РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРАННЯ В ПРАЛЬНИХ МАШИНАХ	38
В.П. СВІДЕРСЬКИЙ, В.С. ЯРЕМЧУК, А.В. ФУРМАН СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛООВОГО РОЗШИРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТВЕРДИХ ТІЛ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	42
М.М. КОСПЮК, С.А. КОСТЮК ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ СФЕРИЧНИХ ШАРНІРНИХ З'ЄДНАНЬ	47
В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ІНВАРІАНТІВ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМІВ ЧЕБИШЕВА ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ РОБОТИ У СИСТЕМІ SOLIDWORKS	52
М.М. РУБАНКА ПРИВІД КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОПОТОЧНОЮ ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ	59
В.Г. ЗДОРЕНКО, Н.М. ЗАЩЕПКІНА ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ГАЛЬМУВАННЯ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТА ВИБІР ЇЇ ПАРАМЕТРІВ	63

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

МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ СІДЕЛЬНОГО АВТОПОТЯГУ

При крейсерських швидкостях руху автопотягу позаду напівпричепи спостерігається протяжна зона пониженого тиску. Швидкість потоку в даній зоні знижується до 5 разів. Протяжність зони пониженого тиску складає понад 3 м при довжині автопотягу 17 м.

Ключові слова: сідельний автопотяг, напівпричеп, аеродинаміка, чисельне моделювання.

OLEXANDR MIKHAILOVICH PILIPENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

IGOR MIKOLAEVYCH LITOVCHENKO

National University of Food Technologies

MODELLING OF AERODYNAMICS OF A TRUCK WITH SEMI-TRAILER

Trunk road accounted for a significant share of cargo transportation of Ukraine and many other countries. That is why the profitability of paid great attention to researchers and engineers working in the automotive industry. The profitability of road transport largely depends on fuel efficiency of trucks, which is determined by their aerodynamic characteristics. While the predominant proportion of the drag of the cab and semi-trailer and a rarefaction zone behind semi-trailer. For the development of effective technical solutions to reduce the aerodynamic drag of the train is necessary to investigate thoroughly the phenomena that accompany the process of air flow in the trailer. At cruising speeds, road train rear semi-trailer observed the extended zone of low pressure. The flow rate in this zone is reduced to 5 times. The length of the zone of reduced pressure is more than 3 m when the length of the train 17 m. Keywords: truck, semi-trailer, aerodynamics, simulation.

Постановка проблеми

Магістральні автоперевезення складають значну частку вантажних перевезень України та багатьох інших країн світу. Саме тому підвищенню їх рентабельності приділяється велика увага дослідників та інженерів, які працюють в автомобілебудівній галузі. Рентабельність автоперевезень значною мірою обумовлюється паливною економічністю автопотягів, яка, в свою чергу, визначається багатьма чинниками, в тому числі і їх аеродинамічними характеристиками.

Згідно з [1], при досягненні автопотягом (тут і далі автопотяг – це сідельний тягач з напівпричепом) швидкості 80 км/год частка енергії, що витрачається двигуном на долаання опору повітря, сягає 50% від загальних енерговитрат приводу. Відповідно до [2] загальний аеродинамічний опір автопотягу обумовлюється наступними основними чинниками: лобовий опір кабіни та напівпричепу в вертикальній площині; лобовий опір кабіни в горизонтальній площині; дзеркала заднього виду; відстань між кабіною тягача та напівпричепом; колеса та колісні арки; фартухи колісних арок; трансмісія тягача та напівпричепу; зона розрідження позаду напівпричепу. При цьому переважну частку складають лобовий опір кабіни і напівпричепу та зона розрідження позаду напівпричепу (ЗРН), що пояснюється найбільшими площами цих ділянок при фронтальному обтіканні повітрям. На теперішній час розроблені та впроваджені ефективні рішення зі зменшення лобового опору автопотягу (спойлери та кабіна обтічної форми). В той же час відсутні технічні рішення, які здатні істотно зменшити негативний вплив ЗРН на аеродинаміку автопотягу і які були б придатні до практичного використання.

Відомі задні спойлери тієї чи іншої будови, які встановлюються позаду напівпричепу. Вони виготовляються, наприклад, такими виробниками, як «TrailerTail», «Aerorevolution», «STEMCO Aerodynamics», Mercedes-Benz Aerodynamics Trucks «Aero trailer». Розроблено напівпричепи обтічної форми «Teardrop» фірми «Don-Bur» та «Krone AeroLiner» фірми «MAN Truck & Bus» [1, 3]. Однак одні з цих рішень (спойлери) володіють низькою ефективністю, а інші (напівпричепи обтічної форми) – недостатньою ефективністю та недоліками в практичному використанні.

