ДОНЕЦЬКА АКАДЕМІЯ автомобільного транспорту

Вісник Донецької академії автомобільного транспорту

№ 4
2010

Науковий журнал

Засновник:
Донецька академія автомобільного транспорту

Видавець:
ПП «Рекламно-виробнича фірма «Молнія»
Адреса: вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
тел.: (062) 388-21-67

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей

До журналу увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів Донецької академії автомобільного транспорту та інших навчальних закладів

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу

Видання виходить 4 рази на рік
Видається з січня 2004 року

Адреса редакції:
пр. Дзержинського, 7,
м. Донецьк, 83086
Тел. (062) 345-21-90
E-mail: rector@diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту.
Протокол № 4 від 31.01.2011 р.

Редакційна колегія:

Головний редактор
Енглезі І.П., *ректор Академії, к.т.н.*

Заступник головного редактора
Ткаченко В.П., *д.т.н., професор*

Члени редколегії:
Бєлов Ю.В., *к.т.н., доцент*
Бєлоусов В.В., *д.т.н., професор*
Бруннер Х., *доктор наук, професор (Німеччина)*
Вербицький В.Г., *д.ф.-м.н., професор*
Вовк Л.П., *д.т.н., професор*
Горожанкін С.А., *д.т.н., професор*
Денищенко І.Я., *д.т.н., професор*
Доля В.К., *д.т.н., професор*
Загороднов М.І., *к.т.н.*
Заренбін В.Г., *д.т.н., професор*
Макаров В.А., *к.т.н., доцент*
Макогон Б.П., *к.ф.-м.н., доцент*
Міротін Л.Б., *д.т.н., професор (Російська Федерація)*
Міщенко М.І., *д.т.н., професор*
Поліщук В.П., *д.т.н., професор*
Сахно В.П., *д.т.н., професор*
Сладковський О., *д.т.н., професор (Польща)*
Сунцов М.В., *д.х.н., професор*
Хаханов В.І., *д.т.н., професор*

Відповідальний секретар
Майорова І.М., *к.і.н.*

Коректор
Задунайська О.В.

Технічний редактор
Пахно О.Є.

ВІСНИК ДОНЕЦЬКОЇ АКАДЕМІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Науковий журнал

Засновник:
Донецька академія автомобільного транспорту.

Видавець:
ПП «Рекламно-виробнича фірма «Молнія».
Адреса:
вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
Тел.: (062) 388-21-67

За достовірність фактів, цифр, точність імен та прізвищ несуть відповідальність автори статей.

До журналу увійшли статті співробітників, аспірантів та докторантів
Донецької академії автомобільного транспорту та інших навчальних закладів.

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

Видання виходить 4 рази на рік.
Видається з січня 2004 року.

Адреса редакції:
пр. Дзержинського, 7,
м. Донецьк, 83086
Тел: (062) 345-21-90
E-mail: rector@diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту.
Протокол № 4 від 31.01.2011 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію: серія КВ № 15 936–4408 ПР від 02.12.2009 р., видане Міністерством юстиції України.
«Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (постанова президії ВАК України від 10 лютого 2010 р. № 1–05/1).

ISSN 2219-8180

Підписано до друку 31.01.2011 р. Формат 60 × 84/8. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 4,6. Наклад 100 прим.

Віддруковано у друкарні ПП «Рекламно-видавнича фірма «Молнія»
Адреса:
вул. Октября, 22 а,
м. Донецьк, 83030
Тел.: (062) 388-21-67

© **Вісник Донецької академії автомобільного транспорту, 2010**

Зміст

Транспортні технології

Вікович І.А., Зубачик Р.М., Вілюра О.Г. **Транспортне обслуговування під час проведення ЄВРО 2012 у Львові** 4

Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н. **Моделирование управления открытыми автотранспортными системами на основе кибернетического подхода** 15

Кравченко А.П., Локотош Б.Н., Морозов И.В. **Система контроля и предупреждения водителя от засыпания** 22

Федоров Е.Е. **Методика распознавания вербальных команд управления транспортом на основе композиции DTW-классификаторов** 27

Энглези И.П., Пахно А.Е. **Моделирование вероятности возникновения ДТП на участке транспортной сети** 36

Транспорт і двигуни внутрішнього згоряння

Дугельний В.М., Винокуров М.М., Костенко А.В. **Аналіз перспективних напрямків удосконалення конструкції автомобільної шини** 42

Горожанкин С.А., Савенков Н.В. **Оптимизация режимов работы двигателя и бесступенчатой трансмиссии при движении автомобиля** 48

Куць Н.Г. **Молекулярно-кинетическая теория работы дизеля** 58

Костенко А.В., Єфименко А.М., Вербицький В.Г. **Аналіз впливу стабілізаційних моментів на характеристики стійких стаціонарних станів моделі автомобіля з абсолютно жорстким керованим модулем** 68

Петров О.В., Загороднов М.І., Костенко А.В. **До питання про вплив зносу протектора шин на курсову стійкість руху автомобіля** 73

Базова І.В. **Поведінка температурного поля в місцях контакту шин коліс автомобіля з дорожнім покриттям** 78

Надійність й довговічність механізмів і машин

Ткаченко В.П., Сакно О.П. **Порівняльне дослідження законів розподілу фактичного ресурсу пневматичних шин різних видів автотранспорту** 84

Воропай В.С., Губенко В.К., Лебедев С.В. **Методы испытаний специализированных вагонов-цистерн ОАО «Азовмаш» на их надежность** 95

Автори номера 102

Правила подання та оформлення статей 103

УДК 656.13

ВІКОВИЧ І. А., д.т.н., проф.; ЗУБАЧИК Р. М., аспірант; ВІЛЮРА О. Г.,
Національний університет «Львівська політехніка»

ТРАНСПОРТНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЄВРО 2012 У ЛЬВОВІ

Розроблено організацію заходів транспортного обслуговування у приймаючому місті Львові під час проведення фінальної частини Чемпіонату Європи 2012 року з футболу в день матчу. Розраховано прогнози прибуття вболівальників Чемпіонату до міста різними видами транспорту. Відповідно до цього, у місті створено оптимальну «маршрутну мережу ЄВРО 2012» для перевезення вболівальників між основними об'єктами ЄВРО 2012 (стадіон, аеропорт, центр міста, залізничний вокзал та фан-зона) та забезпечено її необхідним рухомим складом.

Вступ

Проведення в Україні і Польщі Чемпіонату Європи з футболу 2012 року (далі ЄВРО 2012) — це третя за масштабом спортивна подія світового рівня. Значення ЄВРО 2012 виходить за рамки спорту. Це — чіткий часовий орієнтир для багатьох завдань: і переоснащення інфраструктури, і здійснення інвестиційного плану розвитку, і проведення реальної популяризаторської кампанії про Україну в Європі і світі.

Одним з найважливіших завдань проведення ЄВРО 2012 в приймаючих містах — є транспортне обслуговування вболівальників, гостей та усіх відвідувачів Чемпіонату. Для виконання цього завдання приймаючими містами розробляються концепції транспортного обслуговування (плани мобільності) з метою забезпечення чіткої роботи і взаємодії усіх видів транспорту, де насамперед це — злагоджений, безпечний, комфортний та вчасний підвіз вболівальників до/від основних об'єктів ЄВРО 2012 (стадіон, аеропорт, центр міста, залізничний вокзал та фан-зона) [1].

Аналіз останніх досліджень

Для того щоб ефективно розробити транспортне обслуговування відвідувачам ЄВРО 2012 у м. Львові, в першу чергу необхідно врахувати досвід попередніх чемпіонатів [2, 3, 4]. Найкориснішим є досвід проведення Чемпіонату світу з футболу в Німеччині 2006 р., та ЄВРО 2008 в Австрії і Швейцарії, які засвідчили, що найважливішими чинниками успіху цих чемпіонатів були:

– злагоджений та вчасний (Just-In-Time) підвіз вболівальників до/від транспортних терміналів магістральних видів до об'єктів ЄВРО 2012 в приймаючих містах;

– скоординоване функціонування наземного транспорту під час підвезення чи вивезення вболівальників;

– чітке завчасне планування і прогнозування різноманітних масових заходів;

– використання «буферних зон накопичувачів», які дозволили запобігти передчасній доставці вболівальників до аеропорту чи іншого транспортного вузла.

Разом з тим, досвід цих чемпіонатів засвідчив і певні проблеми, що виникають при обслуговуванні гостей футбольного чемпіонату:

– збій при транспортуванні фанів зі стадіону;

– відсутність надписів та вказівників (паркування, автобуси, буферні зони, туалети тощо).

Однак, базові умови України і Польщі у сумі вищі ніж попередників: за населенням — вони перевищують Німеччину; за ємністю стадіонів — перевищують на 37% Швейцарію та Австрію; на 47% Португалію (ЄВРО 2004); на 37% Бельгію та Нідерланди (ЄВРО 2000).

Отже, значний потенціал України і Польщі треба тільки вміло реалізувати.

Постановка проблеми

Про важливість транспортного забезпечення в таких заходах існує цікава думка: «серцем кожного Чемпіонату в приймаючому місті є стадіон, тоді як транспортне обслуговування, дорожнє господарство, вулично-дорожня мережа міста та маршрутна мережа для ЄВРО 2012, що забезпечуватиме перевезення вболівальників між стадіоном та іншими об'єктами ЄВРО 2012, є так званою «кровоносною системою». Тому, для успішного проведення фінальної частини чемпіонату Європи з футболу 2012 року в м. Львові, необхідно особливу увагу приділити саме транспортному обслуговуванню міста, тобто забезпечити чітке та злагоджене функціонування вищезгаданої системи. Для цього необхідно вирішити такі завдання:

– розробити логістику руху вболівальників та гостей футбольного свята в день проведення матчу;

– побудувати оптимальні маршрути руху між об'єктами ЄВРО 2012 («маршрутна мережа ЄВРО 2012») для безпечного та комфортного перевезення учасників Чемпіонату;

– відповідно до прогнозованих пасажиропотоків забезпечити необхідним рухомим складом «маршрутну мережу ЄВРО 2012».

Основний розділ

Для раціонального транспортного обслуговування скористаємося такими термінами та поняттями [1]:

1) *ЄВРО 2012* — Фінальна частина чемпіонату Європи 2012 року з футболу.

2) *Сім'я УЄФА* — команди, співробітники УЄФА, допінг контроль, арбітри, спонсори, постачальники, офіцери безпеки.

3) *VIP-персони* — керівники Урядів та Держав, урядові (державні) делегації.

4) *Відвідувачі* — сукупність вболівальників, гостей, команд-учасниць, представників ЗМІ, VIP-персон, сім'ї УЄФА, які можуть відвідати ЄВРО 2012.

5) *Основні об'єкти ЄВРО 2012* — стадіон, аеропорт, центр міста, залізничний вокзал та фан-зона.

Вихідні дані:

1) Пропускна здатність Львівського аеропорту у 2012 р. — 2 000 пас./год.

2) Пропускна здатність Львівського залізничного вокзалу — 45 500 пас./добу (1 900 пас./год.).

3) Відстані між об'єктами ЄВРО 2012:

– аеропорт — центр міста — 6,7 км;
– аеропорт — стадіон — 9,7 (8,9) км;
– центр міста — стадіон — 8,9 км;
– залізничний вокзал — стадіон — 11,0 км.

4) Прийняті місткості транспорту:

– трамвай — 140 пас. (3 пас./м²);
– тролейбус — 105 пас. (3 пас./м²);
– автобус — 50 пас.
– електропотяг — 800 пас.

1. Цільові групи ЄВРО 2012 та прогнозні обсяги їх прибуття

Класифікацію цільових груп ЄВРО 2012 здійснюємо відповідно до методології та вимог підготовки планів мобільності приймаючих міст [1]:

1 група — сім'я УЄФА;
2 група — VIP-персони;
3 група — представники засобів масової інформації;
4 група — іноземні вболівальники з квитками;

5 група — вболівальники з країн СНД з квитками;
6 група — українські вболівальники з приймаючого міста з квитками;
7 група — українські вболівальники з передмістя з квитками;
8 група — українські вболівальники з інших міст з квитками;
9 група — вболівальники з обмеженими фізичними можливостями;
10 група — іноземні вболівальники без квитків;
11 група — вболівальники з країн СНД без квитків;
12 група — українські вболівальники з приймаючого міста без квитків;
13 група — українські вболівальники з передмістя без квитків;
14 група — українські вболівальники з інших міст без квитків.

Для спрощеного використання, усіх відвідувачів Чемпіонату поділяємо на дві групи:
– вболівальники на стадіон — групи 1–9;
– гості футбольного свята — групи 10–14.

Таблиця 1

Прогнозовані обсяги вболівальників на стадіон у м. Львові

№ з/п	Категорія вболівальників	Сценарій А (75–25%) / Сценарій В (60–40%)	Авіаційний транспорт	Залізничний транспорт	Автобус	Власні транспортні засоби
Відвідувачі з квитками						
1	Сім'я УЄФА	—	1 500	—	—	—
2	VIP персони	—	300	—	—	—
3	Представники засобів масової інформації	—	330	—	—	—
4	Іноземні вболівальники	А	15 720	2 550	1 500	600
		В	12 300	1 800	1 350	420
5	Українські вболівальники	А	150	3 600	2 250	1 290
		В	570	6 000	3 600	1 620
6	Вболівальники країн СНД	А	300	1 800	900	300
		В	—	1 350	525	75
7	Вболівальники з приймаючого міста	А	—	—	—	300
		В	—	—	—	390
8	Вболівальники передмістя	А	—	1 500	1 800	600
		В	—	2 700	3 000	780
9	Вболівальники з регіонів України	А	150	2 100	450	390
		В	—	3 300	600	450
10	Вболівальники з обмеженими фізичними можливостями	—	—	—	105	105
11	Разом	А	18 000	6 150	3 855	1 995
		В	15 000	7 800	5 055	2 145
		Автомобільний транспорт			5 850	
					7 200	

Таблиця 2

Прогнозовані обсяги гостей футбольного свята у м. Львові

№ з/п	Категорія вболівальників	Сценарій А (75–25%) / Сценарій В (60–40%)	Залізничний транспорт	Автобус	Власні транспортні засоби
Відвідувачі без квитків					
1	Іноземні вболівальники	А	4 620	3 960	1 320
		В	3 080	2 640	858
2	Українські вболівальники	А	17 160	31 680	7 260
		В	18 150	33 544	7 722
3	Вболівальники країн СНД	А	2 640	462	198
		В	1 782	330	132
4	Вболівальники з приймаючого міста	А	—	13 200	3 300
		В	—	13 860	3 300
5	Вболівальники передмістя	А	13 200	16 500	3 300
		В	13 860	17 160	3 696
6	Вболівальники з регіонів України	А	3 960	1 980	660
		В	4 290	2 580	660
7	Разом	А	21 780	35 640	8 580
		В	21 230	36 184	8 580

Першим етапом транспортного обслуговування є здійснення розподілу відвідувачів Чемпіонату за географією прибуття та видом транспорту. Розподіл *вболівальників і гостей футбольного свята* за географією прибуття має велике значення тому, що визначає вид транспорту. Зрозуміло, що чим далі учасники віддаленні від приймаючого міста, тим їм вигідніше обирати повітряний транспорт. Оскільки склад команд-учасниць ЄВРО 2012 визначиться лише наприкінці 2011 року, тому розподіл вболівальників за географією прибуття, а точніше за видами транспорту буде здійснюватись на основі прогнозів. Згідно звіту УЄФА за квітень 2009 р. [5] місто Львів належить до III-ї географічної зони (рис. 1).

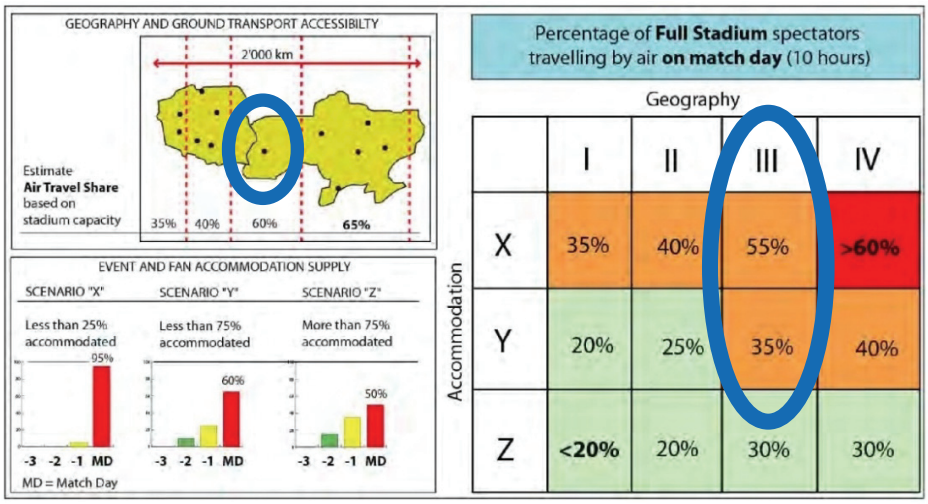


Рис. 1. Технический отчет фазы IIIb/TRANSPORT апреля 2009 года (2.7. Globalpatterns)

Ця обставина дає змогу зробити прогнози щодо розподілу прибуття відвідувачів ЄВРО 2012 різними видами транспорту. У місті проходитимуть відбіркові матчі Чемпіонату, а також є ймовірність того, що у Львові гратиме збірна України. Відповідно до вищесказаного, пропонуємо такі сценарії та розподіли прибуття:

Сценарій А — національна команда не братиме участі у матчі.

