

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

3.2017

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2017, Issue 3, Volume 249

Хмельницький

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

А.О. СЯСЬКИЙ, Н.В. ШЕВЦОВА ПЕРЕДАЧА ПАРИ СИЛ ДО КОНТУРУ КРИВОЛІНІЙНОГО ОТВОРУ ПЛАСТИНКИ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ОДНАКОВИХ ПРУЖНИХ РЕБЕР	7
Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, П.В. МІНЯЙЛО КІНЕМАТИКА ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ, ОДЕРЖАНИХ НА БАЗІ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ	14
І.О. ПОХИЛЬЧУК, Т.О. ГАЛИЦЬКИЙ, О.Р. СТРИЛЕЦЬ, З.К. САСЮК МЕТОДИКА ПІДБОРУ МАТЕРІАЛІВ ПАР ТЕРТЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ПІДВИЩЕНОЇ ГЕРМЕТИЧНОСТІ	17
О.Р. СТРИЛЕЦЬ ОБґРУНТУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЗУБЧАСТОЇ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ З ВЕДУЧИМ ВОДИЛОМ І ВЕДЕНИМ ЕПІЦИКЛОМ АБО НАВПАКИ У ПРИСТРОЇ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ	21
В.С. КУРСКОЙ, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ, О.С. ЗДИБЕЛЬ АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЖИВЛЕННЯ ЦИКЛІЧНО-КОМУТОВАНОГО РОЗРЯДУ В УСТАНОВКАХ АЗОТУВАННЯ	27
А.О. РАМСЬКИЙ ЗМЕНШЕННЯ НАПРУЖЕНЬ ПЛИТИ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОКРИТТЯ ЇЇ ШАРОМ ІЗ ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ	32
О.І. ПЕРЕДРІЙ, І.В. ЄМЧЕНКО ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНОГО ПОЛІАЛЮМОСИЛОКСАНУ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ	37
В.В. ЧАБАН, Є.О. КОРОБЧЕНКО ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТОВАРОПРИЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ ПРИ ПУСКУ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ	42
М.М. КОСПЮК, С.А. КОСТЮК ФОРМОУТВОРЕННЯ НЕПОВНИХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ	47
Н.М. ЗАЩЕПКІНА, Ю.С. ГРЕЧУХА, Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ТА КОНФІГУРАЦІЇ ЧАСТИН ЛИТИХ КОМБІНОВАНИХ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	52
О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАДНІХ СПОЙЛЕРІВ СІДЕЛЬНИХ АВТОПОТЯГІВ	60
В.А. НАСТАСЕНКО КАК РАСШИРИТЬ ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН COROCUT-3, MULTICUT 4 И RENTACUT В ОТРЕЗНЫХ РЕЗЦАХ	66
И.В. БЛАХ НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕХСТОРОННИХ ДИСКОВЫХ СБОРНЫХ ФРЕЗ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ	70
В.І. ОСИПЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, О.В. БАТРАЧЕНКО ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАЧІ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ ШНЕКОМ ВОВЧКА	73

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

ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАДНІХ СПОЙЛЕРІВ СІДЕЛЬНИХ АВТОПОТЯГІВ

Високою ефективністю володіють саме спойлери з достатньою довжиною. Спойлери довжиною 1,8 м та 5,45 м дозволяють зменшити турбулентну дисипацію в 3 і 8 разів відповідно, розмір зон пониженого тиску – в 2-30 разів. Зважаючи на значну довжину таких спойлерів актуальною є розробка нового способу зменшення аеродинамічного опору автопотягу, який би не потребував збільшення його довжини.

Ключові слова: сідельний автопотяг, задній спойлер, аеродинаміка, чисельне моделювання.