Для розробки більш ефективних технічних рішень зі зменшення аеродинамічного опору автопотягу необхідно ґрунтовно дослідити явища, які супроводжують процес обтікання повітрям напівпричепу.

Аналіз останніх джерел

В роботах [2, 4] наведені узагальнені числові дані впливу окремих чинників на загальний аеродинамічний опір автопотягу. Авторами [5–9] представлено результати моделювання аеродинаміки автопотягу. Авторами [10] дослідили вплив використання заднього спойлеру та обтікання повітрям напівпричепу. Виробником [1] наводяться дані з обтікання повітрям напівпричепів стандартної та обтічної форми.

Однак в усіх цих роботах представлені результати мають локальний характер. Відсутні дані, які б дали змогу оцінити швидкість потоку в усіх зонах задньої частини напівпричепу, тиск повітря та інтенсивність турбулентності в цих зонах при різних швидкостях руху повітря. Актуальним є вирішення даної задачі.

Метою статті є чисельне моделювання процесу обтікання потоком повітря магістрального

автопотягу та визначення особливостей розподілення швидкості, тиску та зон турбулентності повітря навколо нього для створення передумов оцінки ефективності відомих та запропонованих технічних рішень зі зниження його аеродинамічного опору.

Виклад основного матеріалу

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. 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. 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.

У розрахунку були використані наступні параметри: густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$; температура $t=20 \text{ }^\circ\text{C}$; швидкість набігаючого повітря 25 м/с та $19,4 \text{ м/с}$ (даний режим відповідає руху автопотягу зі швидкістю 90 км/год та 70 км/год відповідно). В ході досліджень використана 3D-модель автопотягу марки «IVECO New Stralis XP», який має довжину 17 м . При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу, з якого виготовляються автопотяги.

У задачі були використані кілька способів візуалізації отриманих результатів. Візуалізація скалярного поля дисипації кінетичної енергії, яка пропорційна градієнту швидкості деформації повітря, дозволила визначити місця виникнення завихрень в потоці. Поле дисипації візуалізовано шляхом використання градієнтних ізоліній. Візуалізація векторного поля швидкості дозволила визначити місця зміни величини швидкості і зміни напрямку руху продукту.

Результати моделювання представлені на рис. 1–8. Як видно з даних рисунків, при обтіканні автопотягу утворюється низка характерних зон навколо нього, наявність яких обумовлює суттєве збільшення енерговитрат при швидкісному русі автопотягу. З урахуванням наведеного вище, особливий інтерес представляють зона розрідження позаду напівпричепи та зона спереду кабіни тягача.

Як видно з рисунку 1, позаду напівпричепи спостерігається протяжна зона (довжиною близько $3,5\text{--}4 \text{ м}$), швидкість повітря в якій суттєво менша за швидкість набігаючого потоку. Так при швидкості повітря навколо напівпричепи 25 м/с в даній зоні швидкість повітря зменшується переважно в діапазоні від 15 м/с до 5 м/с . При цьому наявні окремі локальні зони зі швидкістю повітря $0\text{--}1,5 \text{ м/с}$. У випадку швидкості повітря навколо напівпричепи $19,4 \text{ м/с}$ характер зони зберігається, лише зменшується її протяжність.