Сценарій Б — національна команда братиме участь у матчі.

Розподіл вболівальників за географією прибуття (Сценарії А і Б):

Сценарій А

– українські вболівальники 25% (7 500 чол.)
– зарубіжні вболівальники 75% (22 500 чол.)

Сценарій Б

– українські вболівальники 40% (12 000 чол.)
– зарубіжні вболівальники 60% (18 000 чол.)

Розподіл прибуття за видами транспорту:

Сценарій А

– наземний транспорт 40% (12 000 чол.)
– авіаційний транспорт 60% (18 000 чол.)

Сценарій Б

– наземний транспорт 50% (15 000 чол.)
– авіаційний транспорт 50% (15 000 чол.)

Розподіл наземного транспорту (залізничний та автомобільний) за географією прибуття:

Сценарій А

– зарубіжні вболівальники 15,85% (4 755 чол.)
– українські вболівальники 24,15% (7 245 чол.)

Сценарій Б

– зарубіжні вболівальники 12,25% (3 675 чол.)
– українські вболівальники 37,75% (11 325 чол.)

Для детального розподілу відвідувачів згідно класифікації цільових груп за видами транспорту та географією прибуття використовуємо джерело [2]:

2. Логістика руху вболівальників та гостей футбольного свята до матчу

Прибуття вболівальників авіатранспортом

Розрахунки для транспортного обслуговування вболівальників, які прибудуть на стадіон (відвідувачі з квитками) авіаційним транспортом, здійснюватиметься при сценарії А, оскільки його значення створить більше навантаження на міський транспорт. Значить, можна припустити, що авіатранспортом прибуде 60% від місткості стадіону. Як зазначено у [5] для м. Львова можливі два сценарії прибуття вболівальників літаком: сценарій «X» — екстремальний та сценарій «Yb» — вище середнього.

Згідно сценарію «X» — 55% вболівальників від місткості стадіону прибудуть до міста в день проведення матчу, відповідно 5% — прилетять за день до матчу і знайдуть розміщення в готелях міста. При сценарію «Yb» — до міста в день матчу прибуде 35% вболівальників від місткості стадіону, решта — за декілька та за день до матчу. Також за даними у [5] приїзд відвідувачів у день футбольного матчу доцільно поділити на дві категорії. Вболівальники, які прибудуть за 6 год. до матчу, спершу поїдуть до центру міста та місць розміщення (готелі, мотелі тощо). Друга категорія, яка прилетить за 4 год. до матчу, очевидно поїде відразу на стадіон.

Зважаючи на все вищевикладене, результати проведених нами розрахунків зводимо у табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків для транспортного обслуговування вболівальників

30 000 * 60% = 18 000 чол.							
Сценарій «X»	За декілька днів до матчу, чол.		За день до матчу,чол.		В день матчу, чол.		Разом
	—		5%*	1500	55%*	16 500	18 000
					За 6 год. до матчу		
					70%	11 550	
					За 4 год. до матчу		
					30%	4950	
Сценарій «Y»	За декілька днів до матчу, чол.		За день до матч, чол.		В день матчу, чол.		Разом
	5%*	1500	20%*	6000	35%*	10 500	18 000
					За 6 год. до матчу		
					70%	7350	
					За 4 гою. до матчу		
					30%	3150	

* — % від місткості стадіону

Як відзначено в [1] основною метою транспортного обслуговування є створення оптимальної маршрутної мережі для забезпечення комфортних умов перевезення вболівальників між основними об'єктами ЄВРО 2012. Крім того, слід прагнути до використання громадського транспорту в межах 60–80%, що також є однією з вимог УЄФА. Маршрути руху вболівальників, які прибудуть авіатранспортом, як вже відзначалось, залежатимуть від часу прибуття. Група, яка приїде за 6 год. до початку матчу направиться до центру міста, і відповідно ті, які прилетять за 4 год. безпосередньо рухатимуться до стадіону.

Цілком зрозуміло, що прибуття вболівальників літаком буде нерівномірним, отже, розрахунок потреб рухомого складу для їх перевезення здійснюємо при максимальних пасажиропотоках у цих напрямках, тобто при роботі аеропорту в режимі пропускної здатності (2 000 пас./год.). Результати розрахунків зведено у табл. 4.

Детальніший прогноз про періоди пікового навантаження на громадський транспорт у день матчу в напрямках аеропорт — стадіон і аеропорт — центр міста буде розроблений після отримання інформації про розклади прибуття вболівальників авіатранспортом до міста в день матчу. Відповідно до цього, на кожну годину прибуття вболівальників авіатранспортом буде задіяна відповідна кількість одиниць громадського та додаткового транспорту.

Прибуття вболівальників наземним транспортом

Розрахунки, наведені в табл. 1, свідчать, що при сценарії Б, тобто, коли українська команда братиме участь у футбольному матчі, прибуття вболівальників наземним транспортом створить значно більше навантаження на місто. Тому в подальшому для транспортного обслуговування вболівальників обираємо значення цього сценарію.

Передбачається, що прибуття вболівальників залізничним транспортом на 80% буде зранку, які направлятимуться до центру міста та використовуватимуть існуючі чотири трамвайні та один тролейбусний маршрути, перевізна здатність яких за годину становить 4 170 чол. [6]. Проте, потрібно врахувати, що цими маршрутами будуть користуватись мешканці міста, які

використовують існуючу транспортну пропозицію маршрутів у середньому на 60%, тобто для вболівальників залишається 40% місць у громадському транспорті:

$$4170 \cdot 40\% = 1668\ чол. \quad (1)$$

Таблиця 4

Потрібні обсяги рухомого складу для перевезення вболівальників, які прибули авіатранспортом

Сценарій			Назва маршруту	Вид транспорту								
				Тролейбус			Автобус (додатковий транспорт)					
				—						При максимальному пасажиропотоці (2 000 чол.)		
				Потрібна кількість транспортних одиниць			Потрібна кількість транспортних одиниць			Потрібна кількість транспортних одиниць		
				для руху	в резерві	разом	для руху	в резерві	разом	для руху	в резерві	разом
Сценарій «X»	за день до матчу		аеропорт — центр	6	1	7	—	—	—	—	—	—
	в день матчу	За 6 год. до матчу	аеропорт — центр	11	1	12	—	—	—	8	1	9
		За 4 год. до матчу	аеропорт — стадіон	15	1	16	—	—	—	11	1	12
Сценарій «Y»	за декілька днів до матчу		аеропорт — центр	6	1	7	—	—	—	—	—	—
	за день до матчу		аеропорт — центр	6	1	7	—	—	—	—	—	—
	в день матчу	За 6 год. до матчу	аеропорт — центр	11	1	12	—	—	—	8	1	9
		За 4 год. до матчу	аеропорт — стадіон	15	1	16	—	—	—	11	1	12

Очевидно, що маршрутом залізничний вокзал — центр міста також скористаються гості футбольного свята, які прибудуть із передмістя, області, східних та центральних регіонів України. Однак, максимальний пасажиропотік у цьому напрямі становитиме — 1 900 пас./год. (виходячи із пропускної здатності Львівського залізничного вокзалу).

Для забезпечення максимального пасажиропотоку $(1900\text{-}1668 = 232\ пас./год.)$ у цьому напрямі створюємо автобусний маршрут. При часі обороту на маршруті 26 хв. потрібно ще — 3 автобуси.

Для вболівальників, які прибудуть автомобільним транспортом передбачена відповідна кількість паркомісць біля стадіону.

Таблиця 5

Місткість паркування біля стадіону

Назва	Автомобіль	Автобус	Мікроавтобуси і вантажівки
Фан А	162	24	—
Фан Б	150	20	—
Нейтральні фани	1 044	96	27
Медіа	320	6	—
Для інвалідів	45	—	—
Інші	982	100	—
Разом	2 703	246	27

Перевезення вболівальників з центру міста до стадіону в день матчу

За попередніми прогнозами, вболівальники за 4 год. до початку матчу направляться безпосередньо до стадіону. Завдяки цьому з центру при двох сценаріях направляться відповідні кількості вболівальників (рис. 2).

Організація перевезення до вищезгаданого об'єкту ЄВРО 2012 наведена у табл. 6, 7, 8.

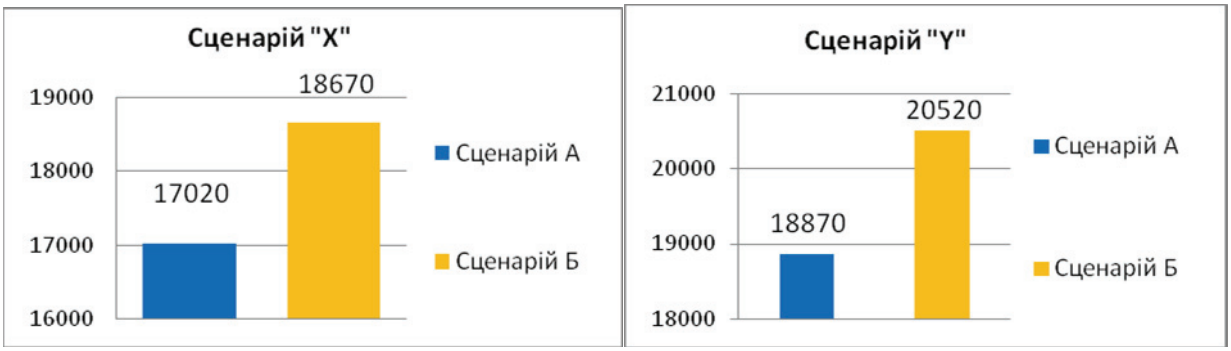


Рис. 2. Обсяги перевезення вболівальників з центру до стадіону при двох сценаріях

Таблиця 6

Перевезення вболівальників громадським транспортом з центру міста до стадіону

Вид транспорту	Час обороту на маршруті, хв.	Інтервал руху, хв.	Перевізна здатність за 1 год. (4 год.)	Потрібна кількість тр. одиниць
Трамвайний маршрут до стадіону	59	4	2 100 (8 400)	15
Тролейбусний маршрут № 5	56	5	1 260 (5 040)	12
Разом громадський транспорт			3 338 (13 440)	

Таблиця 7

Перевезення вболівальників додатковим транспортом з центру міста до стадіону (Сценарій «Х»)

Вид транспорту		Час обороту на маршруті, хв.	Інтервал руху, хв.	Перевізна здатність за 1 год. (4 год.)	Потрібна кількість тр. одиниць
Автобус в експресному режимі	Сценарій «А» 17 020–13 440 = 3 580	46	3,4 *	895 (3 580)	14
	Сценарій «Б» 18 670–13 440 = 5 230	46	2,3 *	1 308 (5 230)	21

* — автобуси відправлятимуться по кілька одиниць одночасно (рухатимуться колонами), оскільки організувати маршрути руху при таких інтервалах буде складно.

Таблиця 8

Перевезення вболівальників додатковим транспортом з центру міста до стадіону (Сценарій «Y»)

Вид транспорту		Час обороту на маршруті, хв.	Інтервал руху, хв.	Перевізна здатність за 1 год. (4 год.)	Потрібна кількість тр. одиниць
Автобус в експресному режимі	Сценарій «А» 18 870–13 440 = 5 430	46	2,2 *	1 358	21
	Сценарій «Б» 20 520–13 440 = 7 080	46	1,7 *	1 770	28

* — автобуси відправлятимуться по кілька одиниць одночасно (рухатимуться колонами), оскільки організувати маршрути руху при таких інтервалах буде складно.

Транспортне обслуговування гостей футбольного свята

Для гостей футбольного свята, які прибудуть власними транспортними засобами та автобусами, передбачені «турнірне паркування» навколо міста. Цей захід зменшить навантаження на вулично-дорожню мережу міста.

«Турніре паркування» (tournament parking) — це окремі ділянки (території), які будуть виділені для паркування автотранспорту на період чемпіонату ЄВРО 2012. На цих турнірних ділянках будуть не тільки місця для паркування автомобілів, але й об'єкти громадського харчування (кафе, ресторани, спортбари) та деякі комплекси обслуговування (сувенірні магазини, місця для перегляду матчів тощо). Гості, які прибудуть у «турнірні паркування», залишатимуть свої транспортні засоби на цих територіях, а відтак організованими групами будуть перевозитись до кінцевих зупинок громадського транспорту та автостанцій. У табл. 9 зазначено місця розташування «турнірних паркувань».

Враховуючи кількість гостей футбольного свята, які приїдуть власним транспортним засобом — 8 580 чол. (табл. 2, сценарій Б) та тривалість рейсу з кожного «турнірного паркування», за нашими підрахунками для забезпечення їх перевезення необхідний рухомий склад (автобус) в обсязі 38 од.

Таблиця 9

Характеристика «турнірних паркувань»

№ з/п	Назва турнірного паркування	площа, га
1	с. Рясна — Руська	5,0
2	с. Шоломия	10,0
3	с. Сокільники	6,0
4	с. Скнилівок	8,0
5	с. Солонка	5,0
6	смт. Дубляни	7,9
7	с. Малехів	18,7

Перевезення вболівальників і гостей футбольного свята з Трускавця до Львова

Передбачаємо, що у місті Трускавець знайдуть розміщення 11 772 чол. З них для УЄФА в готелях «4–5 зірок» — 977 чол. [7]. Решта місць — для вболівальників та гостей футбольного свята.

$$11772\text{-}977 = 10795\ \textit{чол.} \tag{2}$$

Перевезення пасажирів здійснюватиметься наступними видами транспорту:

1. Електропотяги планові (3 потяги на день з Трускавця)

$$3 \cdot 800 = 2400\ \textit{чол.} \tag{3}$$

2. Додаткові електропотяги щогодини

$$5 \cdot 800 = 4000\ \textit{чол.} \tag{4}$$

3. Решту перевозимо рейсовими автобусами:

$$10795\text{-}6400 = 4395\ \textit{чол.} \tag{5}$$

Вважаємо, що вболівальники в основному прибудуть у першій половині дня (до 2–3 год.), тобто маємо 8 год. для перевезення. Щоб перевезти 4 395 чол. за 8 год. при часі обороту на маршруті 240 хв. або 4 год. потрібно — 44 автобуси. Місце посадки в автобуси — зупинка біля залізничного вокзалу м. Трускавець. Кінцева зупинка в місті Львові — Автовокзал.

Висновки

Нами визначено цільові групи ЄВРО 2012 та здійснено поділ усіх відвідувачів Чемпіонату на такі категорії, як: вболівальники — це ті відвідувачі, які безпосередньо будуть знаходитись на стадіоні під час матчу і гості футбольного свята — ті, які переглядатимуть матч у фан-зонах, об'єктах громадського харчування (спортбари, кафе, ресторани тощо). Розроблено прогнози прибуття відвідувачів ЄВРО 2012 за географією та за видами транспорту.

Розроблено логістику руху вболівальників та гостей футбольного свята до матчу. Створено математичну модель прибуття вболівальників авіатранспортом, виходячи із географічного розташування м. Львова. Підраховано потрібні обсяги громадського та додаткового транспорту для відвідувачів ЄВРО 2012 у місті Львові при максимальних пасажиропотоках (табл. 10). Розроблено маршрутну мережу ЄВРО 2012 (Рис. 3). Для відвідувачів ЄВРО 2012, що прибудуть залізницею, визначено шляхи перевезення. Розрахована потрібна кількість місць паркування в прилеглій до стадіону території для тих вболівальників, які прибудуть автомобілем і автобусом. Згідно двох

можливих сценаріїв для м. Львова розроблено доставку вболівальників з центру міста до стадіону, а також здійснено розрахунки для перевезення відвідувачів ЄВРО 2012 з Трускавця.

Таблиця 10

Потреби рухомого складу для відвідувачів ЄВРО 2012 у м. Львові до матчу, од.