OLEXANDR MIKHAILOVICH PILIPENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

IGOR MIKOLAEVYCH LITOVCHENKO

National University of Food Technologies

STUDY OF AERODYNAMIC PROPERTIES REAR SPOILERS SEMI-TRUCKS

One important factor to improve fuel economy Heavy and long vehicles is the reduction of aerodynamic drag. The largest share of the total drag is reduced pressure zone behind the trailer. To improve aerodynamics producers are invited to apply rear spoilers. According to the results of numerical modelling, design rear spoiler materially affect its aerodynamics and the aerodynamic drag truck Heavy and long vehicles. Have high effectiveness that is spoilers with sufficient length. So the spoilers with a length of 1.8 m and 5.45 m reduce turbulent dissipation in 3 and 8 times, respectively, the size of the zones of reduced pressure – in times 2-30. Despite the considerable length of these spoilers is urgent to develop a new method for reducing the aerodynamic drag of the combination, which would not need to increase its length.

Keywords: truck, semi-trailer, aerodynamics, simulation.

Вступ

В сучасних умовах 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.

Одним з важливих факторів покращення паливної економічності автопотягів (насамперед, сідельних тягачів з напівпричепами) є зниження їх аеродинамічного опору. Так, згідно з [1] частка аеродинамічного опору в загальних енерговитратах на рух при швидкості автопотягу 70 км/год (20 м/с) сягає 50%, а при швидкості 100 км/год (28 м/с) сягає 2/3. Загальний аеродинамічний опір автопотягу складається з цілої низки чинників [2]. Найбільшу частку загального аеродинамічного опору складають лобовий опір кабіни і напівпричепи, а також зона розрідження (ЗР) позаду напівпричепи. Ефективні рішення зі зменшення ЗР позаду напівпричепи, які придатні до практичного використання, відсутні, хоча їх відомо значну кількість. Технічні рішення, спрямовані на зменшення ЗР, так чи інакше передбачають створення плавної зміни форми напівпричепи в задній його частині з метою зменшення відриву потоку повітря та зменшення утвореної зони турбулентності.

Виробником [3] пропонуються до використання задні спойлери напівпричепів, які виконані у вигляді надувних конструкцій, що розташовані на металевому каркасі. Поверхня спойлера дозволяє забезпечити поступове звуження призматичної поверхні кузова причепа, чим зменшується його аеродинамічний опір. Недоліком такої будови спойлеру є недостатня його ефективність, значна довжина та складність експлуатації. Інші виробники, наприклад [4], пропонують складні спойлери, які виконані у вигляді листів, що утворюють призматичну конструкцію. Такі спойлери мають зменшену довжину і за даними виробників дозволяють економити до 3,5% палива. Схожий підхід, але більш детально технічно опрацьований, представлено Mercedes-Benz Aerodynamics Trucks у будові напівпричепи «Aero trailer». Виробник застосував [5] комплекс заходів зі зменшення аеродинамічного опору, що дало змогу його зменшити на 18%, при цьому досягається 8% економія пального.

Застосування задніх спойлерів має суттєве обмеження. Такі пристрої на даний час можуть бути широко застосовані лише в США, Австралії та інших країнах, устрій доріг яких обумовлює значний вільний простір для маневру. В Європейському ж союзі діють стандарти, які не дозволяють збільшувати довжину автопотягу понад 18 м. При цьому стає неможливим застосування навіть найкоротших спойлерів.

Задні спойлери здатні лише частково вирішити проблему зменшення ЗР позаду напівпричепи. Найбільше зниження аеродинамічного опору, в тому числі і за рахунок зменшення ЗР позаду напівпричепи, досягається в концепт-карі «Krone AeroLiner» німецької фірми MAN [1]. Спеціальним чином модифікована форма кабіни напівпричепи, заміна дзеркал заднього виду на відеокамери та надання кузова напівпричепи яскраво вираженої обтічної форми дозволяє заощаджувати до 25% пального. Однак такий напівпричеп має зменшений корисний об'єм внутрішнього простору при незмінному загальному об'ємі. Це пояснюється тим, що більшість вантажів в сучасних умовах формуються в так звані вантажні одиниці, які мають значний та

незмінний габарит. Об'єм кузова таких напівпричепів може бути повністю використаний лише при завантаженні мілким вантажем із малою питомою вагою. Для такого напівпричепу стає неможливим завантаження і розвантаження автотранспортом з боку дверей, що є необхідним при роботі з рампи.