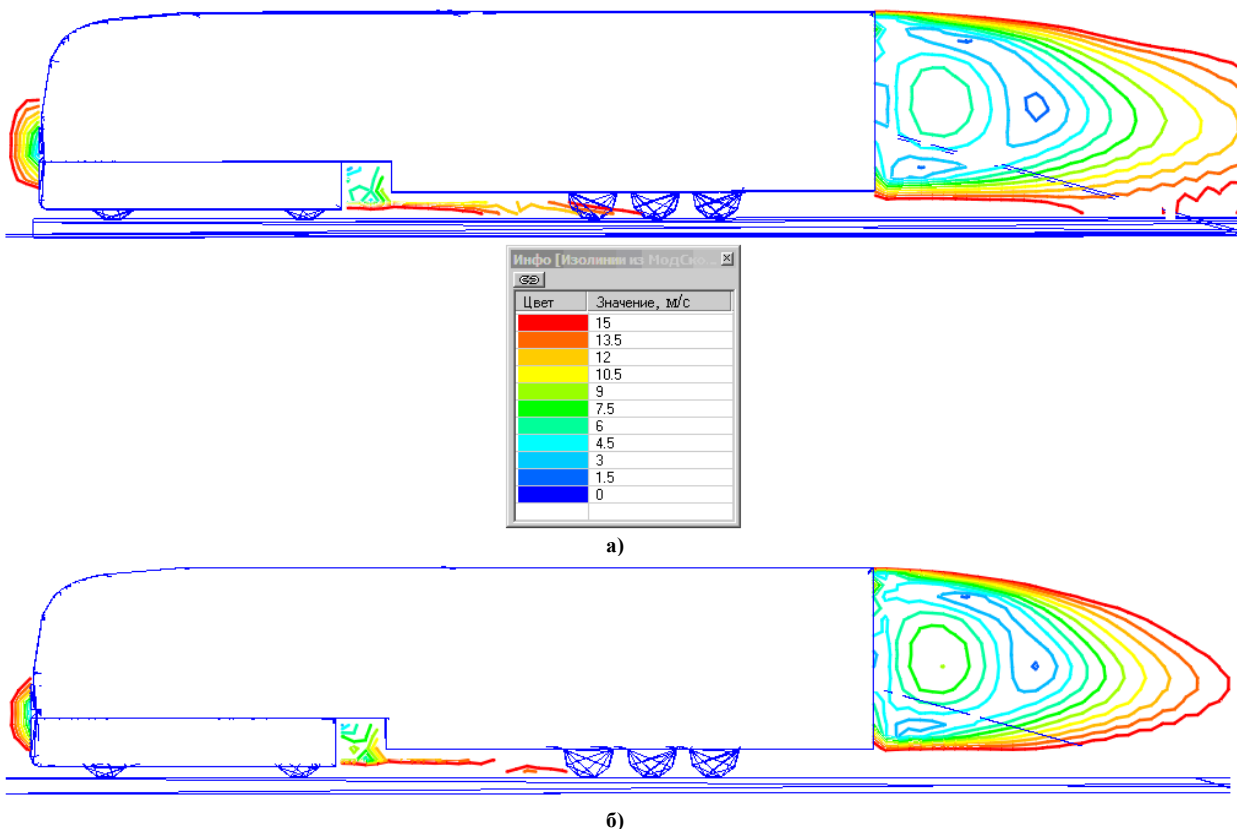


Рис. 1. Розподілення швидкості повітряного потоку при обтіканні автопотягу, м/с (у вигляді ізоліній): а) для швидкості 25 м/с ; б) для швидкості $19,4 \text{ м/с}$

Пояснити таке зниження швидкості потоку повітря можуть дані, наведені на рис. 2 та рис. 3. В даній зоні потік повітря відривається від поверхні напівпричепа та змінює напрямок свого руху на протилежний. При цьому швидкість набігаючого потоку різко знижується та утворюються вихри. Довжина ЗРН позаду напівпричепа сягає понад 3 м при довжині автопотягу 17 м. У випадку руху автопотягу зі швидкістю 19,4 м/с довжина ЗРН дещо зменшується, але незначно. Як видно з рисунку 3, позаду напівпричепа вектори повітряного потоку розташовуються майже симетрично, утворюючи вихри у верхній та нижній частині ЗРН, наближених до поверхонь напівпричепа. Схожа картина спостерігається і в горизонтальних площинах (рисунок 4, 5). Відмінністю є деяке звуження ЗРН в горизонтальній площині, що обумовлено відмінністю габаритів напівпричепа у вертикальному та горизонтальному напрямках. При обтіканні ж лобової частини кабіни тягача (рисунок 2) навпаки спостерігається істотне збільшення швидкості потоку повітря у верхній частині кабіни та над автопотягом у при поверхневому шарі (до 40 м/с при швидкості руху автопотягу 25 м/с та до 32 м/с при швидкості руху автопотягу 19,4 м/с).

Вказана різниця у швидкостях потоку повітря призводить до виникнення різних тисків, що діють на автопотяг у названих зонах (рисунок 6). Так на лобову частину автопотягу діє надлишковий тиск до 100 Па, тоді як у ЗРН тиск складає близько (-100) Па. Різниця цих тисків обумовлює утворення рівнодіючої сили, яка штовхає автопотяг у зворотній бік до його руху, викликаючи цим підвищення витрат пального.