№ з/п	Маршрути руху	Вид транспорту			
		тролейбус	трамвай	автобус	потяг
	До матчу				
1	Аеропорт — центр	12	—	9	—
2	Аеропорт — стадіон	16	—	12	—
3	Центр — стадіон	13	15	29	—
4	Залізничний вокзал — центр	—	—	—	—
5	Трускавець — Львів	—	—	45	8
6	Маршрут з «турнірних паркувань» до автостанцій та кінцевих зупинок громадського тр-ту.	—	—	39	—
7	Разом	41	15	134	8

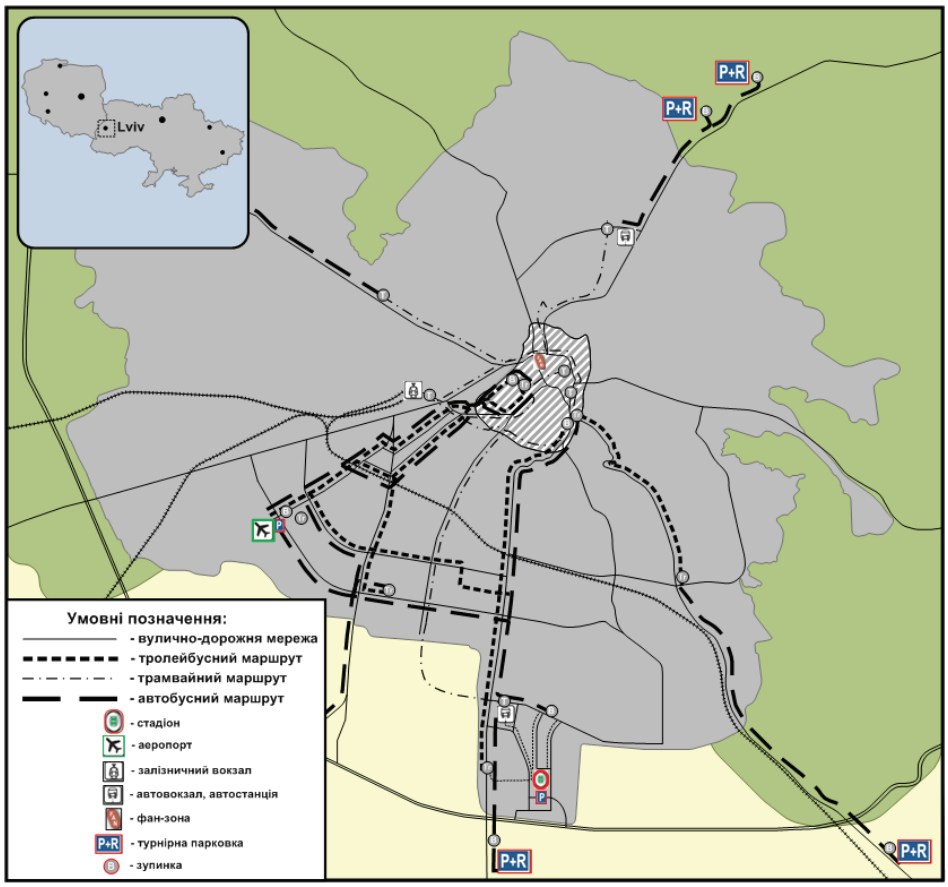


Рис. 3. Маршрутна мережа «ЄВРО 2012»

Подальші дослідження. Організувати перевезення вболівальників та гостей футбольного свята після проведення матчу та визначити завантаження вулично-дорожньої мережі в день матчу.

Список літератури

1. Методологія та вимоги до підготовки планів мобільності приймаючих міст. — К., 2009. — 41 с.

2. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка моделі (системи) організації транспортного обслуговування та взаємодії видів транспорту між містами та в містах-учасниках під час проведення фінального турніру чемпіонату Європи з футболу»/договір № 04/08 від 10.07.2008 р. // Керівник НДР — Григорак М.Ю. — К., НАУ. — 2008. — 95 с.

3. EURO 2008: Public Viewing. Mengevgerustund Enferhlungenfurden Bereich Verkehr // www.switherland.com.

4. Transport Strategy for UEFA 2008 //switherland.com

5. Technical reportphase III b/transport April 2009 // www.UEFA.com

6. Техніко-економічні показники трамваїв та тролейбусів 2009 року. — Л.: ЛКП «Львівелектротранс», 2009. — 19 с.

7. Проект Концепції з розміщення гостей та учасників ЄВРО 2012. — Л.: ЛМР «Департамент ЄВРО 2012», 2009. — 26 с.

Анотація. *Розроблено організацію заходів транспортного обслуговування у приймаючому місті Львові під час проведення фінальної частини Чемпіонату Європи 2012 року з футболу у день матчу. Розраховано прогнози прибуття вболівальників Чемпіонату до міста різними видами транспорту. Відповідно до цього у місті створено оптимальну «маршрутну мережу ЄВРО 2012» для перевезення вболівальників між основними об'єктами ЄВРО 2012 (стадіон, аеропорт, центр міста, залізничний вокзал та фан-зона) та забезпечено її необхідним рухомим складом.*

Abstract. *The system of the transport services provision during the match day within the finals of the UEFA European Football Championship 2012 TM in the host city of Lviv has been elaborated. The projection concerning the utilization of different types of transport by the supporters of the Championship has been carried out. Accordingly, the optimal «EURO 2012 Route System» for carrying the supporters to the main objects of EURO 2012 (stadium, airport, city centre, railway station and fan zone) has been developed as well as it has been provided with the necessary amount of the vehicles.*

Стаття надійшла до редакції 28.10.2010 р.

УДК 330.1 (470)

КОРЧАГИН В. А., д.т.н., проф., РИЗАЕВА Ю. Н. к.э.н., доц.,
Липецкий государственный технический университет Российской Федерации

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ОТКРЫТЫМИ АВТОТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В статье предложен способ моделирования эффективного управления объектом на основе кибернетического подхода. Управление автотранспортной системой рассматривается как совокупность процессов обмена, обработки и преобразования информации. Предложена схема моделирующего алгоритма открытой автотранспортной социоприродоэкономической системы.

Задачей современной теории управления в социоприродоэкономических системах (СПЭС) [1] является разработка принципов, методов и средств, необходимых для эффективной органи-

зации функционирования этих систем, т.е. управления, с целью достижения наиболее высоких показателей производительности, экономичности систем при выполнении экологических и эргономических требований. Известно, что достигнуть эффективного управления объектом возможно на основе кибернетического подхода. А в практике моделирования систем информатики наиболее часто приходится иметь дело с объектами, которые в процессе своего функционирования содержат элементы стохастичности и подвергаются стохастическим воздействиям внешней и окружающей сред. Поэтому основным методом получения результатов с помощью имитационных моделей стохастических открытых автотранспортных систем является метод статистического моделирования на ЭВМ, использующий в качестве теоретической базы предельные теоремы теории вероятностей. Возможность получения пользователем модели результатов статистического моделирования сложных автотранспортных систем в условиях ограниченности машинных ресурсов существенно зависит от эффективности процедур генерации псевдослучайных последовательностей на ЭВМ, положенных в основу имитации воздействий на элементы моделируемой автотранспортной СПЭС.

С точки зрения кибернетического подхода управление автотранспортной СПЭС рассматривается как совокупность процессов обмена, обработки и преобразования информации. Кибернетический подход представляет СПЭС как систему с управлением (рис.1), включающую три подсистемы: управляющую систему (УС), объект управления (ОУ) и систему связи (СВ).

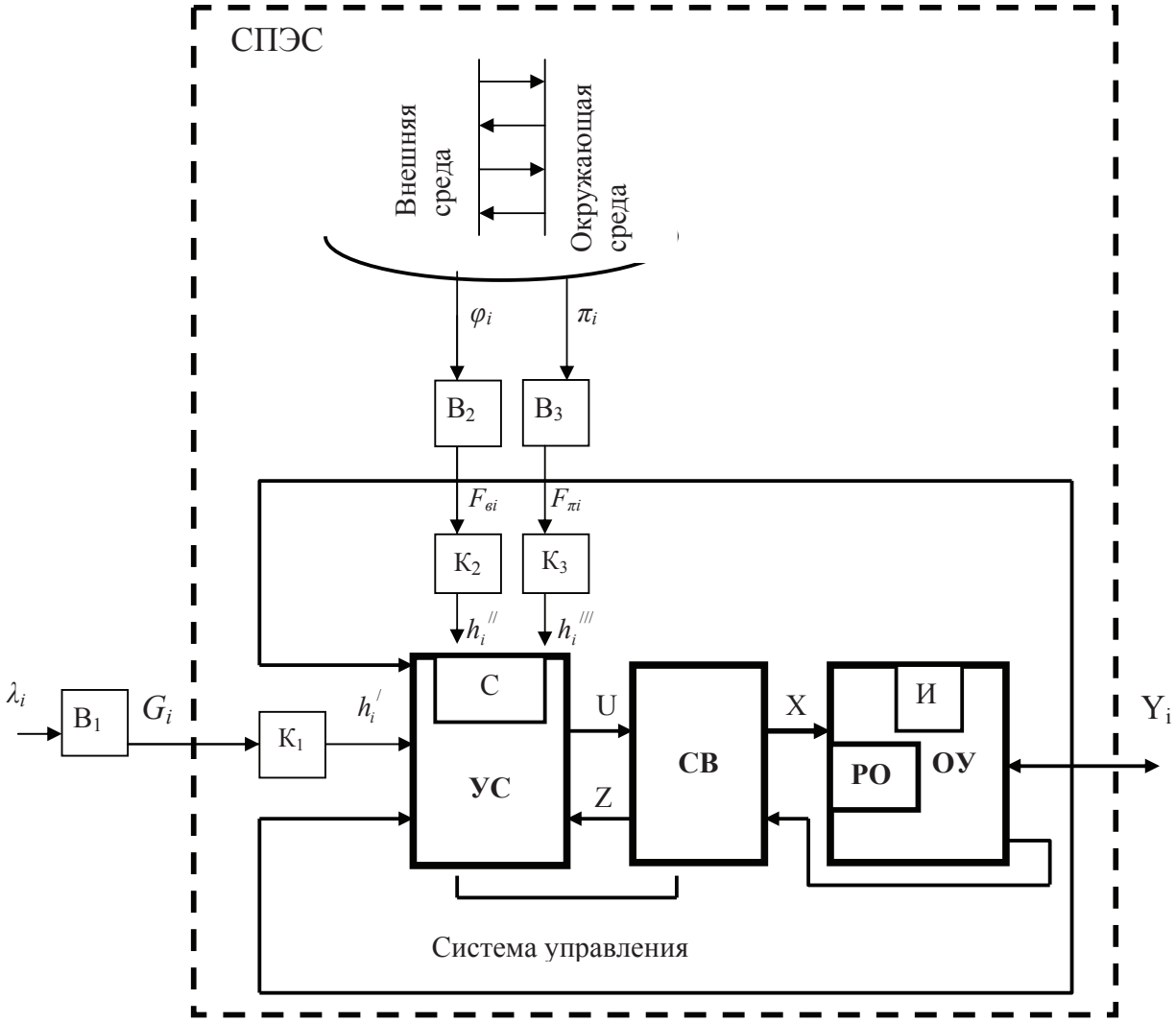


Рис. 1. Структурная схема управления социоприродоэкономической системой

Статистическое моделирование представляет собой метод получения с помощью ЭВМ статистических данных о процессах, происходящих в моделируемой системе. Для получения представляющих интерес оценок характеристик моделируемой СПЭС с учетом воздействий внешней и окружающих сред статистические данные обрабатываются и классифицируются с использованием методов математической статистики.

Сущность метода статистического моделирования сводится к построению для процесса функционирования исследуемой системы некоторого моделирующего алгоритма, имитирующего поведение и взаимодействие элементов системы с учетом случайных входных воздействий и воздействий внешней и окружающих сред, и реализации этого алгоритма с использованием программно-технических средств ЭВМ.

Назовём некоторую условно обособленную совокупность элементов материального мира, процессы в которой подвергаются целенаправленным воздействиям — объектом управления. Устройство для реализации целенаправленных воздействий — управляющая система, объект управления и система связи образуют систему с управлением (СУ). Свойства и особенности объекта и системы с управлением в целом не могут быть оценены и учтены без рассмотрения их связей с окружающей и внешней средами.

Управляющая система совместно с системой связи образует систему управления логистикой. Система связи включает канал прямой связи, по которому передается входная информация {X} и канал обратной связи, по которому к управляющей системе передается информация о состоянии объекта управления {Z}. Информация об управляемом объекте, внешней и окружающей сред воспринимается управляющей системой, перерабатывается в соответствии с той или иной целью управления и в виде управляющих воздействий передается на объект управления. Использование понятия обратной связи является отличительной чертой кибернетического подхода.

Статистическое моделирование открытой автотранспортной системы на ЭВМ требует формирования значений случайных величин, что реализуется с помощью датчиков (генераторов) случайных чисел. Не останавливаясь пока на способах их реализации для целей моделирования на ЭВМ, поясним сущность метода статистического моделирования открытой автотранспортной системы.

Для функционирования системы управления необходимо существование некоторого набора правил (алгоритмов и программ), позволяющих добиваться поставленных целей управления в различных ситуациях. В общем виде СУ и её взаимодействие с окружающей и внешней средами можно представить в виде функциональной схемы, показанной на рис. 1.

Объект управления создает воздействие Y на окружающую и внешнюю среды. Воздействие Y характеризует желаемое состояние или положение ОУ и называется управляемой величиной. Методом статистического моделирования просто найти оценки выходных характеристик стохастической открытой автотранспортной СПЭС. Целью моделирования является оценка математического ожидания M [y] величины Y. Зависимость последней от входного воздействия G и воздействия внешней и окружающей сред $F_в$ и $F_п$ имеет вид:

$$Y = \sqrt{G^2 + F_B{}^2 + F_П{}^2}. \qquad (1)$$

В качестве оценки математического ожидания M [y], если использовать теоремы теории вероятностей (теорема Бернулли, Пуассона, Чебышева и др.), может выступать среднее арифметическое, вычисленное по формуле

$$\overline{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i, \qquad (2)$$

где y_i — случайное значение величины y,

N — число реализаций, необходимое для статистической устойчивости результатов.

Информация о действительном (текущем) значении управляемой величины Y в большинстве СУ используется для выработки управляющего воздействия U на ОУ, поэтому информация о Y вводится в УС.

Воздействие ОУ на окружающую и внешнюю среды может осуществляться комплексно (одновременно по нескольким параметрам). В этом случае оно будет векторной величиной $\bar{Y}$.

Со стороны внешней среды на ОУ действует возмущающее воздействие $F_в$, а со стороны окружающей среды — воздействие $F_п$:

$$F_B = 1 - e^{-\phi}, \tag{3}$$

$$F_П = 1 - e^{-\pi}, \tag{4}$$

где ϕ, π — случайные величины, для которых известны их функции распределения.

Информация о возмущающих воздействиях $F_в$ и $F_п$ используется в УС для выработки управляющего воздействия U.

На вход УС подаётся задающее воздействие G, содержащее информацию о цели управления, т.е. о предписанном (заданном) значении Y.

$$G = 1 - e^{-\lambda}, \tag{5}$$

где λ — случайная величина, для которой известна функции распределения.

В структурной схеме управления СПЭС элементы выполняют следующие функции: вычисление

$$B1: G_i = 1 - e^{-\lambda i}; \tag{6}$$

$$B2: F_{Bi} = 1 - e^{-\phi i}; \tag{7}$$

$$B3: F_{Пi} = 1 - e^{-\pi i}; \tag{8}$$

возведение в квадрат

$$K1: h_i^{/} = (1 - e^{-\lambda i})^2; \tag{9}$$

$$K2: h_i^{//} = (1 - e^{-\phi i})^2; \tag{10}$$

$$K3: h_i^{///} = (1 - e^{-\pi i})^2. \tag{11}$$

Воздействия U, G, $F_в$, $F_п$, так же как и Y, в общем случае могут быть векторными. В показанной на рис. 1 схеме СУ управляющее воздействие U вырабатывается в результате переработки информации об управляемой величине Y, задающем воздействии G и о возмущающих воздействиях $F_в$ и $F_п$.

Суммирование (С) воздействий G, $F_в$, $F_п$, производимое в подсистеме УС:

$$U_i = (1 - e^{-\lambda i})^2 + (1 - e^{-\phi i})^2 + (1 - e^{-\pi i})^2; \quad (12)$$

извлечение квадратного корня (И), выполняемое в подсистеме ОУ:

$$Y_i = \sqrt{(1 - e^{-\lambda i})^2 + (1 - e^{-\phi i})^2 + (1 - e^{-\pi i})^2}. \quad (13)$$

Схема алгоритма, реализующего метод статистического моделирования для оценки М [y] открытой автотранспортной СПЭС, приведена на рис. 2.