Як слідує з наведеного вище, задні спойлери мають низку надлишків, в той час як проблема зниження аеродинамічного опору сідельних автопотягів є актуальною. Для обґрунтованої оцінки ефективності застосування задніх спойлерів та доцільності розробки нових пристроїв зі зменшення аеродинамічного опору необхідно дослідити аеродинамічні властивості задніх спойлерів.

Аналіз публікацій

В попередній роботі авторами наведено результати чисельного моделювання аеродинаміки сідельного автопотягу, при чому особливу увагу присвячено зоні позаду напівпричепу. Однак ефективність задніх спойлерів не досліджувалась. В роботі [6] представлено результати експериментальних досліджень аеродинамічних властивостей задніх спойлерів, а в роботі [7] наведено результати їх чисельного моделювання. Авторами [8] досліджено вплив використання заднього спойлеру на обтікання повітрям напівпричепу. Однак в роботі наведено лише результати визначення тиску позаду напівпричепу, причому для спойлеру однієї довжини. Це не дозволяє ґрунтовно оцінити аеродинамічні явища, що виникають при використанні задніх спойлерів. Актуальним є дослідження швидкості повітряного потоку, його тиску та інтенсивності турбулентності в зоні позаду напівпричепу при використанні задніх спойлерів.

Метою статті є дослідження аеродинамічних властивостей задніх спойлерів сідельних автопотягів шляхом чисельного моделювання процесу обтікання потоком повітря магістрального автопотягу та визначення особливостей розподілення швидкості, тиску та зон турбулентності повітря навколо них для створення передумов оцінки ефективності відомих та запропонованих технічних рішень зі зниження аеродинамічного опору автопотягів.

Основний розділ

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 (даний режим відповідає руху автопотягу зі швидкістю 90 км/год).