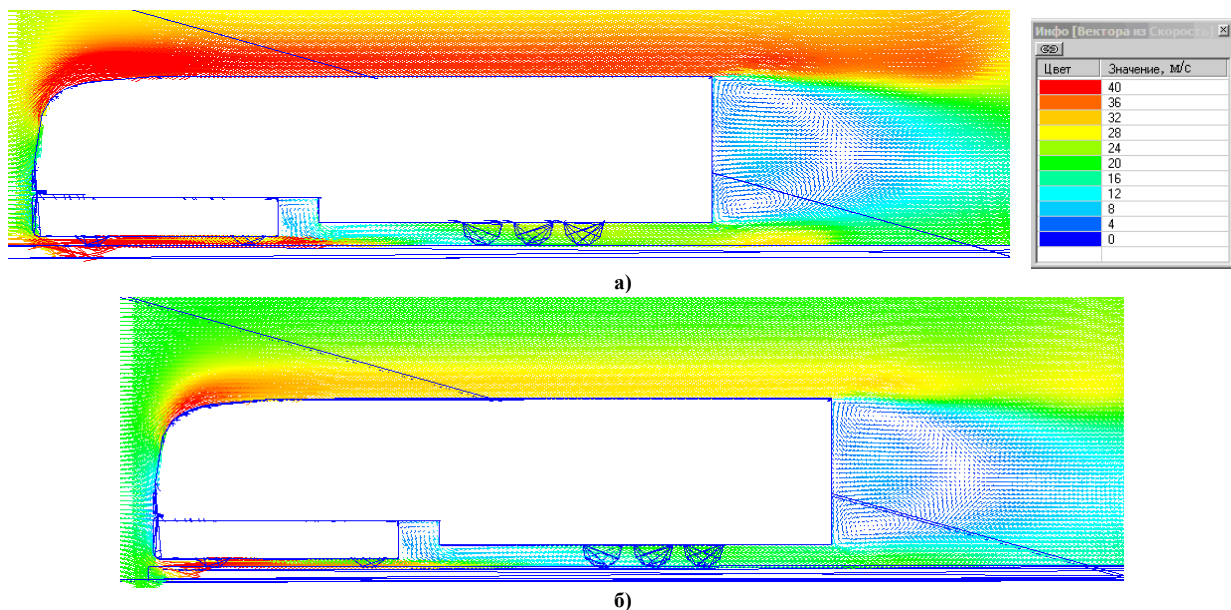


Рис. 2. Розподілення швидкості повітряного потоку при обтіканні автопотягу, м/с (у вигляді векторів): а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

Поряд із цим в зоні лобової частини автопотягу наявні ділянки з пониженим тиском (від -80 до -100 Па). Це свідчить про те, що геометрія кабіни та верхнього спойлеру тягача недостатньо оптимізована з точки зору аеродинаміки. Даний висновок відноситься безпосередньо до даної моделі тягача, але, зважаючи на конструктивні особливості більшості моделей тягачів, його можна віднести і до автомобілів інших виробників.

В ділянках з пониженим тиском потік повітря, який набігає, відривається від поверхні автопотягу, утворює вихри. На утворення вихрів витрачається надлишкова енергія, що також слугує фактором збільшення витрат пального тягачем автопотяга. Інтенсивність утворення вихрів можна оцінити за турбулентною дисипацією (рисунок 7). Як видно з рисунку, при швидкості автопотягу 25 м/с найбільші значення турбулентної дисипації (до 200 одиниць) спостерігаються у верхній передній частині кабіни тягача та у верхній і нижній частинах заднього торцю напівпричепа. При швидкості руху 19,4 м/с максимальні значення турбулентної дисипації зберігаються, але зони турбулентності повітря істотно зменшуються.

Дані рисунку 7 дозволяють оцінити розмір зон турбулентності, який вказує на великі витрати енергії, що необхідні для їх утворення. Зважаючи на зазначене, доцільним є розробка заходів зі зменшення або усунення зон турбулентності як в лобовій, так і в задній частині автопотягу. На рисунку 8 представлено ізоповерхні, які окреслюють потік повітря зі швидкостями 25 м/с. Аналізуючи наведені дані можна дійти висновку, що протяжність зони пониженого тиску позаду автопотягу достатньо велика. Ймовірно є те, що застосування задніх спойлерів для повного або суттєвого усунення вказаних негативних чинників неможливе через надто великі габарити спойлерів. Це вказує на необхідність подальшого дослідження аеродинаміки сідельних автопотягів та розробки більш ефективних технічних рішень зі зниження їх аеродинамічного опору.