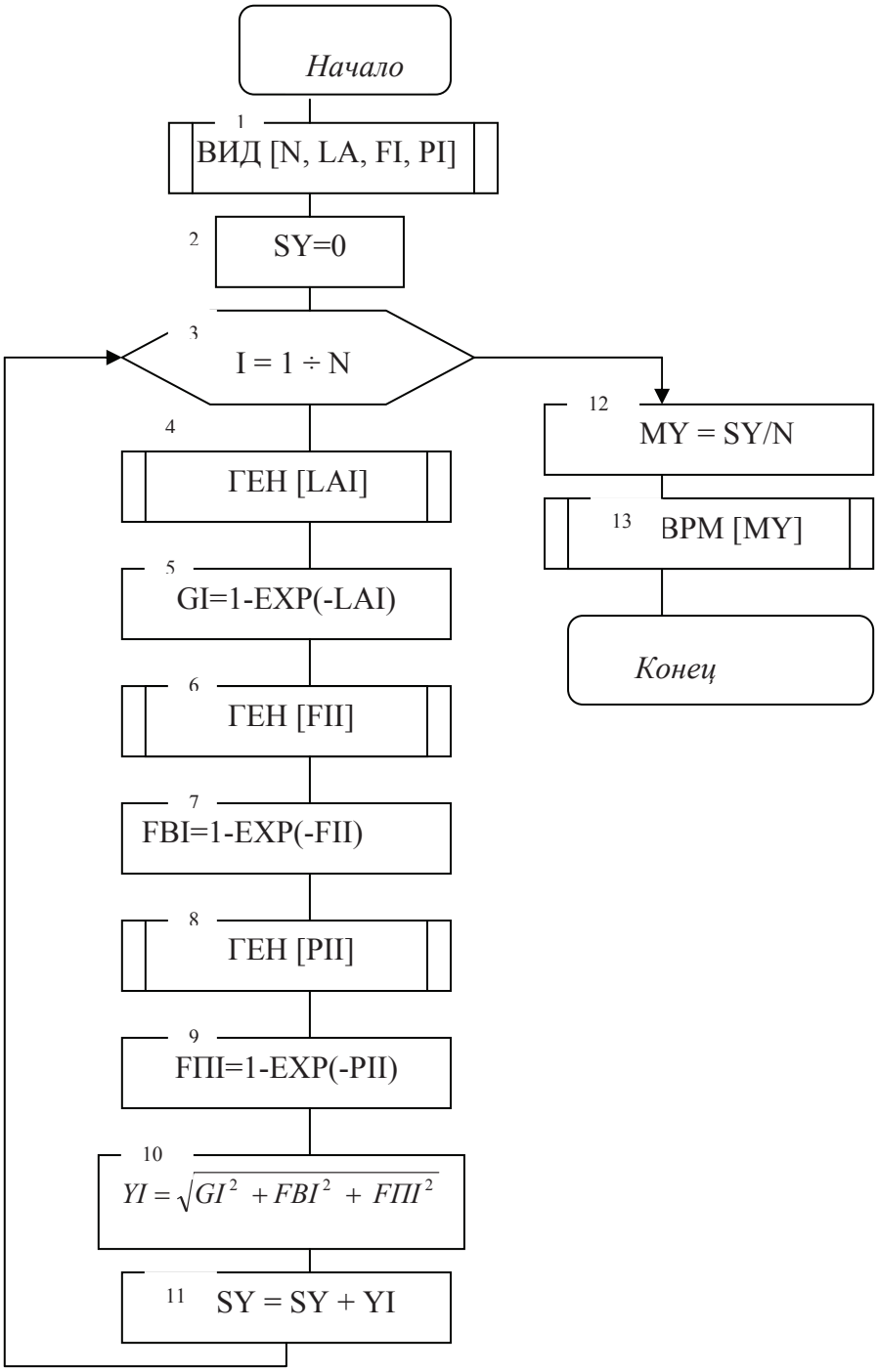


Рис. 2. Схема моделирующего алгоритма открытой автотранспортной СПЭС

Где LA, FI, PI — функции распределения случайных величин λ, ϕ, π ; N — заданное число реализаций; I ≡ i — номер текущей реализации; LAI ≡ λ_i ; FII ≡ ϕ_i ; PII ≡ π_i ; EXP ≡ e; MY ≡ M [y], $SY \equiv \sum_{i=1}^{N} y_i$ - суммирующая ячейка; ВИД […], ГЕН […], ВРМ […] — процедуры ввода исходных данных, генерации псевдослучайных последовательностей и выдачи результатов моделирования соответственно.

Таким образом, предлагаемая модель позволяет получить методом статистического моделирования на ЭВМ статистическую оценку математического ожидания выходной характеристики M [y] рассмотренной стохастической открытой автотранспортной системы СПЭС. Точность и достоверность результатов взаимодействия в основном будут определяться числом реализаций N.

Возможно построение СУ, использующих только часть информации. Существуют СУ, управляющие только по задающему воздействию G, представляющем в этом случае команды программы. Такое мышление называется жёстким, так как при этом не учитываются действительные значения управляемой величины Y и возмущающих воздействий $F_в$ и $F_п$.

Подобные СУ дают удовлетворительное качество управления лишь при высокой стабильности параметров СУ, окружающей и внешней сред и при невысоких требованиях к точности. По структуре эти СУ являются разомкнутыми, так как не имеют обратной связи по управляемому параметру Y и не образуют замкнутого контура управления.

Более высокое качество управления позволяют получить замкнутые СУ, в которых используется информация об управляемой величине Y и задающем воздействии G. Управляющее воздействие U в этих СУ вырабатывается в зависимости от отклонения Y, от значения G и независимо от причин, вызвавших это отклонение. Такое управление может быть названо гибким, так как при этом учитывается действительное состояние ОУ. Информация об Y передаётся в УС, образуя контур главной обратной связи (сигнал с выхода системы подаётся на вход).

Системы управления, в которых используется информация о четырех воздействиях: G, Y, $F_в$ и $F_п$ называются комбинированными. Комбинированные системы автоматизированного управления (САУ) имеют более высокое качество управления, чем системы, работающие только по отклонению, так как информация о значении возмущающего воздействия $F_в$ и $F_п$ позволяет УС работать с предвидением, т.е. начинать компенсацию внешнего возмущения, нарушающего нормальную работу ОУ раньше, чем возникнет достаточно большое отклонение.

Любая сфера деятельности в окружающей среде связана с необходимостью воздействия на различные объекты с целью приведения их в желаемое состояние.

Внешние воздействия на объект, направленные на изменение траектории его естественного движения для достижения определенной заданной цели, будем называть управлением объектом.

Управление объектами, различными по своей природе (социально-экономическими, техническими, биологическими), подразумевает использование концептуально общих принципов, включающих наличие информации о: конечной цели управления; начальных условиях функционирования объекта; его внутренней структуре; внешней и окружающей средах.

Постановка цели управления (цели функционирования объекта) является отправной точкой для проектирования процесса управления и определяет критерии функционирования объекта. Если рассматривать произвольный процесс управления природотехнической системы, то становится очевиден следующий вывод. При отсутствии определенной заранее цели, проектирование процесса управления не имеет смысла.

Начальные условия описывают координаты состояния объекта с учетом конкретных значений его параметров в нулевой момент времени, выбранный для целей управления. В зависимости

от целей могут быть выбраны различные временные интервалы и соответствующие значения координат.

Внутренняя структура отображает закономерности функционирования объекта. Это может быть функция, алгоритм или программа, описывающие объект. Внешняя и окружающая среды дают объективную характеристику окружающим условиям, параметрам и структуре внешних объектов, взаимодействующих в той или иной степени с данным объектом. Как можно более полное отображение внешней и природной сред повышает вероятность совпадения предполагаемых и фактических последствий принятия решений в процессе управления.

Управление объектом включает: проектирование плановой траектории его движения в соответствии с определенным критерием; проектирование регулятора, корректирующего координаты объекта в соответствии с плановой траекторией.

Современные социоприродоэкономические системы отличаются большим количеством элементов и связей между ними, высокой степенью динамичности, наличием нефункциональных связей между элементами, воздействием различных по своему характеру помех [1, 2]. Процессы, проистекающие в этих системах, плохо формализуемы. Поэтому задача синтеза оптимального управления решается в два этапа: строится программная (плановая) траектория и определяется управляющее воздействие, реализующее программу. С точки зрения систем эколого-экономического типа эти этапы носят название «планирование» и «регулирование». Планирование трактуется как определение оптимальной программы траектории управляемой социоприродоэкономической системой на конкретный период времени, а регулирование — как нахождение управляющих воздействий, которые направлены на устранение дестабилизирующих воздействий случайных возмущений, отклоняющих управляемую систему от оптимальной программной траектории.

Список литературы

1. Корчагин В.А. О решении эколого-экономических проблем открытых автотранспортных систем // Автотранспортное предприятие. — 2008. — № 6.

2. Корчагин В.А. Эколого-экономические проблемы транспортных систем // Наука и техника транспорта. — 2008. — № 2.

3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем (2-е изд.). — М.: Высшая школа, 1998.

Анотація. *У статті запропоновано спосіб моделювання ефективного керування об'єктом на основі кібернетичного підходу. Керування автотранспортною системою розглядається як сукупність процесів обміну, обробки та перетворення інформації. Запропоновано схему моделюючого алгоритму відкритої автотранспортної соціоприродоекономічної системи.*

Annotation. *The authors suggest a method of modeling the effective object control based on the cybernetic approach. Road transport system management is regarded as a set of processes of exchange, processing and transformation of information. They propose a scheme of modeling algorithm of an open road transport socionatural economic system.*

Стаття надійшла до редакції 25.11.2010 р.

УДК 629.113

КРАВЧЕНКО А. П., д.т.н., проф., ЛОКОТОШ Б. Н., к.т.н., проф.,
МОРОЗОВ И. В., асп., Восточноукраинский национальный университет имени Володимира Даля

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ ОТ ЗАСЫПАНИЯ

Рассмотрены зарубежные и отечественные аналоги применения на автомобиле систем контроля водителя от засыпания. Отмечены недостатки, связанные с неудобствами при работе устройств, снижающих эффективность систем. Предложена система, способная дать высокий результат определения состояния водителя и предотвратить потерю управления транспортным средством.

Введение

В нашем сложном и напряженном мире автомобильного транспорта, где график работы может меняться и в определённых ситуациях не нормироваться, существует высокий риск засыпания водителя за рулём транспортного средства. Это происходит по разным причинам: усталость, монотонная езда, отсутствие нормального сна. Подобные факторы приводят зачастую к аварийным ситуациям. Работа водителя сопровождается минимумом движений и монотонностью особенно в ночное время суток. При такой езде водитель может засыпать на доли секунды и этого не замечать. Езда с попутчиком, который не засыпает и может поддерживать беседу и наблюдать за поведением водителя (небольшие наклоны головы и слабую потерю управления), этого практически не допускает.

Разработка системы контроля и предупреждения водителя от засыпания основана на имитации водителю о наличии «попутчика», который следит за состоянием водителя и дороги. В статье [1] описана реализация на автомобиле компьютера, который определяет голос водителя и выполняет его команды. Предлагаемая система контроля и предупреждения водителя от засыпания базируется на работе данного компьютера, но с добавлением программного обеспечения, камеры в кабине водителя и дополнительного датчика, измеряющего положение водителя в пространстве. Система реализует функции общения «попутчика» с водителем в процессе езды при возникновении критических ситуаций [2].

Анализ публикаций

Ведущие производители, начали внедрять подобные системы в новых моделях автомобилей. Однако они имеют недостатки, связанные с тем, что эти системы хорошо работают при езде по ровному шоссе с одинаковой разметкой дороги, что не всегда приемлемо для наших автомобильных дорог. Например, разработка системы Lane Keeping Assist, предупреждающей водителя о съезде с полосы движения, тестируется концерном Мерседес. Однако более трети смертных случаев на дорогах Германии приходится на ДТП такого типа [3].

Инженеры Мерседес-Бенц разработали превентивную систему мониторинга положения водителя. Суть системы заключается в том, что видеокамера непрерывно фиксирует положение автомобиля в рамках выбранной водителем полосы движения. Система способна распознать ситуацию, когда автомобиль непроизвольно уклоняется с выбранной полосы и возникает риск ДТП. В этом случае система заблаговременно оповещает водителя об этом с помощью вибрации рулевого колеса, заставляя его скорректировать траекторию движения. Если система определит непреднамеренный съезд с полосы движения, то активируется электропривод в рулевом колесе, который заставляет его вибрировать. Время оповещения разнится в зависимости от ширины дороги и от типа дорожной разметки. Если автомобиль пересекает сплошную полосу разметки, система сработает раньше, чем при пересечении прерывистой [4, 5].

Таким способом появляется возможность предупредить возникновение ДТП и повысить безопасность дорожного движения. В наших дорожных условиях точность распознавания теряется, так как дороги не всегда ровные, часто отсутствует разметка на дороге; кроме того, в зимнее время дороги могут быть покрыты льдом или снегом и подобная система становится бесполезной.

Цель и постановка задачи

Целью работы является повышение безопасности дорожного движения на основе системы, которая анализирует изменение положения головы водителя и разметку на дороге относительно положения автомобиля на дороге. Анализ перечисленных факторов выявляет засыпание водителя во время управления транспортным средством, пробуждает его, сигнализируя об опасности.

Основная часть

Анализ основных тенденций развития автомобилестроения показал, что новые автомобили вероятнее всего будут оснащаться модулями для предотвращения водителя от засыпания. Но автомобили, выпущенные без таких модулей, не смогут обеспечить безопасность транспортного средства. В связи с этим разработана компьютерная система анализирующая состояние водителя и положение автомобиля относительно дороги. Система может общаться с водителем набором записанных фраз, что будет способствовать повышению бдительности человека. Система может быть интегрирована в обычный автомобиль, обеспечивая удобство во время езды общением водителя с «собеседником», повышая при этом безопасность дорожного движения.

Причинами снижения работоспособности водителей чаще всего являются утомление, болезненное состояние, прием некоторых лекарственных веществ и курение. Утомление — это закономерный процесс временного снижения работоспособности, наступающий в результате трудовой деятельности. Это объективный процесс, характеризующийся изменениями в организме человека, которые могут быть установлены объективными методами [6].

Субъективное переживание человеком утомления называется усталостью. Физиологическая сущность усталости заключается в сигнализации организма о необходимости прекратить или снизить интенсивность работы для того, чтобы избежать расстройства функций нервных клеток. Однако далеко не всегда чувство усталости соответствует степени утомления. Человек в состоянии утомления может и не чувствовать усталости под влиянием эмоционального возбуждения, опасности, интереса к выполняемой работе, чувства долга, ответственности за порученное дело. Именно по этой причине водитель в рейсе на дальние расстояния испытывает чувство усталости в меньшей степени, чем сидящий рядом пассажир, хотя длительное управление автомобилем приводит к большему утомлению водителя, чем бездействующего пассажира. А рекомендуемые кратковременные остановки водители зачастую игнорируют.

Проанализировав факторы, влияющие на безопасность водителя, смоделирована программа, обрабатывающая результаты, полученные с внешних датчиков (рис. 1).

Работа системы направлена на выявление и сигнализацию водителю о необходимости сна, а при невозможности последнего — стимулировать дальнейшую работу водителя, повторными рекомендациями о прекращении движения и общение с водителем. Основным и главным в этом является своевременное определение состояния водителя и положение автомобиля. Для этого в системе используется датчик акселерометр — прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения. Кажущееся ускорение есть ускорение, вызванное равнодействующей сил негравитационной природы, действующих на массу и равное этим силам отнесённой к величине этой массы. В качестве измерительного элемента используется MEMS датчик ускорения Freescale. К одним из важных преимуществ акселерометров MMA7660 (рис. 2) можно отнести малое энергопотребление и перестраиваемая частота измерений (от 1 до 120 Гц).