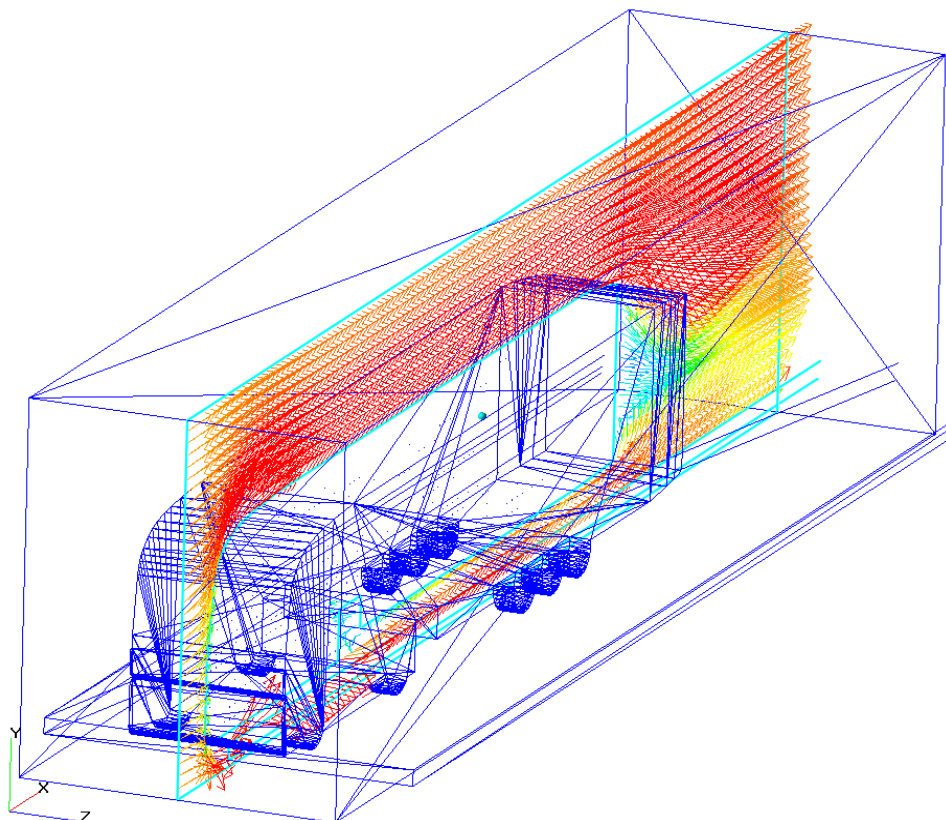


Рис. 1. Розподілення швидкості повітряного потоку (у вигляді векторів) при обтіканні автопотягу

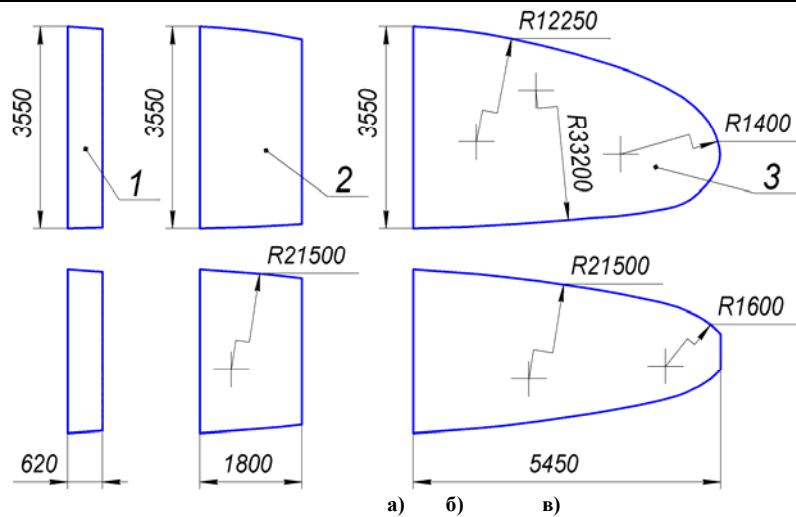


Рис. 2. Види конфігурацій спойлерів (вид збоку та вид зверху, розміри наведено в мм): а) №1; б) №2; в) №3