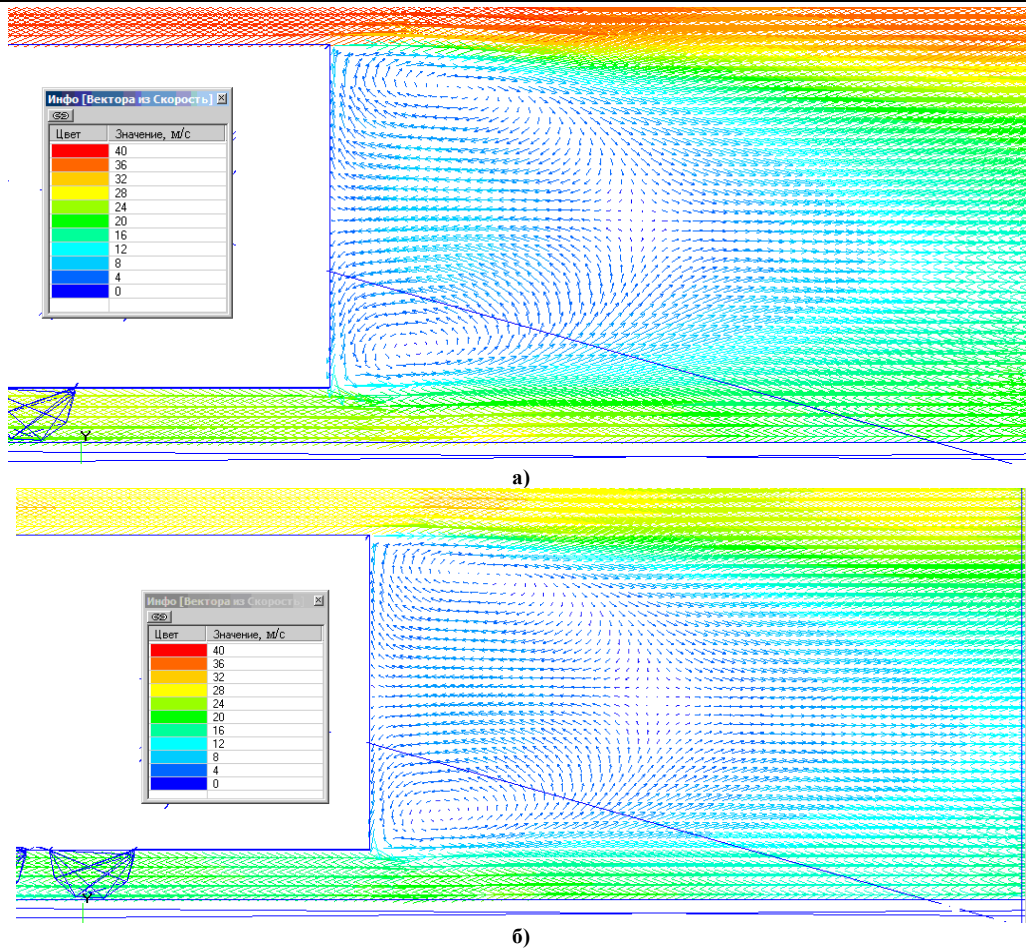


Рис. 3. Розподілення швидкості повітряного потоку у вертикальному серединному повздожньому перетині позаду напівпричепа, м/с (у вигляді векторів):
 а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

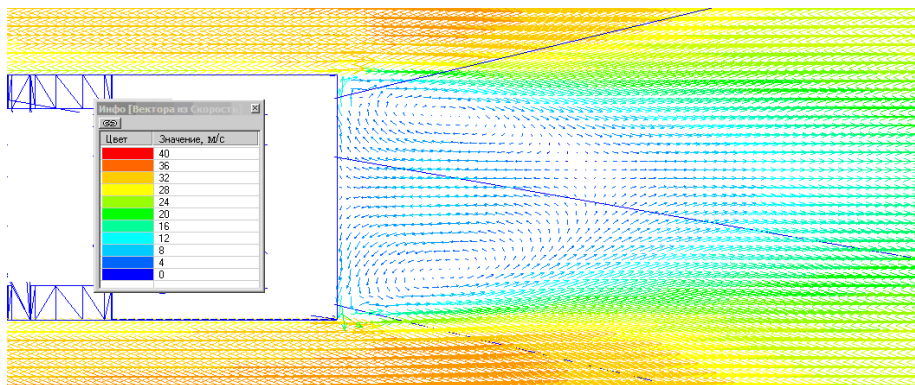


Рис. 4. Розподілення швидкості (м/с) повітряного потоку в горизонтальному серединному повздожньому перетині позаду напівпричепа (у вигляді векторів) для швидкості 25 м/с

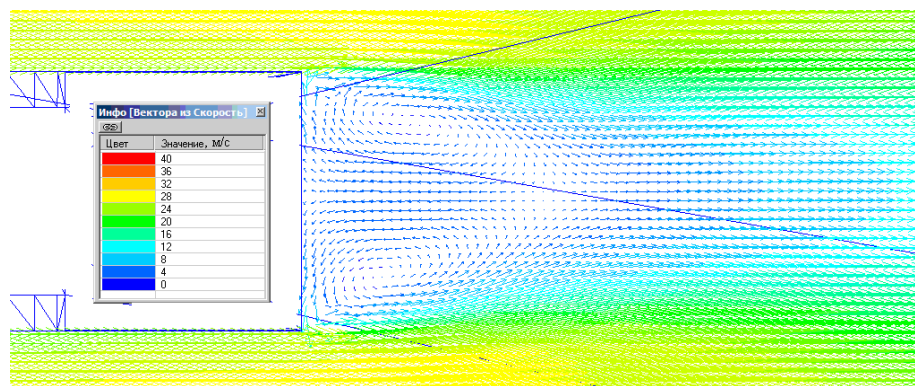


Рис. 5. Розподілення швидкості (м/с) повітряного потоку в горизонтальному серединному повздожньому перетині позаду напівпричепа (у вигляді векторів) для швидкості 19,4 м/с