Рис. 1. Структурная схема работы программы

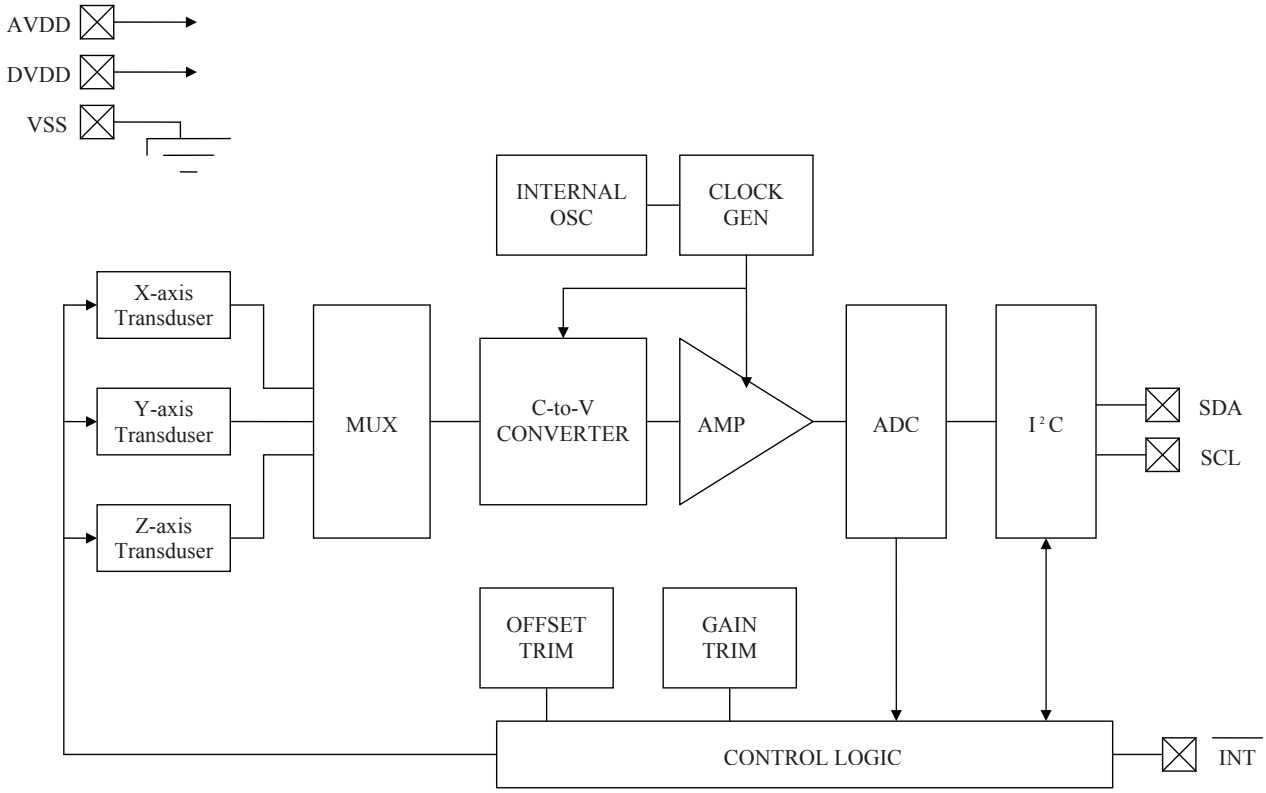
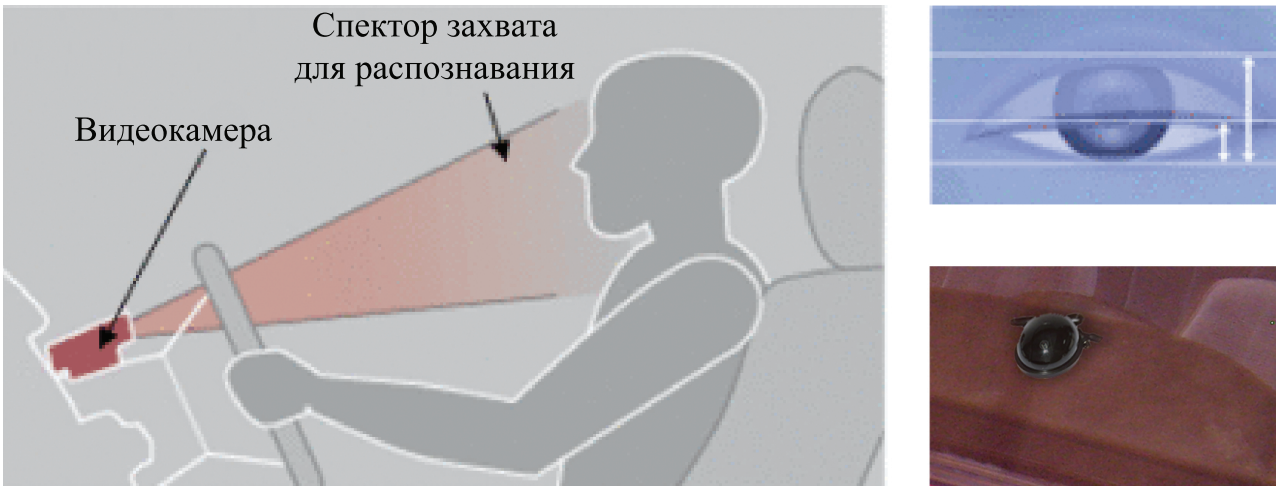


Рис. 2. Структурная схема акселерометра MMA7660FC

Акселерометр работает в трёх плоскостях: X-axls, Y-axls, Z- axls. Питание микросхемы составляет 5 вольт через стабилизатор напряжения. С выхода SDA и SCL снимаются побитовые сигналы которые подаются на com порт. Частота обновления зависит от выбранной частоты измерения и составляет 20 Гц. При изменениях происходит сопоставление сигнала данных с предыдущего измерения и, при наличии изменения, система выдаёт команду на голосовую часть. Начинается диалог с водителем, способствующий пробудить его и восстановить работу нервной системы.

Следующим этапом распознавания возможного засыпания идёт через анализ глаз водителя (закрытие век, длительное отсутствие моргания). Для этого используется видеокамера, закреплённая на передней панели перед лицом водителя (рис. 3).



а) *б)*

Рис. 3. Видеокамера (а) на передней панели автомобиля (б)

Снимаемая камерой оцифрованная информация в разработанной программе поступает на распознавание области глаз. После самонастройки системы происходит постоянная обработка области глаз. Суть обработки состоит в постоянном сравнивании текущего состояния век с открытым и закрытым глазом (предварительно сохранёнными эталонами во время настройки системы). На рис. 4 приведен экспериментальный график работы системы.

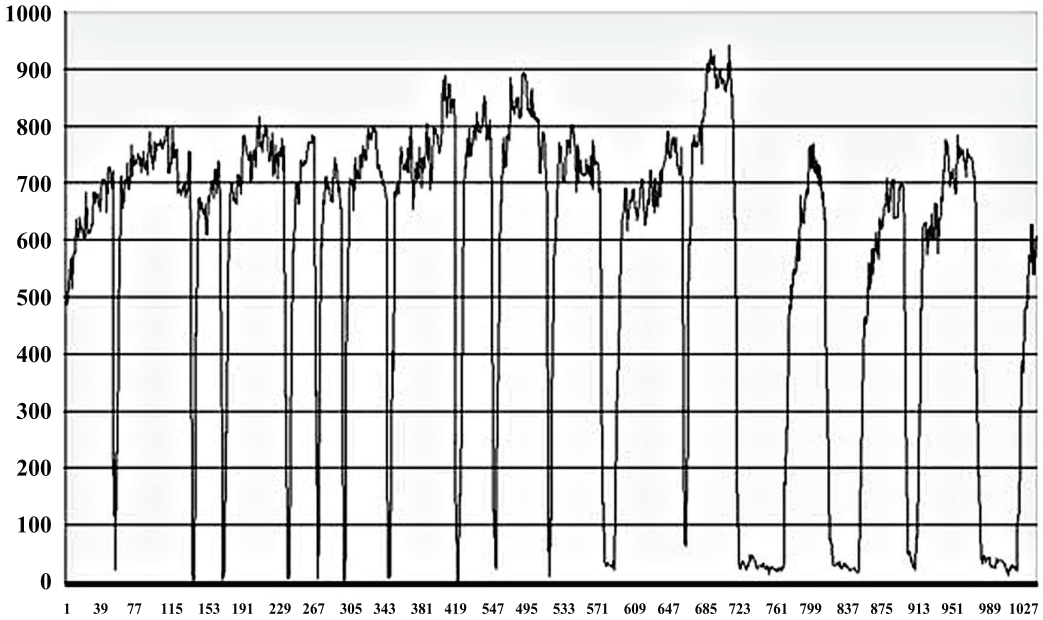


Рис. 4. Экспериментальный график работы анализатора моргания глаз

По оси Y представляются совпадения с эталоном закрытого глаза. Значение должно стремиться к «0», ось X — шкала кадров (в данном эксперименте 10 кадров в секунду). На рисунке видно, что к 723 кадру происходит закрытие глаз на 4 секунды. Подобное сходство нельзя назвать с морганием и система выдаёт команду на выявление засыпания, в результате этого происходит выдача голосового интерфейса, который задает водителю голосовой вопрос о его самочувствии или дает предложение возможного отдыха.

Выводы

Предложена система определения состояния водителя во время управления автомобилем, которая определяет склонность водителя к засыпанию и применяет методы возвращения водителю бдительности путём общения с ним. Использованы датчики определения положения головы и видеокамера, позволяющие распознавание закрытия глаз.

Список литературы

1. Кравченко А.П. Автоматизированная компьютерная система голосового управления автомобилем/ А.П. Кравченко, Н.М. Крамарь, И.В. Морозов // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов, вып. 25. — Харьков: ХНАДУ, 2009. — С. 44–47.

2. Anselm D. Zwei Jahre elektronishe Wegfahrsperre — Ergebnisse im Jahre 1996; Electronik im Kraftfahrzeug, Tagung Baden-Baden, VDI-Berichte 1287, 1996. pp. 110–123.

3. Автомобильная энциклопедия 2008. — Издательство: Третий Рим Издательский дом (ООО), 2007 — С. 7–50.

4. Joe Schurmann, Herbert Meier. TIRIS — Leader in Radio Frequency Identification Technology, Texas Instruments Technical Journal Vol. 10. No. 6.

5. Steinhagen W., Kaiser U. A Low Power Read/Write Transponder IC for High Performance Identification Systems, Proceedings of ESSCIR' 94, Ulm, Germany, September 20–22, 1994, pp. 256–259.

6. Розенблат В.В. Проблема утомления. — М., 1975. — С. 15–70.

Анотація. *Розглянуто зарубіжні та вітчизняні аналоги застосування на автомобілі систем контролю водія від засинання. Відмічені недоліки, пов'язані з незручностями при роботі пристроїв, що знижують ефективність систем. Запропоновано систему, здатну дати високий результат визначення стану водія і запобігти втрати керування транспортним засобом.*

Abstract. *Considered foreign and domestic counterparts of the vehicle control systems a driver from falling asleep. Noted deficiencies associated with discomfort at work devices to reduce the effectiveness of the systems. We propose a system that can give good results determine the status of the driver and prevent loss of vehicle control.*

Стаття надійшла до редакції 13.12.2010 р.

УДК 004.934.1'1

ФЕДОРОВ Е.Е., к.т.н., доц.,
Донецкая академия автомобильного транспорта

МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ВЕРБАЛЬНЫХ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ DTW-КЛАССИФИКАТОРОВ

Для повышения точности, надежности и быстродействия принимаемых решений при управлении движущимся транспортом в окружающей среде с высокой динамикой изменения характеристик в статье предлагается методика распознавания слов вербальных команд на основе композиции классификаторов, использующих алгоритм Dynamic Time Warping (DTW), базирующаяся на формировании системы векторов признаков слов, эталонов слов, моделей DTW-классификаторов слов, композиции DTW-классификаторов, правил принятия решения. Для предложенной методики проводится численное исследование

Постановка проблемы

В настоящее время актуальной становится разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) для решения проблем повышения точности, надежности и быстродействия принимаемых решений при управлении движущимся транспортом в окружающей среде с высокой динамикой изменения характеристик. При создании таких ИСППР возникает задача создания естественно-языкового интерфейса и, в частности, распознавания вербальных команд. Для анализа этих команд необходимо выбрать систему векторов признаков, модель для классификации слов команд и решающее правило.

Анализ последних исследований и публикаций

Согласно [1], методы распознавания речевого сигнала базируются на дереве решений, нейросетях и динамическом программировании. Недостатком первого подхода является отсутствие автоматической процедуры настройки порогов, в соответствии с которыми осуществляется классификация фреймов распознаваемого сигнала, что затрудняет машинную реализацию этого подхода [1]. Второй подход используется только для распознавания фонем речевого сигнала и не приспособлен для сопоставления целого распознаваемого сигнала и эталона [1]. Поэтому обычно используется третий подход. В рамках этого подхода лучшие результаты по точности и надежности были получены с помощью непрерывных скрытых марковских моделей (НСММ) [1] и метода КДП [2], основанного на композиции (К) эталонов с помощью автоматных порождающих грамматик, и динамическом программировании (ДП). Недостатком НСММ является то, что они требуют большого объема обучающих данных для настройки параметров [1], что не всегда возможно для узкоспециализированных технических словарей. Недостатком КДП является сложность точного определения максимального числа повторений элементов эталона для автоматной грамматики, порождающей эталоны.

Цель статьи

Разработать методику распознавания вербальных команд управления транспортом на основе композиции классификаторов, использующих алгоритм динамического программирования Dynamic Time Warping (DTW).

Основной материал

Создание методики распознавания команд для вербальной системы управления транспортом предусматривает формирование:

– системы векторов признаков слов;
– эталонов слов;
– моделей DTW-классификаторов слов;
– композиции DTW-классификаторов.

1. Формирование системы векторов признаков

В режиме обучения для фиксации речевых особенностей дикторов формируется система векторов признаков речевого сигнала следующих типов [3]:

1. Коэффициенты ЛП (линейного прогнозирования).
2. Коэффициенты отражения ЛП.
3. Автокорреляция ЛП.
4. Кепстр ЛП.
5. Площади поперечных сечений акустической трубы.
6. Нормированная автокорреляция.
7. Нормированный энергетический спектр ЛП.
8. Меры контрастности ЛП.
9. Нормированный энергетический спектр ДПФ.
10. Меры контрастности ДПФ (дискретного преобразования Фурье).
11. Меры контрастности ДВП (дискретного вейвлет-преобразования).
12. Меры контрастности НВП (непрерывного вейвлет-преобразования).
13. Нормированное количество импульсов равной длины.
14. MFCC (мел-частотные кепстральные коэффициенты).

Сформированная структура векторов признаков, которые отражают частотные, автокорреляционные и энергетические характеристики речи дикторов, его речевого тракта и слухового аппарата, используется при создании эталонов слов.

2. Формирование эталонов слов

Для каждого слова технического словаря записывается обучающий набор реализаций речевого сигнала, причем каждая реализация разбивается на фреймы (участки равной длины). Для каждого *j*-го фрейма создается вектор признаков *u*-го типа

$$\mathbf{x}_{uj} = (x_{uj1},...,x_{ujk},...,x_{ujN_u}), u \in \overline{1,14}, j \in \overline{1,J}, \quad (1)$$

который затем нормируется в виде

$$\tilde{\mathbf{e}}_{uj} = (\tilde{e}_{uj1},...,\tilde{e}_{ujk},...,\tilde{e}_{ujN_u}), u \in \overline{1,14}, j \in \overline{1,J}, \quad (2)$$

$$\tilde{e}_{ujk} = \frac{x_{ujk} - x1_{uk}}{x2_{uk} - x1_{uk}},$$

где $\tilde{e}_{ujk}$ — нормированное численное значение *k*-й компоненты вектора признаков *u*-го типа *j*-го фрейма, $\tilde{e}_{ujk} \in [0,1]$,

$x1_{uk}$ — минимальное значение *k*-й компоненты вектора признаков *u*-го типа,

$x2_{uk}$ — максимальное значение *k*-й компоненты вектора признаков *u*-го типа,

N_u — длина вектора признаков *u*-го типа,

J — количество фреймов обучающей реализации слова.

Эталон обучающей реализации слова образован набором нормированных векторов фреймов

$$\tilde{\mathbf{e}}_u = (\tilde{\mathbf{e}}_{u1},...,\tilde{\mathbf{e}}_{uJ}), u \in \overline{1,14}. \quad (3)$$

Модели DTW-классификаторов слов команд используют сформированные эталоны слов в качестве векторов параметров.

3. Формирование моделей DTW-классификаторов

В статье использованы четыре типа DTW-классификаторов.

Модель DTW-классификатора первого типа (детерминированного, симметричного, с направлением движения из точек $(i-1,j),(i-1,j-1),(i,j-1)$ в точку (i,j), с евклидовым локальным расстоянием, с усреднением глобального расстояния, без взвешивания) выдает результат $DTW_1(\tilde{\mathbf{x}}_u,\tilde{\mathbf{e}}_u)$, определяемый в виде

$$Q(1,1) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{u1} - \tilde{\mathbf{e}}_{u1} \|, l(1,1) = 0,$$

$$Q(i,1) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{u1} \| + Q(i-1,1), l(i,1) = 1, i \in \overline{2,H},$$

$$Q(1,j) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{u1} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \| + Q(1,j-1), l(1,j) = 1, j \in \overline{2,H},$$

$$MIN = \min(Q(i-1,j), Q(i-1,j-1), Q(i,j-1)), i \in \overline{2,H}, j \in \overline{2,H},$$

$$Q(i,j) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \| + MIN, i \in \overline{2,H}, j \in \overline{2,H},$$

$$l(i,j) = \begin{cases} l(i-1,j)+1, & MIN = Q(i-1,j) \\ l(i-1,j-1)+1, & MIN = Q(i-1,j-1), i \in \overline{2,H}, j \in \overline{2,H}, \\ l(i,j-1)+1, & MIN = Q(i,j-1) \end{cases}$$

$$DTW_1(\tilde{\mathbf{x}}_u,\tilde{\mathbf{e}}_u) = \frac{Q(H,H)}{l(H,H)},$$

$$\| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \| = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_u} (\tilde{x}_{uik} - \tilde{e}_{ujk})^2},$$

где $l(i,j)$ — текущая длина маршрута,

H — максимальное количество фреймов распознаваемого сигнала и эталона.