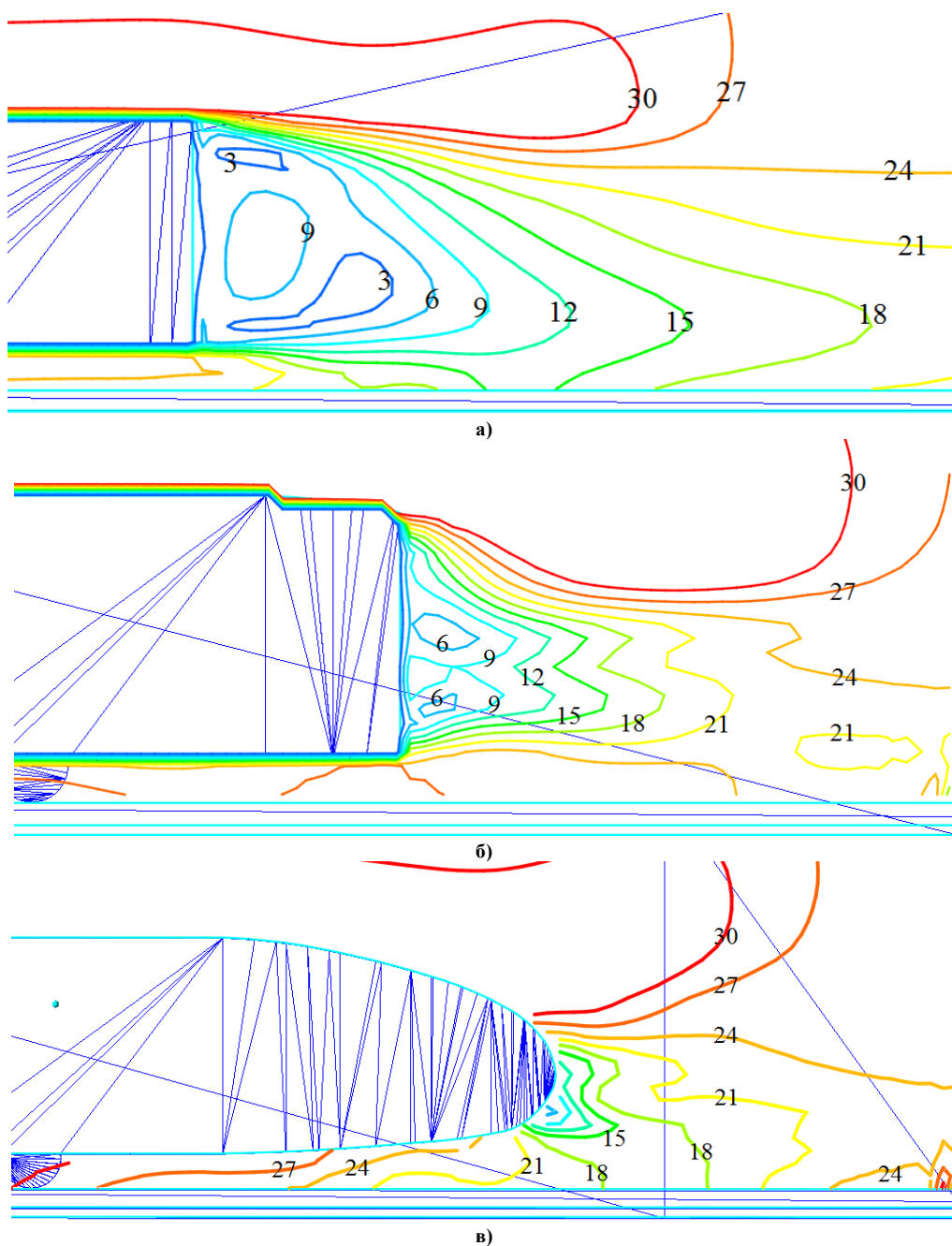


Рис. 3. Розподілення швидкості повітряного потоку у вертикальному середньому позаддовжньому перетині позаду напівпричепа, м/с (у вигляді ізоліній): а) для спойлеру №1; б) для спойлеру №2; в) для спойлеру №3

В ході досліджень використана 3D-модель автопотягу марки «IVECO New Stralis XP», який має довжину 17 м (рис. 1). Досліджувались аеродинамічні властивості задніх спойлерів (далі – спойлерів) трьох типів конфігурацій (рис. 2), з яких спойлер №1 відповідає рішенням виробника [5], спойлер №2 – рішенням виробника [4], а спойлер №3 – близький до конструктивного вирішення напівпричепа концепт-кара «Krone AeroLiner» [1]. Візуалізацію результатів моделювання наведено на рис. 3–5, числові дані – в табл. 1.

Як свідчать результати чисельного моделювання, конструкція заднього спойлеру суттєвим чином впливає на його аеродинамічні властивості та на аеродинамічний опір сидельного автопотягу. При використанні спойлеру №1 позаду автопотягу наявні протяжні зони з пониженою швидкістю повітряного потоку (3–9 м/с). По відношенню до напівпричепа стандартної будови (без заднього спойлеру) площа зони зі швидкістю 3 м/с зменшена до 25%, що вказує на зменшення аеродинамічного опору напівпричепа. В той же час зони зі швидкостями 12–24 м/с збільшені на величину від 341% до 187%, що також свідчить про більш поступове огинання повітряним потоком напівпричепа і про зменшення його аеродинамічного опору. При використанні спойлеру №2 зони зі швидкостями повітря 3–12 м/с суттєво зменшені (до 4–51% по відношенню до напівпричепа стандартної будови та в 3-8 разів по відношенню до спойлеру №1). При цьому зони зі швидкістю 21–24 м/с збільшені по відношенню як напівпричепа стандартної будови, так і спойлеру №1. При використанні спойлеру №3 зона зі швидкістю 3 м/с майже відсутня, а зони з швидкістю 6-12 м/с зменшені до 3–18% по відношенню до напівпричепа стандартної будови та в 3-4 рази по відношенню до спойлеру №2.