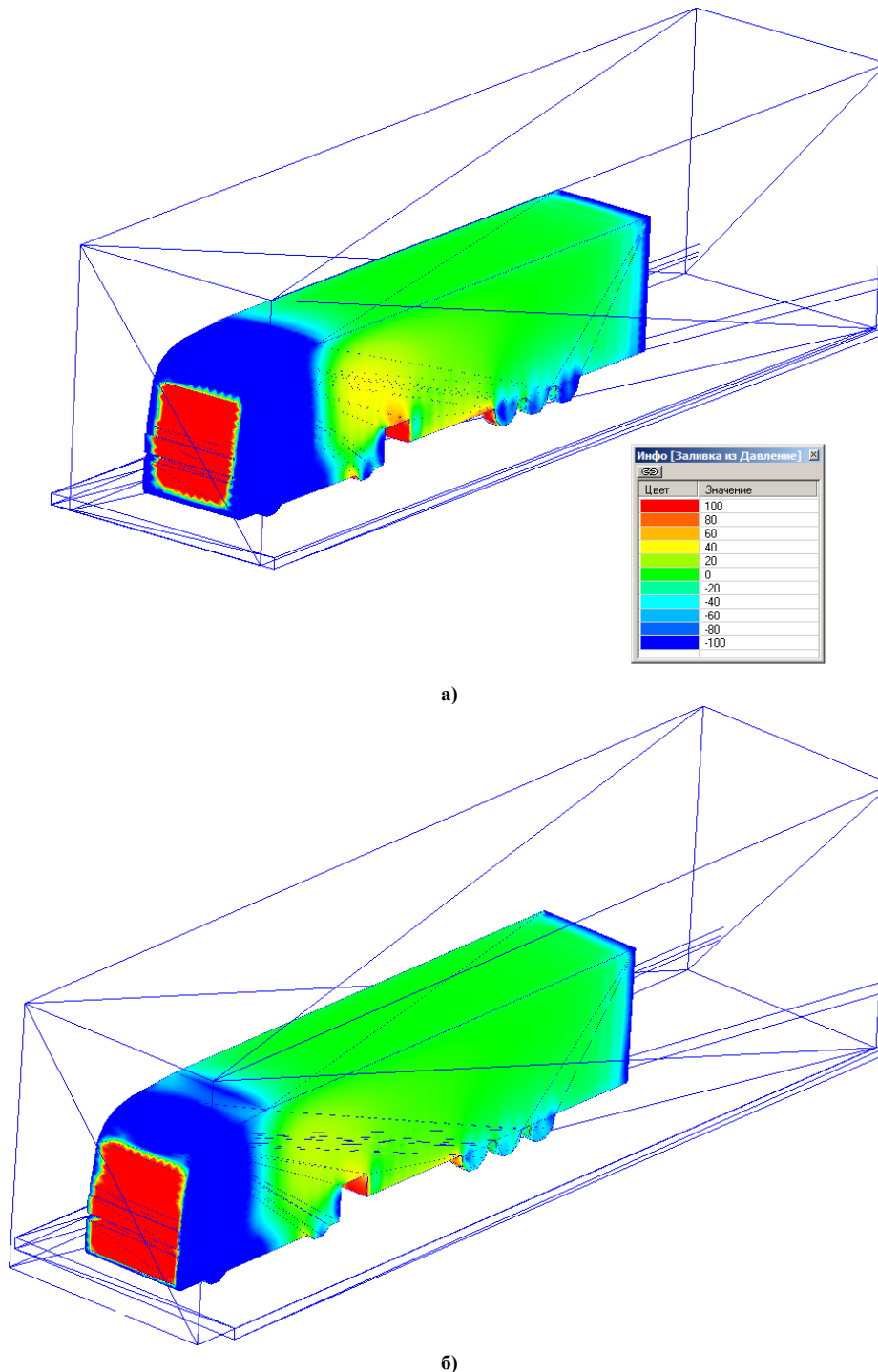


Рис. 6. Тиск повітря на поверхню автопотягу при його обтіканні, Па: а) зі швидкістю 25 м/с; б) зі швидкістю 19,4 м/с