Модель DTW-классификатора второго типа (детерминированного, асимметричного, с направлением движения из точек $(i-1,j),(i-1,j-1),(i,j-1)$ в точку (i,j), с евклидовым локальным расстоянием, с усреднением глобального расстояния, без взвешивания) выдает результат $DTW_2(\tilde{\mathbf{x}}_u,\tilde{\mathbf{e}}_u)$, определяемый в виде

$$Q(1,1) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{u1} - \tilde{\mathbf{e}}_{u1} \|, l(1,1) = 0,$$

$$Q(i,1) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{u1} \| + Q(i-1,1), l(i,1) = 1, i \in \overline{2,I},$$

$$Q(1,j) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{u1} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \| + Q(1,j-1), l(1,j) = 1, j \in \overline{2,J},$$

$$MIN = \min(Q(i-1,j), Q(i-1,j-1), Q(i,j-1)), i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J},$$

$$Q(i,j) = \| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \| + MIN, i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J},$$

$$l(i,j) = \begin{cases} l(i-1,j)+1, & MIN = Q(i-1,j) \\ l(i-1,j-1)+1, & MIN = Q(i-1,j-1), i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J}, \\ l(i,j-1)+1, & MIN = Q(i,j-1) \end{cases}$$

$$DTW_2(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_u) = \frac{Q(I,J)}{l(I,J)},$$

$$\| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \| = \sqrt{\sum_{k=1}^{N_u} (\tilde{x}_{uik} - \tilde{e}_{ujk})^2},$$

где I, J — количество фреймов распознаваемого сигнала и эталона соответственно.

Модель DTW-классификатора третьего типа (стохастического, асимметричного, с направлением движения из точек $(i-1,j),(i-1,j-1),(i,j-1)$ в точку (i,j), с усреднением глобального расстояния, без взвешивания) выдает результат $DTW_3(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_u)$, определяемый в виде

$$Q(1,1) = \ln p_{11}, l(1,1) = 0,$$

$$Q(i,1) = \ln p_{i1} + Q(i-1,1) + \ln P1_1, l(i,1) = 1, i \in \overline{2,I},$$

$$Q(1,j) = \ln p_{1j} + Q(i,j-1) + \ln P3_j, l(1,j) = 1, j \in \overline{2,J},$$

$$MAX = \max(Q(i-1,j) + \ln P1_j, Q(i-1,j-1) + \ln P2_j, Q(i,j-1) + \ln P3_j), i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J},$$

$$Q(i,j) = \ln p_{ij} + MAX, i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J},$$

$$l(i,j) = \begin{cases} l(i-1,j)+1, & MAX = Q(i-1,j) \\ l(i-1,j-1)+1, & MAX = Q(i-1,j-1), i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J}, \\ l(i,j-1)+1, & MAX = Q(i,j-1) \end{cases}$$

$$DTW_3(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_u) = \frac{Q(I,J)}{l(I,J)},$$

где p_{ij} — плотность нормального распределения вектора $\tilde{\mathbf{x}}_{ui}$ i-го фрейма распознаваемого сигнала при условии, что он соответствует вектору $\tilde{\mathbf{e}}_{uj}$ j-го фрейма эталона,

$P1_j$ — априорная вероятность перехода из точки $(i-1, j)$ в точку (i, j),

$P2_j$ — априорная вероятность перехода из точки $(i-1, j-1)$ в точку (i, j),

$P3_j$ — априорная вероятность перехода из точки $(i, j-1)$ в точку (i, j).

Модель DTW-классификатора четвертого типа (стохастического, асимметричного, с направлением движения из точек $(i-1, j), (i-1, j-1), (i, j-1)$ в точку (i, j), с усреднением глобального расстояния, без взвешивания), предложенная автором, выдает результат $DTW_4(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_u)$, определяемый в виде

$$Q(1,1) = p_{ij}, l(1,1) = 0,$$

$$Q(i,1) = p_{ij} + Q(i-1,1)P2_1, l(i,1) = 1, i \in \overline{2,I},$$

$$Q(1,j) = p_{ij} + Q(1,j-1)P3_j, l(1,j) = 1, j \in \overline{2,J},$$

$$MAX = \max(Q(i-1,j)P1_j, Q(i-1,j-1)P2_j, Q(i,j-1)P3_j), i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J},$$

$$Q(i,j) = p_{ij} + MAX, i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J},$$

$$l(i,j) = \begin{cases} l(i-1,j)+1, & MAX = Q(i-1,j) \\ l(i-1,j-1)+1, & MAX = Q(i-1,j-1), i \in \overline{2,I}, j \in \overline{2,J}, \\ l(i,j-1)+1, & MAX = Q(i,j-1) \end{cases}$$

$$DTW_4(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_u) = \frac{Q(I,J)}{l(I,J)}.$$

На основе сформированных четырех моделей DTW-классификаторов создается четыре композиции DTW-классификаторов.

4. Формирование композиции DTW-классификаторов

Композиция DTW-классификаторов, представленная на рис. 1, является неполносвязной сетью и осуществляет параллельное сопоставление распознаваемого сигнала с эталонами, которые соответствуют обучающим реализациям.

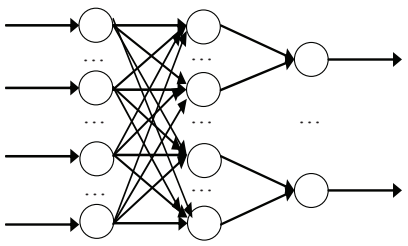


Рис. 1. Композиция DTW-классификаторов

Предложенная композиция формируется по следующему принципу. Компонентам нормированных векторов признаков речевого сигнала $\tilde{\mathbf{x}}_u$ соответствуют элементы входного слоя;

эталонам обучающих реализаций слов соответствуют элементы скрытого слоя; номерам слов соответствуют элементы выходного слоя.

В скрытом слое происходит распознавание слова посредством DTW-классификаторов *v*-го типа с эталонами *u*-го типа, т.е. его сопоставление со всеми *z*-ми обучающими реализациями всех слов и получение результата $DTW_v(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_{uz}), z \in \overline{1, N^{(1)}}$, где $N^{(1)}$ — количество эталонов (обучающих реализаций) всех слов.

В выходном слое для всех обучающих реализаций l-го слова происходит усреднение результатов классификации, что обеспечивает обобщающую способность композиции DTW-классификаторов

$$f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u) = \frac{1}{n_l} \sum_{z=1}^{N^{(1)}} w_{zl} DTW_v(\tilde{\mathbf{x}}_u, \tilde{\mathbf{e}}_{uz}), v \in \overline{1,4}, u \in \overline{1,14}, \tag{4}$$

где n_l — количество обучающих реализаций l-го слова,

$w_{zl} \in \{0,1\}$ — весовые коэффициенты.

Принятие решений о номере распознанного слова осуществляется в соответствии с решающим правилом для:

– детерминированного DTW

$$\min_{l \in \overline{1, N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u) < \varepsilon \to result_{uv} = \arg \min_{l \in \overline{1, N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u), v \in \overline{1,2}, u \in \overline{1,14}, \tag{5}$$

$$\min_{l \in \overline{1, N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u) \geq \varepsilon \to result_{uv} = 0, v \in \overline{1,2}, u \in \overline{1,14}; \tag{6}$$

– стохастического DTW

$$\max_{l \in \overline{1, N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u) > \varepsilon \to result_{uv} = \arg \max_{l \in \overline{1, N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u), v \in \overline{3,4}, u \in \overline{1,14}, \tag{7}$$

$$\max_{l \in \overline{1, N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_u) \leq \varepsilon \to result_{uv} = 0, v \in \overline{3,4}, u \in \overline{1,14}. \tag{8}$$

5. Численное исследование

Для выбора лучших DTW-классификаторов и векторов признаков было проведено численное исследование для 100 дикторов с разными голосовыми данными. Длина тестовой выборки для каждого диктора определялась как *M=100*.

Структура композиции DTW-классификаторов для каждого диктора определена следующим образом:

– количество элементов в скрытом слое (длина обучающей выборки) — $N^{(1)} = 1000$;

– количество элементов (слов) в выходном слое — $N^{(2)} = 100$.

Для стохастических DTW-классификаторов (третий и четвертый) в силу возможного отсутствия большого количества обучающих реализаций и возможного большого разброса значений компонент векторов признаков было принято, что:

– плотность нормального распределения

$$p_{ij} = \exp\left(-\frac{1}{2}\| \tilde{\mathbf{x}}_{ui} - \tilde{\mathbf{e}}_{uj} \|^2\right) = \exp\left(-\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{N_u}(\tilde{x}_{uik} - \tilde{e}_{ujk})^2\right);$$

– априорная вероятность перехода

$$P1_j = P2_j = P3_j = \frac{1}{3}.$$

Вероятность классификации (распознавания) слов оценивалась для — детерминированного DTW в виде

$$F = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M} I(\arg\min_{l\in\overline{1,N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_{um}), test_m), v \in \overline{1,2}, u \in \overline{1,14};$$

– стохастического DTW в виде

$$F = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M} I(\arg\max_{l\in\overline{1,N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_{um}), test_m), v \in \overline{3,4}, u \in \overline{1,14},$$

$$I(a,b) = \begin{cases} 1, & a = b \\ 0, & a \neq b \end{cases},$$

где $test_m$ — номер m-го тестового слова.

Порог для решающего правила оценивался для:

– детерминированного DTW в виде

$$\varepsilon = \max_{m\in\overline{1,M}} \min_{l\in\overline{1,N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_{um}), v \in \overline{1,2}, u \in \overline{1,14} \text{ при } I(\arg\min_{l\in\overline{1,N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_{um}), test_m) = 1;$$

– стохастического DTW в виде

$$\varepsilon = \min_{m\in\overline{1,M}} \max_{l\in\overline{1,N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_{um}), v \in \overline{3,4}, u \in \overline{1,14} \text{ при } I(\arg\max_{l\in\overline{1,N^{(2)}}} f_{vl}(\tilde{\mathbf{x}}_{um}), test_m) = 1.$$

Результаты численного исследования распознавания слов узкоспециализированного технического словаря для четырех DTW-классификаторов и четырнадцати типов векторов признаков приведены в табл.1–2. Как следует из табл.1, наибольшую вероятность распознавания по наибольшему количеству типов векторов признаков (половина типов векторов признаков дают вероятность распознавания больше или равную 0.98) дает композиция на основе асимметричных классификаторов (типы 2, 3 и 4). Поскольку классификаторы этих типов сопоставимы по вероятности распознавания, из них рекомендуется выбрать классификатор 4-го типа (авторский), основным достоинством которого является вероятностная оценка результатов классификации, которая для правил принятия решений позволяет выбрать единый порог для дикторов с различными голосовыми данными. Поскольку для распознавания рекомендуется использовать вектора признаков не только с высокой вероятностью распознавания, но и с высоким порогом (в данном случае стремящимся к 1), то предлагается использовать вектор признаков 14-го типа (меры контрастности НВП).

Таблица 1

Вероятности распознавании слов композициями DTW-классификаторов четырех типов, использующих систему векторов признаков

Тип вектора признаков	Вероятность распознавания композицией DTW-классификаторов			
	типа 1	типа 2	типа 3	типа 4
коэффициенты ЛП	0.18	0.44	0.46	0.46
коэффициенты отражения ЛП	0.64	0.98	0.99	0.98
автокорреляция ЛП	0.18	0.44	0.46	0.46
кепстр ЛП	0.28	0.68	0.74	0.74
площади поперечных сечений акустической трубы ЛП	0.78	0.68	0.56	0.56
нормированная автокорреляция	0.96	0.98	0.98	0.98
нормированный энергетический спектр ЛП	0.22	0.46	0.14	0.18
меры контрастности ЛП	0.48	0.92	0.9	0.9
нормированный энергетический спектр ДПФ	0.3	0.64	0.7	0.82
меры контрастности ДПФ	0.9	0.99	0.99	0.99
меры контрастности ДВП	0.86	0.98	0.98	0.98
меры контрастности НВП	0.38	0.99	0.98	0.99
нормированное количество импульсов равной длины	0.42	0.94	0.92	0.92
MFCC	0.78	0.99	0.98	0.98

Таблица 2

Пороги распознавания слов для композиции DTW-классификатора четвертого типа, использующей систему векторов признаков

Тип вектора признаков	Порог
коэффициенты ЛП	0.79
коэффициенты отражения ЛП	0.71
автокорреляция ЛП	0.79
кепстр ЛП	0.93
площади поперечных сечений акустической трубы ЛП	0.99
нормированная автокорреляция	0.88
нормированный энергетический спектр ЛП	0.82
меры контрастности ЛП	0.94
нормированный энергетический спектр ДПФ	0.72
меры контрастности ДПФ	0.94
меры контрастности ДВП	0.95
меры контрастности НВП	0.97
нормированное количество импульсов равной длины	0.99
MFCC	0.85

Выводы

Новизна. В статье предложена методика распознавания вербальных команд управления транспортом на основе композиции DTW-классификаторов, которая включает в себя формирование системы векторов признаков слов, эталонов слов, моделей DTW-классификаторов слов, композиции DTW-классификаторов. Предложенная методика обеспечивает:

1. Высокое быстродействие обучения и адаптации за счет отсутствия длительной настройки эталонов слов.

2. Высокое быстродействие принятия решения за счет параллельной обработки информации.

3. Высокую точность и надежность принимаемых решений за счет выбора типа:

– вектора признаков, обеспечивающего высокую вероятность распознавания и высокий порог;

– композиции DTW-классификаторов, обладающей обобщающей способностью, дающей вероятностную оценку результатов классификации, учитывающей большой разброс значений компонент - векторов - признаков;

– решающих правил, использующих единый порог для дикторов с различными голосовыми данными, чтобы достичь для всех дикторов требуемого качества обучения и отвергнуть слова, значительно отличающиеся от эталонов (например, не входящие в технический словарь или записанные в другой окружающей среде).

Практическое значение. Основные положения данной работы предназначены для реализации в интеллектуальных системах поддержки принятия решений.

Список литературы

1. Rabiner L.R. Fundamentals of speech recognition/L.R. Rabiner, B.H. Jang. — New Jersey: Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, 1993. — P. 507.

2. Винцюк Т.К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов/Т.К. Винцюк. — К.: Наук. думка, 1987. — 261 с.

3. Федоров Е.Е. Методика формирования акустических характеристик эталонов речи / Е.Е. Федоров. — Донецк: изд-во «Вебер», 2008. — 282 с.

4. Nakagawa S. Speaker-Independent English consonant and Japanese word recognition by a Stochastic Dynamic Time Warping method/S. Nakagawa, H. Nakanishi // Journal of Institution of Electronics and Telecommunication Engineers. — 1988. —Vol. 34, № 1. — P. 233–241.

Анотація. *Для підвищення точності, надійності та швидкодії прийнятих рішень при управлінні транспортом, що рухається, у навколишнім середовищі з високою динамікою зміни характеристик у статті пропонується методика розпізнавання слів вербальних команд на основі композиції класифікаторів, що використають алгоритм Dynamic Time Warping (DTW), яка базується на формуванні системи векторів ознак слів, еталонів слів, моделей DTW-класифікаторів слів, композиції DTW-класифікаторів, правил прийняття рішення. Для запропонованої методики проводиться чисельне дослідження.*

Abstract. *For increase of accuracy, reliability and speed of maked decisions at control of moving transport in environment with high dynamics of change of characteristics in article the method of words of verbal commands recognition on the basis of a classifiers composition using algorithm Dynamic Time Warping (DTW), based on formation of features vectors system of words, words patterns, models DTW-classifiers of words, composition DTW-classifiers, rules decision-making is offered. For the offered method numerical research is carried out.*

Стаття надійшла до редакції 30.12.2010 р.

УДК 656.13

ЭНГЛЕЗИ И. П., к.т.н., ПАХНО А. Е., ст. преподаватель,
Донецкая академия автомобильного транспорта

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДТП НА УЧАСТКЕ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Проводится анализ закономерности между вероятностью возникновения ДТП на участке транспортной сети и параметрами, определяющими организацию движения с учетом коэффициента аварийности

Введение

В основном маршрут перевозки опасного груза прокладывается по дорогам, разрешенным для движения грузового транспорта. При выборе маршрута работники соответствующих компетентных органов руководствуются профессиональным опытом, что является заведомо субъективным подходом. Привлечение современных статистических методов для обработки и анализа данных, используемых при согласовании маршрута дорожной перевозки опасного груза, позволяет снизить влияние субъективизма и повысить безопасность перевозки таких грузов.

Для решения задач, связанных с обработкой и анализом статистической информации применяются мощные и гибкие методы математической статистики [1]. Эти методы позволяют выявить закономерности в различных случайных событиях, получить обоснованные оценки вероятности появления случайных событий.

Анализ последних исследований

В статье [2] получено следующее регрессионное уравнение взаимосвязи между вероятностью возникновения ДТП на участке транспортной сети ($P_{ДТП}$), интенсивностью движения транспортных потоков в прямом и обратном направлениях ($\vec{F}, \overleftarrow{F}$), итоговым коэффициентом аварийности (k_a), длиной участка (l) и шириной проезжей части (H):

$$P_{ДТП} = -0,0000041819 + 0,0000000172\overleftarrow{F} + 0,0000000146\vec{F} + 0,0000013766k_a + \\ +0,0000075304l - 0,0000013691H. \quad (1)$$

Цель работы

Целью данного исследования являлось определение полезности полученного в [2] регрессионного уравнения для прогнозирования вероятности возникновения ДТП на участке автомобильной дороги.

Основной раздел

Для проведения регрессионного анализа использовался модуль «Множественная регрессия» пакета «Statistica 6». Основные результаты регрессионного анализа для уравнения (1) приведены в табл. 1.