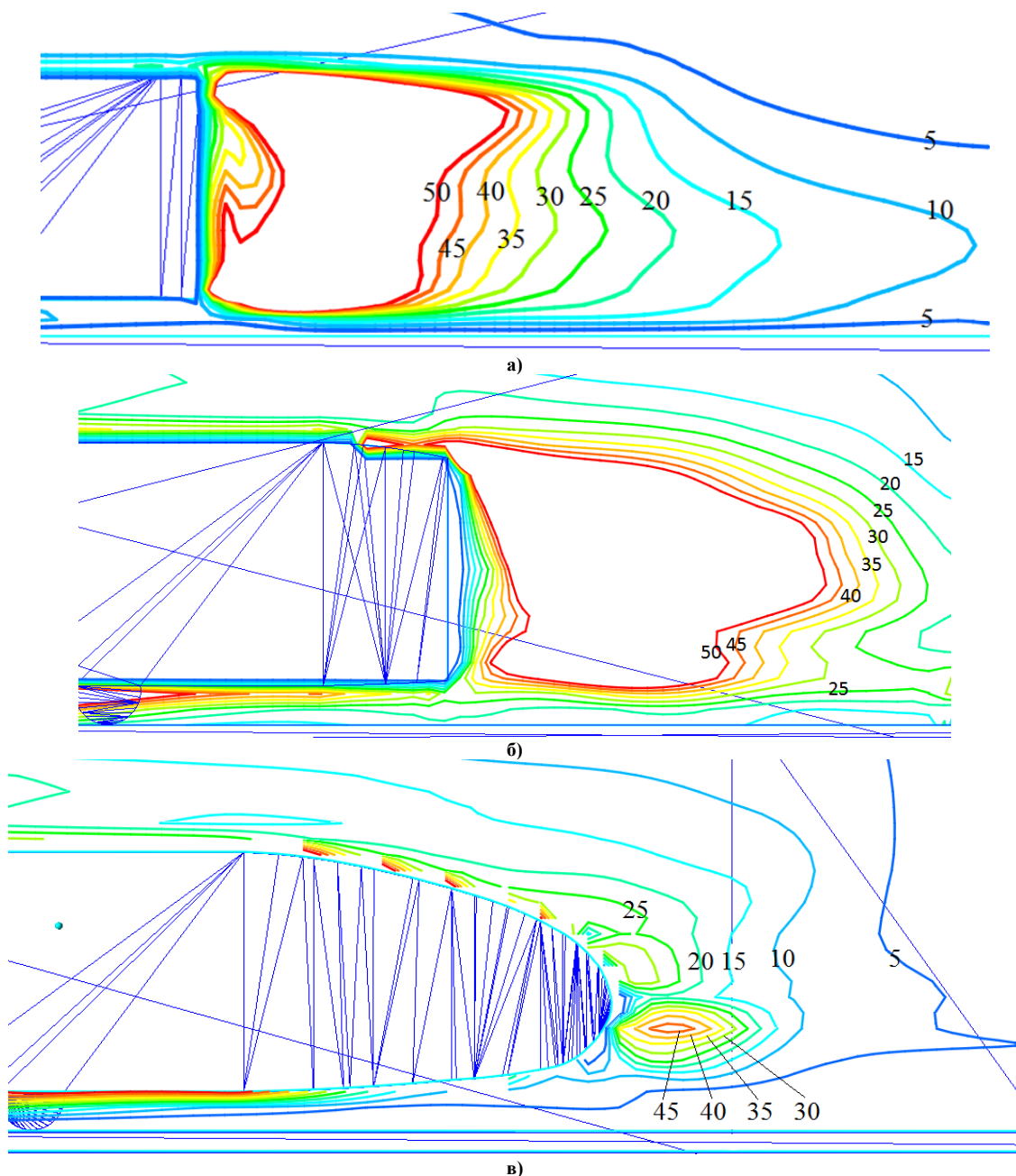


Рис. 4. Розподілення турбулентної дисипації навколо автопотягу, одиниць (у вигляді ізоліній): а) для спойлеру №1; б) для спойлеру №2; в) для спойлеру №3