Висновки

Чисельне моделювання аеродинаміки сидельного автопотягу дозволило встановити розподілення швидкості, тиску та зон турбулентності повітря навколо нього. При обтіканні автопотягу утворюється низка характерних зон, наявність яких обумовлює суттєве збільшення енерговитрат при швидкісному русі автопотягу. Найбільша зміна швидкості повітря та тиску на поверхню автопотягу спостерігаються в його лобовій частині (тиск збільшується на величину до 100 Па) та позаду напівпричепи (тиск зменшується на величину до 100 Па). В даних зонах відбувається інтенсивне утворення завихрень, що служить додатковим чинником збільшення витрат енергії на рух автопотягу.

Отримані дані можуть бути використані при порівняльній оцінці ефективності відомих та запропонованих технічних рішень зі зниження аеродинамічного опору автопотягів. Напрямами подальших досліджень можуть бути визначення ефективності застосування задніх спойлерів для напівпричепів, а також розробка таких технічних рішень зі зниження аеродинамічного опору автопотягів, які були б більш ефективними у порівнянні з уже відомими рішеннями.

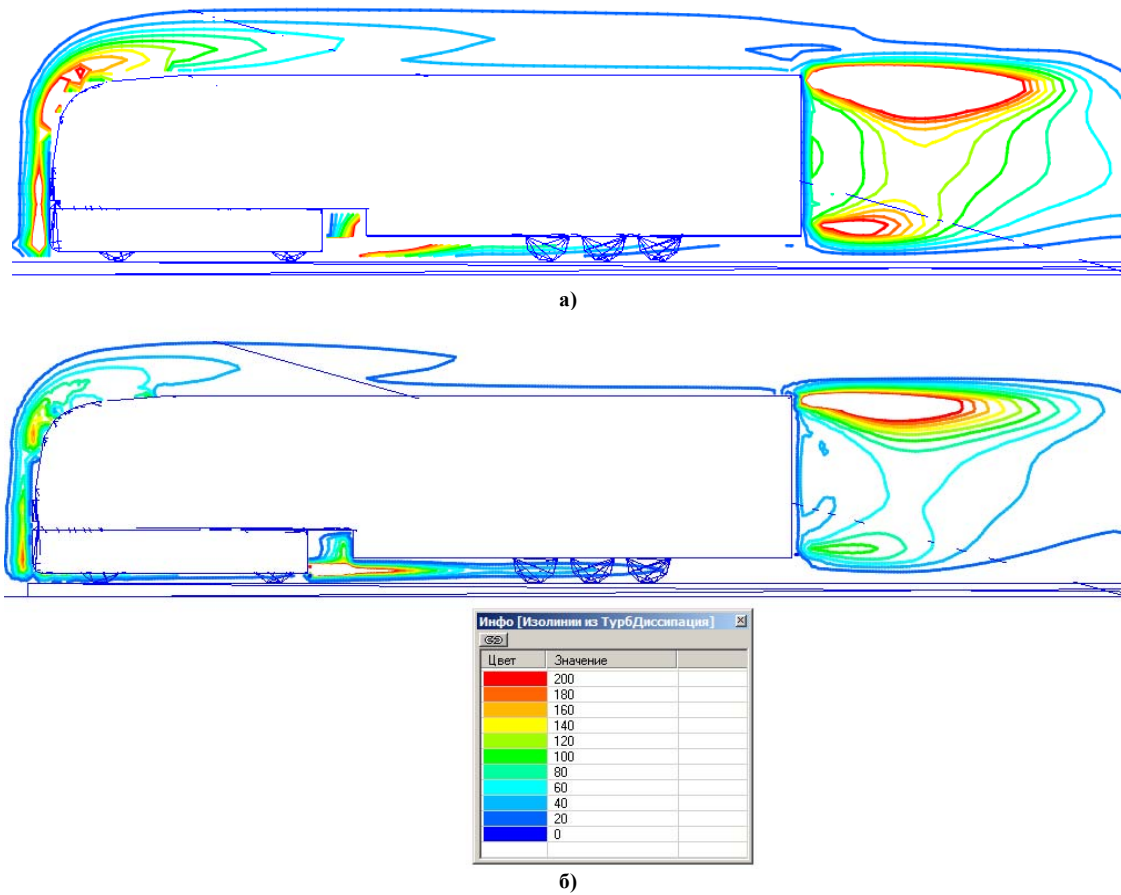


Рис. 7. Розподілення турбулентної дисипації навколо автопотягу, одиниць (у вигляді ізоліній): а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