Определим полезность предложенного уравнения. Коэффициент R^2, также известный как коэффициент детерминации, является показателем качества (предсказательной способности) регрессионной модели. Рассматриваемое уравнение объясняет 62,3% ($R^2 = 0,62\,252\,067$) вариации зависимой переменной.

Таблица 1

Основные результаты регрессионного анализа

$N=16$	$R=0{,}78\,899\,979$; $R^2=0{,}62\,252\,067$; $R_2=0{,}43\,378\,101$ $F(5{,}10)=3{,}2983$; $P<0{,}05\,113$; стандартная ошибка оценки (уравнения) 0,00 001					
	β	Стандартные ошибки коэффициентов	B	Стандартные ошибки коэффициентов уравнения регрессии	t-критерий	Вероятность нулевой гипотезы для коэффициентов уравнения регрессии, P
Свободный член			–0,0 000 041 819	0,0 000 178 071	–0,234 842	0,819 070
x_1	0,381 452	0,213 215	0,0 000 000 172	0,0 000 000 096	1,789 050	0,103 887
x_2	0,320 823	0,233 721	0,0 000 000 146	0,0 000 000 106	1,372 671	0,199 853
x_3	0,473 995	0,235 439	0,0 000 013 766	0,0 000 006 838	2,013 238	0,071 786
x_4	0,180 205	0,223 809	0,0 000 075 304	0,0 000 093 526	0,805 171	0,439 446
x_5	–0,156 331	0,213 685	–0,0 000 013 691	0,0 000 018 713	–0,731 597	0,481 207

Проверим на значимость коэффициенты уравнения. Для этого воспользуемся распределением Стьюдента для $N—n—1$ степенями свободы. Используем данные из табл. 1 и табл. процентных точек t-распределения из [1]. Будем рассматривать коэффициенты регрессии по абсолютному значению $t_{кр}$ (0,05; 10) = 2,228.

При этом:

$t_{b0}=0{,}234\,842<t_{кр}$;
$t_{b1}=1{,}789\,050<t_{кр}$;
$t_{b2}=1{,}372\,671<t_{кр}$;
$t_{b3}=2{,}013\,238<t_{кр}$;
$t_{b4}=0{,}805\,171<t_{кр}$;
$t_{b5}=0{,}731\,597<t_{кр}$.

Все коэффициенты уравнения не значимы на 5% уровне ($P>0{,}05$).

Далее проанализируем значимость полученной модели. Для этого воспользуемся критерием Фишера (F-критерий). F-критерий полученного уравнения регрессии $F(5{,}10)=3{,}2983$ не значим на 5% уровне (табличный $F(5;10)=3{,}33$). Подобранная модель будет значима на 10% уровне (табличный $F(5;10)=2{,}52$). Чтобы регрессия имела практическую ценность для предсказаний, наблюдаемое значение F для всей регрессии должно превышать выбранную процентную точку как минимум в четыре раза [1].

Так как полученное уравнение малополезно и не дает возможности применения его для получения необходимых прогнозов, постараемся определить источник ошибок.

Одной из возможных причин ошибок уравнения, уменьшения точности оценивания, снижения эффективности использования регрессионной модели, является взаимная коррелированность независимых переменных. Сильная взаимная коррелированность независимых переменных, если такая будет выявлена, может затруднять анализ влияния отдельных факторов на зависимую переменную, а также потребовать применения для определения оценок параметров более устойчивых методов регрессионного анализа.

Рассмотрим частные коэффициенты корреляции между переменными (табл. 2). Частая корреляция — это корреляция между двумя переменными, когда одна или несколько оставшихся переменных фиксируются (т. е. удерживаются на постоянном уровне).

Таблица 2

Частные коэффициенты корреляции

Переменная	Переменные входящие в уравнение				
	β	Частная корреляция	R^2	t-критерий	Вероятность нулевой гипотезы, P
x_1	0,381 452	0,492 407	0,169 655	1,789 050	0,103 887
x_2	0,320 823	0,398 128	0,308 970	1,372 671	0,199 853
x_3	0,473 995	0,537 042	0,319 002	2,013 238	0,071 786
x_4	0,180 205	0,246 745	0,246 407	0,805 171	0,439 446
x_5	–0,156 331	–0,225 398	0,173 305	–0,731 597	0,481 207

Взаимная коррелированность независимых переменных в рассматриваемом уравнении незначительна и следовательно не может повлиять на точность оценки.

Судить о том, что полученная модель не противоречит данным наблюдений, можно по остаткам. Поэтому для определения «полезности» предложенной в данной статье модели исследуем поведение полученного набора остатков (табл. 3).

Таблица 3

Данные для анализа остатков

№ п/п	Наблюдаемое значение	Предсказанное значение	Остатки	Кука расстояние
1	0,000 054	0,000 032	0,000 022	0,462 290
2	0,000 002	0,000 014	–0,000 013	0,126 399
3	0,000 001	–0,000 001	0,000 002	0,001 442
4	0,000 010	0,000 018	–0,000 008	0,079 165
5	0,000 007	0,000 004	0,000 003	0,004 429
6	0,000 027	0,000 023	0,000 004	0,021 586
7	0,000 001	0,000 008	–0,000 007	0,086 969
8	0,000 006	0,000 018	–0,000 012	0,250 730
9	0,000 000	0,000 013	–0,000 013	0,125 601
10	0,000 010	0,000 016	–0,000 006	0,035 432
11	0,000 034	0,000 037	–0,000 003	0,031 984
12	0,000 039	0,000 023	0,000 016	0,744 578
13	0	0,000 007	–0,000 007	0,065 019
14	0	–0,000 005	0,000 005	0,009 848
15	0	–0,000 007	0,000 007	0,027 742
16	0	–0,000 009	0,000 009	0,040 657

Остатки определяются как n разностей вида $e_i = Y_i - \widehat{Y}_i$, $i = 1, 2, \ldots, n.$, где Y_i — наблюдаемое значение, а $\widehat{Y}_i$ — соответствующее предсказанное значение, полученное при помощи подобранного уравнения. Из этого определения можно видеть, что остатки e_i — представляют собой

разности между тем, что фактически наблюдалось, и тем, что было предсказано на основе подобранного уравнения. Таким образом, мы можем рассматривать остатки e_i как наблюдаемые ошибки, если модель корректна.

При проведении регрессионного анализа делаются следующие предположения относительно ошибок: ошибки являются независимыми и имеют нулевое среднее, одинаковую дисперсию σ^2 и подчиняются нормальному распределению. Таким образом, если подобранная модель корректна, остатки будут проявлять тенденцию к подтверждению сделанных предположений или, по меньшей мере, не будут им противоречить.

Для начала проверим правильность предположения о том, что остатки подчиняются нормальному распределению. Для проверки нормальности используем графический метод с использованием пакета прикладных программ «Statistica» построим гистограмму остатков (рис. 1) и нормальный вероятностный график (рис. 2).

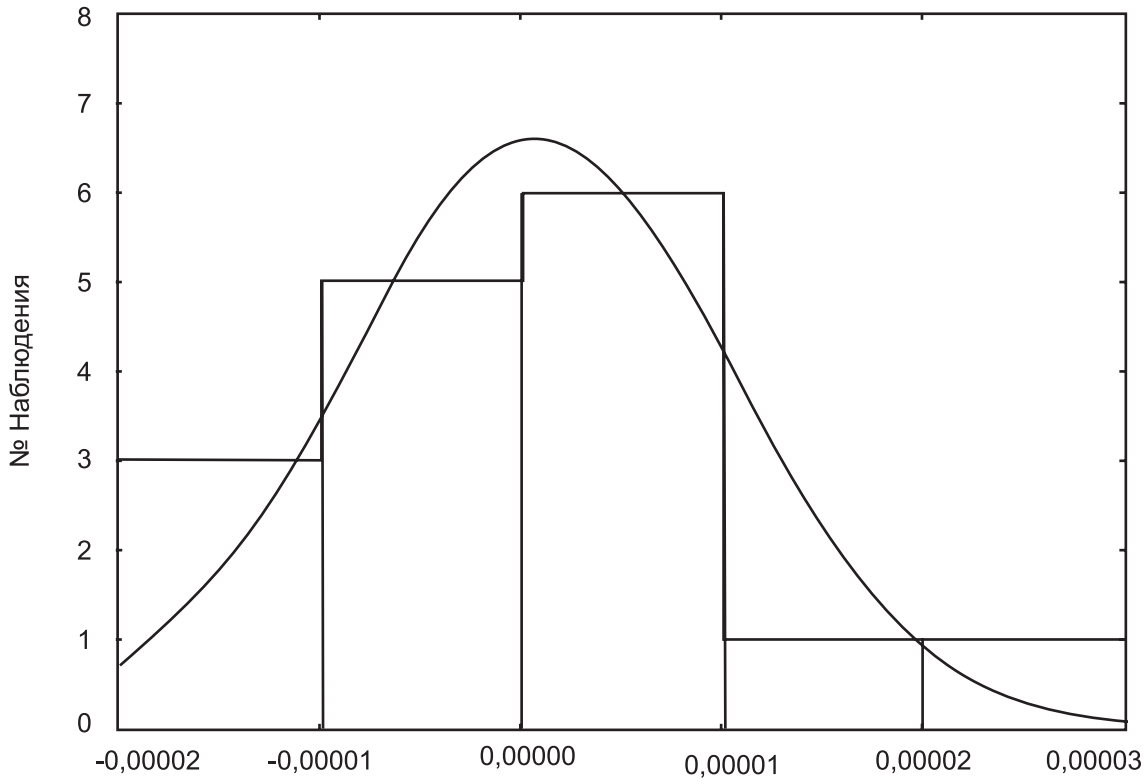


Рис. 1. Гистограмма остатков

Если наблюдаемые значения (откладываемые по оси *X*) распределены нормально, то все значения должны попасть на прямую линию. Если значения не являются нормально распределенными, они будут отклоняться от линии. График, представленный на рис. 2 выглядит «достаточно нормальным», если не принимать во внимание самое маленькое по величине наблюдение, которое выглядит как выброс.

Проведем анализ выбросов. Выбросы — это остатки, которые значительно превосходят по абсолютной величине остальные. Выбросы показывают опытные данные, которые являются не типичными по отношению к остальным данным, и требует выяснения причин их возникновения. Выбросы должны исключаться из обработки, если они вызваны ошибками регистрации, измерения.

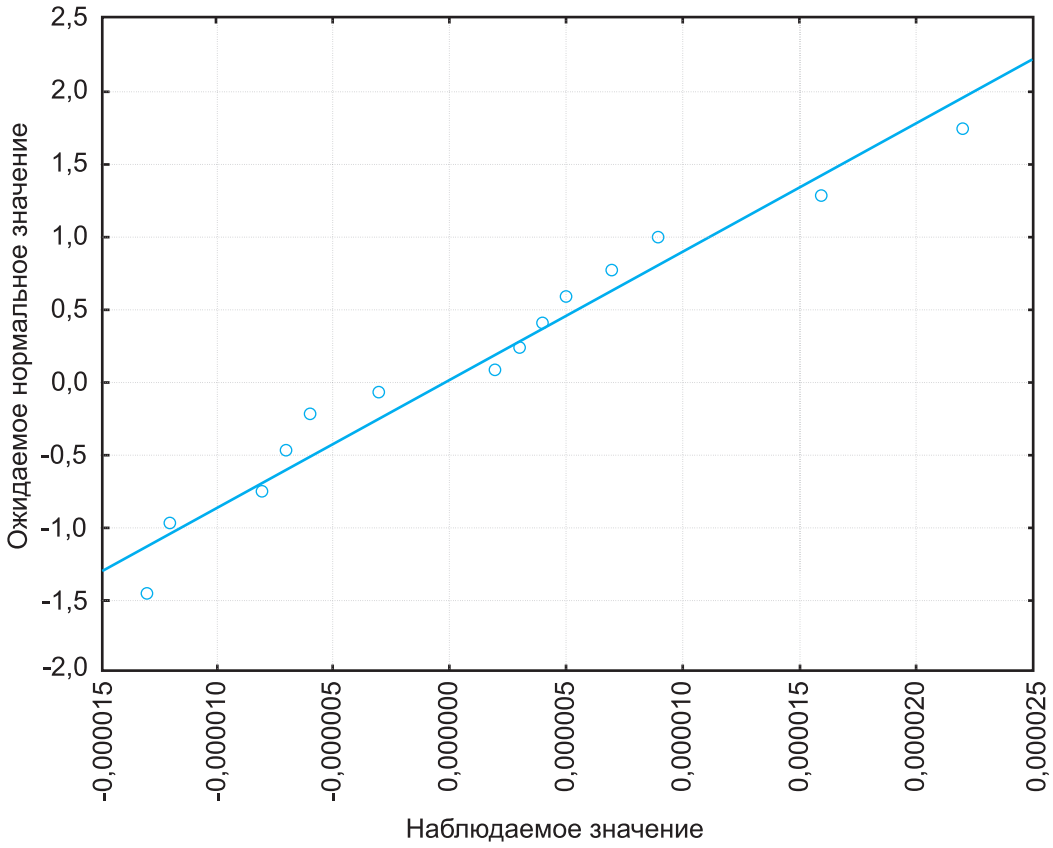


Рис. 2. Нормальный график остатков

Для выявления имеющихся в регрессионных остатках выбросов можно воспользоваться показателем Кука. Данный показатель принимает только положительные значения и показывает расстояние между коэффициентами уравнения регрессии после исключения из обработки i-той точки данных. Большое значение показателя Кука указывает на сильно влияющий случай.

Поскольку для статистики Кука не существует какого-либо формального критерия для принятия решения, мы просто сравниваем «большие значения» с основным уровнем, который определяется большей частью этих чисел. Анализ статистики Кука показывает, что наблюдение под номером 12 оказывает очень большое влияние; первое тоже оказывает, но в меньшей степени.

Для выявления нестабильности дисперсии ошибки уравнения построим график зависимости остатков от предсказанного значения зависимой переменной (рис. 3). График, приведенный на рис. 3. позволяет сделать вывод о непостоянстве дисперсии ошибки уравнения (с увеличением значений зависимой переменной дисперсия увеличивается). Это еще одно подтверждение неадекватности анализируемой модели.

Очень удобным визуальным способом оценки адекватности регрессионной модели является анализ графического изображения опытных и полученных по регрессионному уравнению значений зависимой переменной (рис. 4).

Из рис. 4 хорошо видно, что линейный вид нашей модели плохо описывает взаимосвязь вероятности возникновения ДТП на участке транспортной сети ($P_{ДТП}$) с интенсивностью движения транспортных потоков в прямом и обратном направлениях ($\vec{F}, \overleftarrow{F}$), итоговым коэффициентом аварийности (k_a), длиной участка (l) и шириной проезжей части (H). Эта связь носит нелинейный характер.