Аналогічним чином змінюється і турбулентна дисипація. При використанні спойлеру №1 значення турбулентної дисипації зменшуються приблизно у 4 рази по відношенню напівпричепа стандартної будови. При цьому перехід від спойлеру №1 до спойлеру №2 дозволяє зменшити турбулентну дисипацію в 2–4 рази, а перехід до спойлеру №3 додатково її зменшити в 1,5-2 рази. Це свідчить про ефективне зниження енерговитрат на утворення вихрив при русі автопотягу.

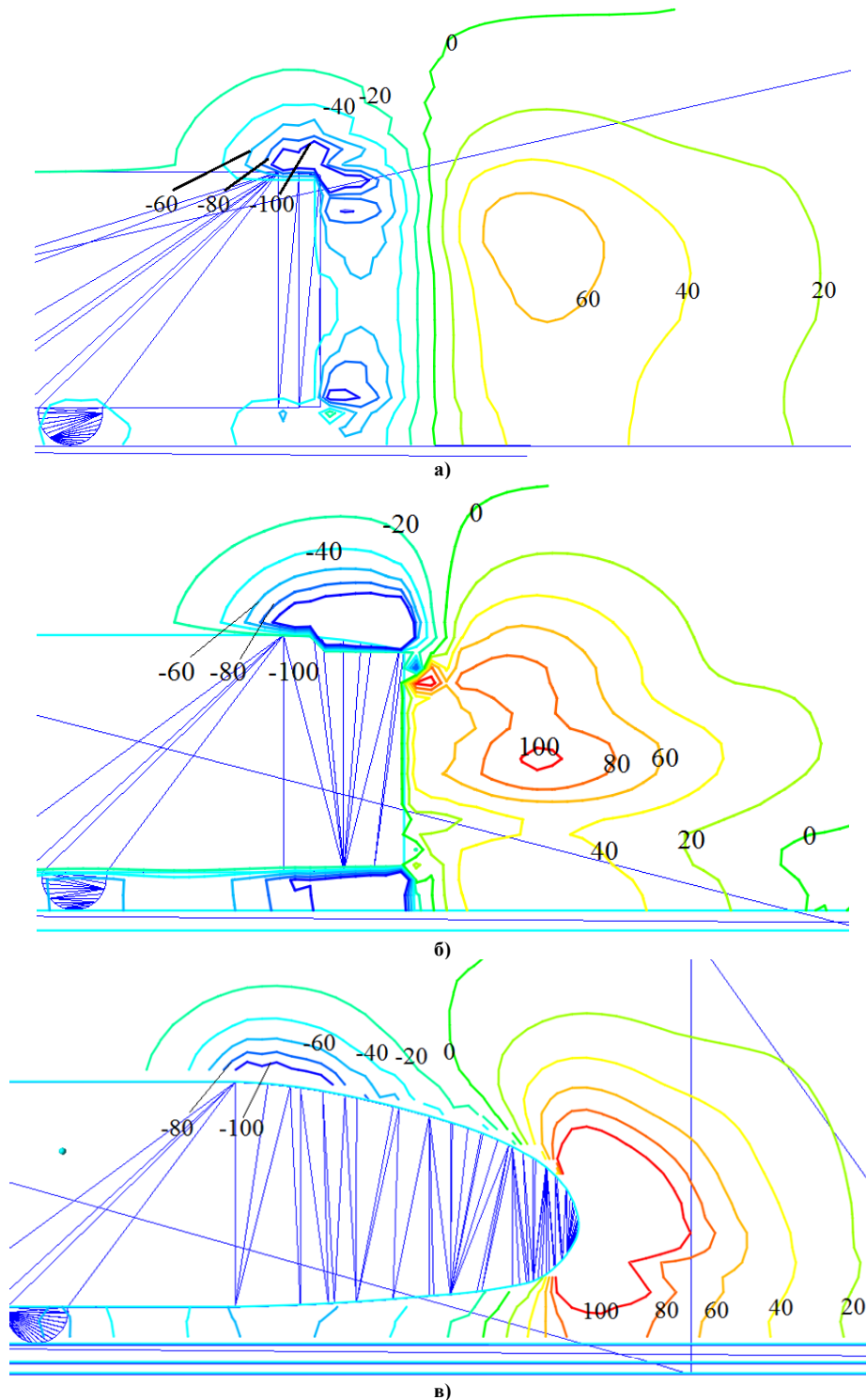


Рис. 5. Тиск повітря на поверхню автопотягу при його обтіканні, Па:
а) для спойлеру №1; б) для спойлеру №2; в) для спойлеру №3

Застосування спойлерів значним чином впливає на тиск повітря позаду напівпричепа. Так при спойлері №1 зони з від'ємним тиском зменшуються до 34–94% по відношенню до напівпричепа стандартної будови. При спойлері №2 розмір таких зон додатково зменшується в 2–22 рази, а при спойлері №3 до 1,5 разів по відношенню до спойлера №2. Натомість розмір зон з додатним тиском повітряного потоку (0-100 Па) суттєвим чином збільшується.

Таблиця 1

Порівняння результатів моделювання аеродинамічних властивостей спойлерів

Вид параметру та його значення		Площа характерної зони (відповідно до рис. 3–5) в порівнянні з напівприцепом стандартної будови, %		
		спойлер №1	спойлер №2	спойлер №3
Швидкість, м/с	3	25	4	1
	6	99	9	3
	9	107	39	9
	12	341	51	18
	15	342	201	81
	18	242	258	182
	21	188	392	145
	24	176	623	67
	27	185	208	76
	30	40	191	151
Турбулентна дисипація, одиниць (в 4 рази менша в порівнянні з напівприцепом стандартної будови)	15	46	11	37
	20	87	9	75
	25	47	12	43
	30	38	12	11
	35	136	64	39