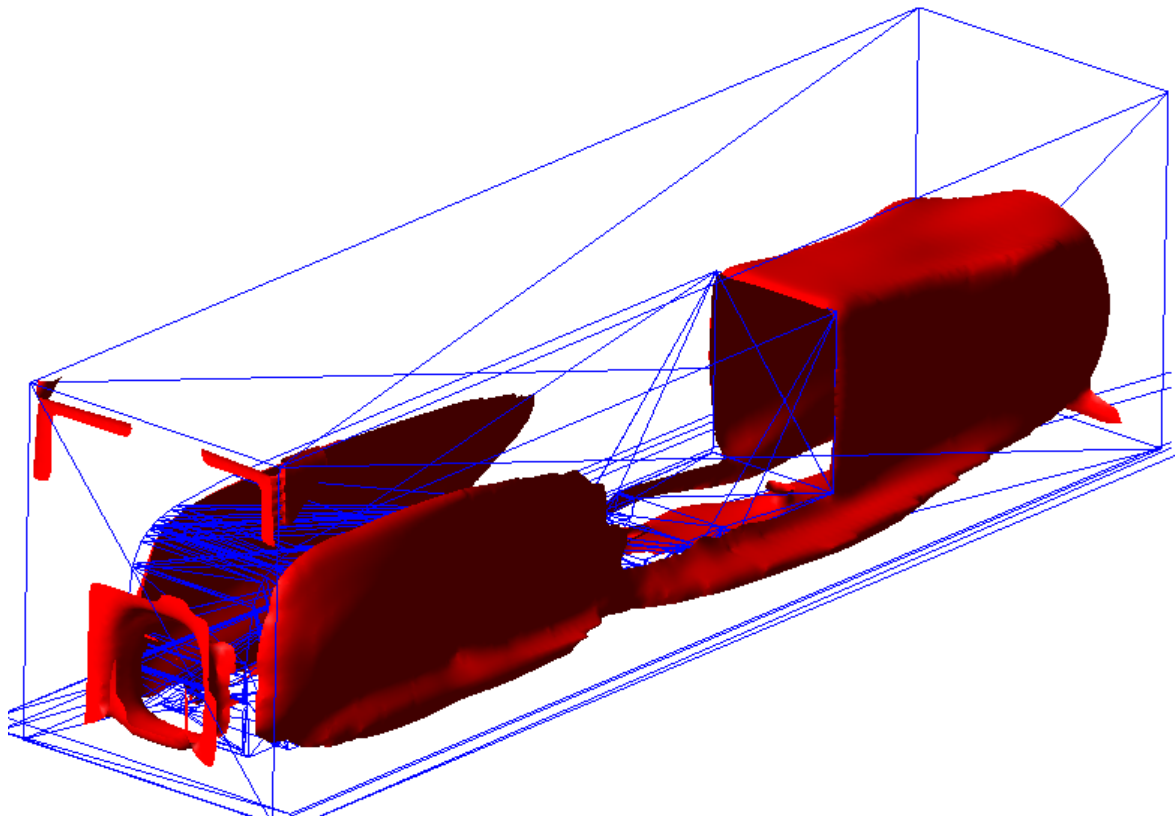


Рис. 8. Розподілення швидкості повітряного потоку при обтіканні автопотягу зі швидкістю 25 м/с (у вигляді ізоповерхні)

Література

1. Промисловий каталог фірми Don-Bur (Bodies & Trailers) Ltd. [Електронний ресурс]. –

Великобританія, 2016. – Режим доступу : www.donbur.co.uk.

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

3. Промисловий каталог фірми MAN Truck & Bus AG [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.mantruckandbus.com.

4. Карабцев В. С. Аэродинамика плообтекаемых тел и возможности ее применения при проектировании грузовых автомобилей. Аналитический обзор / В. С. Карабцев, Д. Х. Валеев. – М. : Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 4. – С. 97–102.

5. Киселева Н. Н. Современные информационные технологии для выполнения экспериментов автомоделирования аэродинамики автомобиля / Н. Н. Киселева, А. А. Платонов. – М. : Fundamental research. – 2015. – № 3. – С. 90–94.

6. Валеев Д. Х. Эволюция аэродинамических характеристик автомобилей «КАМАЗ» / Д. Х. Валеев, В.С. Карабцев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – № 1. т. 1. – С. 13–19.

7. 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.

8. Rose McCallen. DOE's Effort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations / Rose McCallen et al. [Електронний ресурс]. – США, 2006. – Режим доступу : www1.eere.energy.gov.

9. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report / Marc Belzile [Електронний ресурс]. – Канада, 2012. – Режим доступу : www.tc.gc.ca.

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

Рецензія/Peer review : 20.1.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2017 р.

Рецензент: к.т.н. Рубан Д.П.