	40	213	137	72
	45	211	111	13
	50	231	382	-
Тиск, Па	-100	34	17	10
	-80	35	6	4
	-60	44	2	3
	-40	94	99	263
	-20	87	10	57
	0	91	468	54
	60	880	16300	2208
	80	117	19716	2517
	100	108	2175	38250

Висновки

Застосування задніх спойлерів дозволяє ефективно зменшити аеродинамічний опір напівприцепу. При цьому найбільшу ефективність показали спойлер №3 та спойлер №2, довжина яких 5,45 м і 1,8 м відповідно. Спойлер №1 (довжиною 0,68 м) дозволяє знизити аеродинамічний опір лише частково.

Високою ефективністю володіють саме спойлери з достатньою довжиною. Спойлери довжиною 1,8 м та 5,45 м дозволяють зменшити турбулентну дисипацію в 3 і 8 разів відповідно, розмір зон пониженого тиску – в 2–30 разів. Зважаючи на значну довжину таких спойлерів актуальною є розробка нового способу зменшення аеродинамічного опору автопотягу, який би не потребував збільшення його довжини.

Література

1. Промисловий каталог фірми «MAN Truck & Bus AG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.mantruckandbus.com.
2. Евграфов, А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.
3. Промисловий каталог фірми «AeroVolution» [Електронний ресурс]. – США, 2016. – Режим доступу : www.aerovolution.com.
4. Промисловий каталог фірми «STEMCO Ip» [Електронний ресурс]. – США, 2016. – Режим доступу : www.stemco.com.
5. Промисловий каталог фірми «Mercedes-Benz Daimler AG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.mercedes-benz.com.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

Отримана/Received : 27.11.2014 р.

Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: к.т.н., доц. Рубан Д.П.