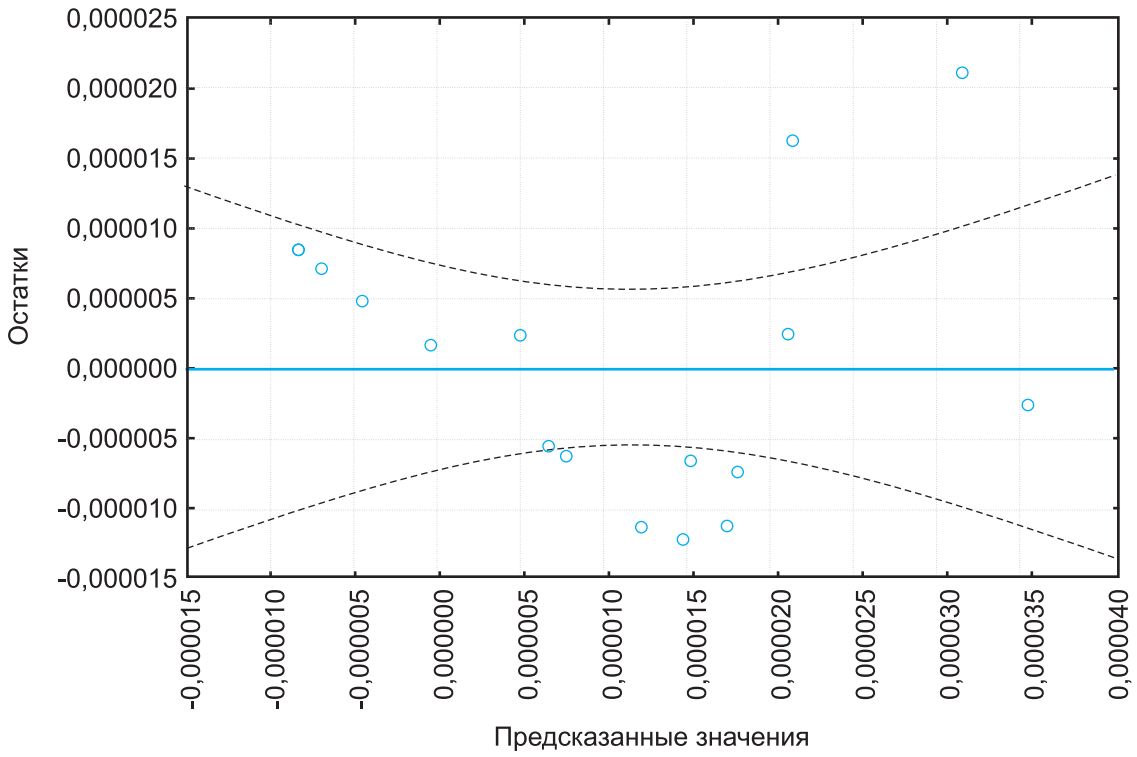


Рис. 3. Зависимость остатков от предсказанных значений зависимой переменной

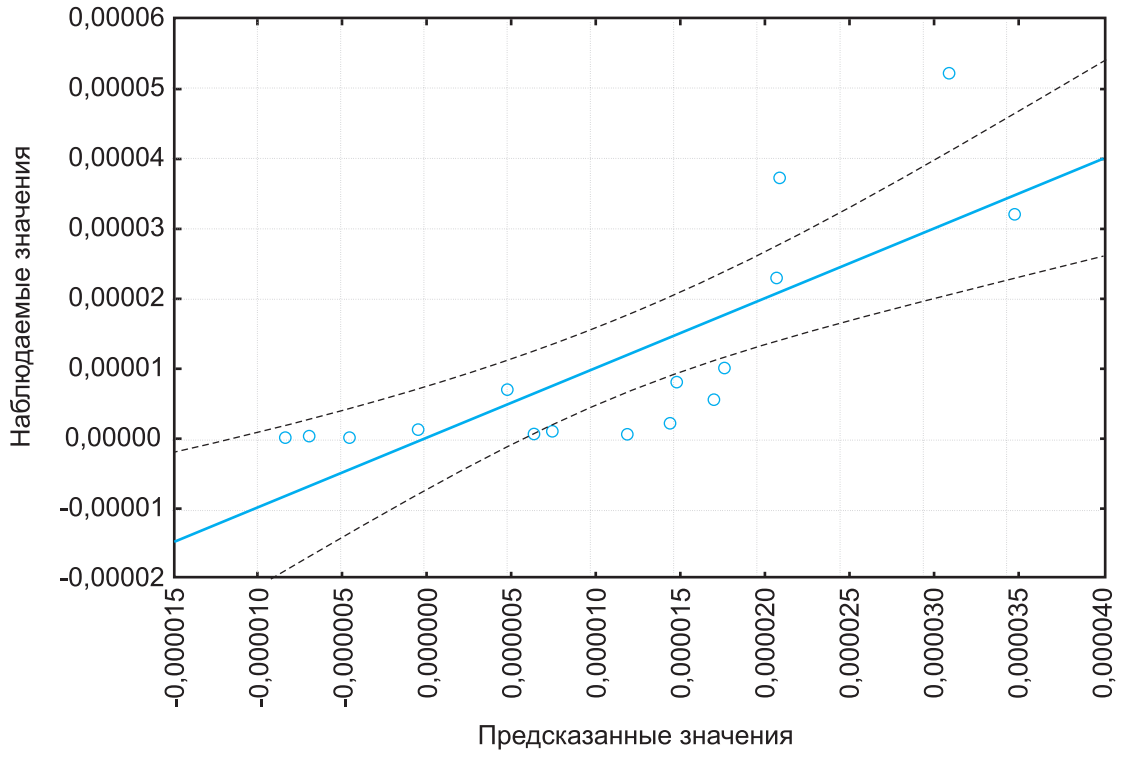


Рис. 4. Зависимость остатков от предсказанных значений зависимой переменной

Список литературы

1. Дрейпер Норман Прикладной регрессионный анализ / Дрейпер Норман, Смит Гарри; [пер. с англ.]. — М.: Изд. дом «Вильяме», 2007. — 912 с: ил.

2. Доля В.К. К определению вероятности ДТП участника движения на участках транспортной сети/В.К. Доля, И.П. Енглези, А.Е. Пахно // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. — 2010. –№ 3. — С. 49–54.

Анотація. *Проводиться аналіз закономірності між імовірністю виникнення ДТП на ділянці транспортної мережі та параметрами, що визначають організацію руху з урахуванням коефіцієнта аварійності.*

Annotation. *The authors of this article investigate the regular dependence between probability (frequency) of road accidents at the certain area of road network, and between parameters which determine traffic organization, subject to accident rate index.*

Стаття надійшла до редакції 30.12.2010 р.

УДК 629.113

ДУГЕЛЬНИЙ В.М., к.т.н., доц., САВЕНОК Д.В., ас.,
ВИНОКУРОВ М.М., маг., Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ,
КОСТЕНКО А.В., к.т.н., Донецька академія автомобільного транспорту

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ШИНИ

У статті виконано аналіз етапів розвитку конструкцій автомобільних шин, визначені перспективні напрямки їх удосконалення. Наведені необхідні рисунки, що ілюструють будову шин та рисунки протектора. Визначені переваги та недоліки низькопрофільних шин.

Вступ

Автомобільна шина — один з найбільш важливих елементів, що представляє собою пружню оболонку, що розташована на ободі колеса. Шина призначена для поглинання незначних коливань, які викликаються недосконалістю дорожнього покриття, компенсації похибки траєкторій коліс, реалізації та сприйняття сил, що виникають у плямі контакту, і забезпечення високого коефіцієнта зчеплення [1].

Постановка завдання

Метою даної статті є аналіз етапів розвитку конструкцій автомобільних шин, визначення перспективних напрямків їх удосконалення.

Основна частина

Розвиток конструкції шин безпосередньо пов’язаний з удосконаленням конструкції автомобілів і здійснюється в напрямку досягнення найбільш повної відповідності характеристик шин характеристикам та умовам роботи автомобілів. Так, з розширенням мережі вдосконалених автомобільних доріг, підвищенням швидкостей руху автомобілів, збільшенням насиченості доріг рухомим складом при розробці нових моделей шин все більш гостріше постають питання поліпшення їх екологічних показників і забезпечення безпеки руху.

Вирішення цих завдань досягається, зокрема, шляхом застосування більш досконалих матеріалів, зменшенням вмісту гуми в каркасі, підвищенням міцності корду, зниженням кількості шарів каркасу,

поліпшенням зв'язку корду з гумою, створенням шин з малою висотою і великою шириною профілю; поліпшенням малюнків протектора, зменшенням внутрішніх втрат у шині [2].

Серед перерахованих шляхів, найбільш перспективними є напрями розвитку конструкції шин, пов'язані зі зменшенням витрат енергії на кочення шини, підвищенням їх тягово-зчіпних якостей і стійкості руху автомобілів.

Підвищення вимог екологічної безпеки автомобіля, в першу чергу, пов'язано зі зменшенням шкідливих викидів в атмосферу. Вагомим внеском у розв'язання цієї проблеми є зниження витрати палива за рахунок зменшення енергетичних втрат в шинах. Експериментально показано, що зменшення опору коченню шин на 10% дає економію палива в середньому 3%; на думку фахівців фірми Michelin, вже при швидкості 100 км/год сила опору коченню шин становить 20% всіх сил опору [3]. Тому зниження опору коченню шини є одним з пріоритетних напрямків вдосконалення конструкції автомобільної шини.

Як видно з графіка, що представлений на рис. 1, одна лише заміна шин діагональної конструкції на радіальну дозволила знизити опір кочення майже на 30%. Зниження стало можливим за рахунок зменшення кількості шарів каркаса шини, зміни розташування ниток корду і зниження товщини протектора (рис 2).

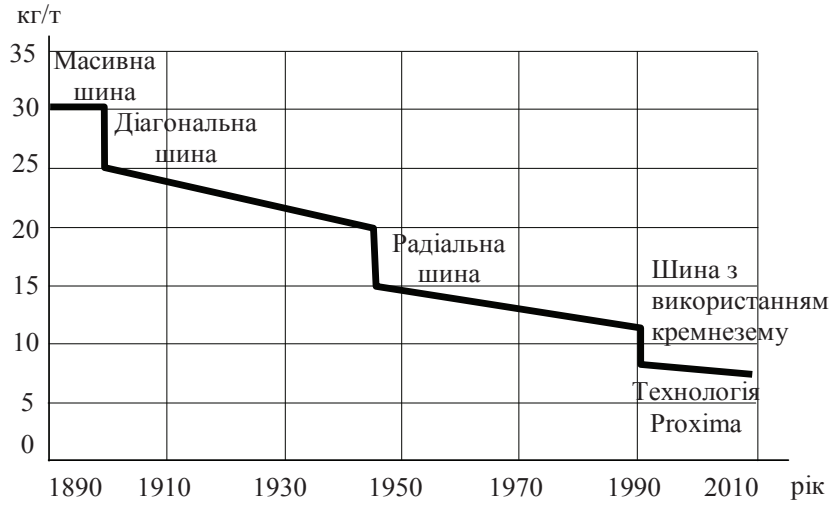


Рис. 1. Тенденція зміни величини опору коченню шини легкового автомобіля

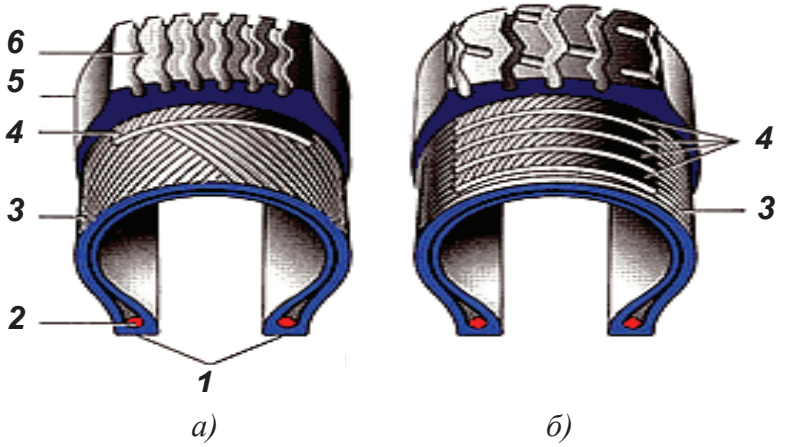


Рис. 2. Конструкція діагональної (а) та радіальної (б) шин:

1 — борт; 2 — бортова проволока; 3 — каркас; 4 — брекер; 5 — боковина; 6 — протектор

Наступні етапи зниження опору коченню шини пов'язані зі впровадженням нових матеріалів протектора, які мають менші гістерезисні втрати при розтягуванні і стисненні, але забезпечують хороше зчеплення з дорогою. Все частіше замість традиційного каучуку використовуються силіконові компаунди, що забезпечують краще зчеплення з дорожнім покриттям, особливо на мокрій дорозі.

На сьогоднішній день шини автомобіля не просто рушій, а один з найбільш важливих компонентів його активної безпеки, тому виробники шин приділяють велику увагу тим властивостям автомобільних шин, що дозволяють значно підвищити рівень безпеки експлуатації сучасного автомобіля.

Високий коефіцієнт зчеплення шин з дорогою — гарантія у багатьох випадках безпечного руху автомобіля. Дослідження [4–7] показали, що коефіцієнт зчеплення на мокрому дорожньому покритті залежить значною мірою від складу гуми протектора, його малюнка і тиску в шині. Крім того, для забезпечення оптимального коефіцієнта зчеплення, склад гум протектора літніх і зимових шин підбирається під відповідні температури експлуатації. Склад гум літньої шини підібрано таким чином, щоб вона не ставала дуже м'якою при підвищенні температури, це зменшує її ресурс, а склад гум зимової шини навпаки, розрахований на низькі температури, щоб зберігав потрібну м'якість навіть в холод.

Рисунок і конструкція протектора визначається вимогами до відведення води і бруду з канавок протектора, прагненням знизити шум при кочінні і забезпеченням кращої стійкості руху. Прагнення конструкторів шин задовольнити всі вище перелічені та суперечливі між собою вимоги призвело до виникнення спеціалізації шин. Результатом чого є розробка зимових, спрямованих і асиметричних шин (рис. 3), які як за малюнком протектора, так і за складом гуми призначені для певних умов експлуатації.

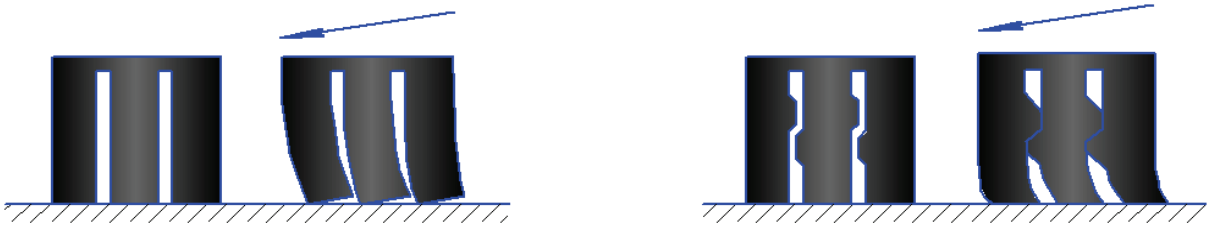
а) *б)* *в)*

Рис. 3. Види рисунків протектора:

а — зимовий; б — спрямований, в — асиметричний

Найважливішою складовою безпеки експлуатації автомобіля є його висока курсова стійкість руху (КСР), оскільки втрата КСР автомобіля призводить до втрати коридору його руху і часто пов'язана з виїздом на зустрічну смугу руху. Забезпечення високих показників КСР тісно пов'язано як з величиною площі контакту шини з дорогою, так і з характером розподілу сил у плямі контакту [8,9].

Прикладом досягнення оптимальних характеристик плями контакту може бути розробка складної конструкції ламелів протектора (рис. 4), яка дозволяє шині легко деформуватися і створювати максимальну площу плями контакту (рис. 5). Крім відмінних зчіпних властивостей (особливо на мокрій дорозі) ця підвищена жорсткість забезпечує більшу точність управління і повну однорідність розподілу тиску в плямі контакту [10].



а) *б)*

Рис. 4. Конструкція ламелів протектора:

а) класична — ламелі підвищують зчеплення з мокрою дорогою, але знижують точність управління,
б) самоблокуючі — ламелі зчіплюються між собою, забезпечуючи велику жорсткість конструкції

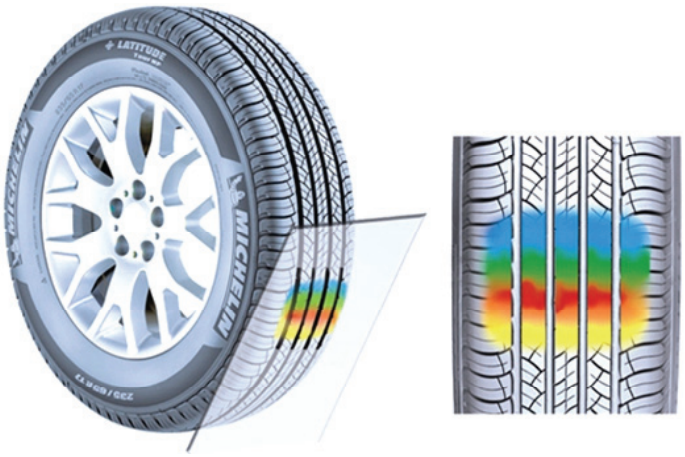
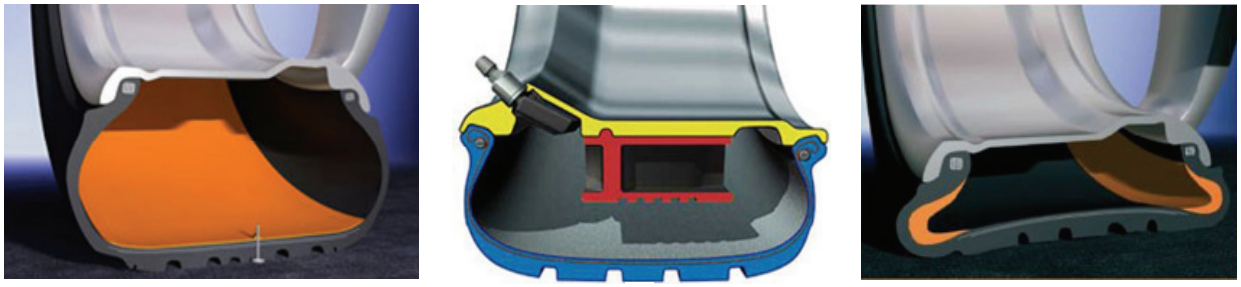


Рис. 5. Пляма контакту шини з ламелями що самоблокуються

Ще одним напрямком підвищення безпеки руху є розробка шин, які не бояться проколів. Однією з вимог до конструкцій таких шин є умова забезпечення руху на пошкодженій шині, не втрачаючи комфорту руху і надійності. На сьогоднішній день є три технології, що дозволяють автомобілю зберігати здатність рухатися після проколу колеса — самогерметизації (рис. 6а), системи додаткової підтримки (рис. 1.6 б) і самопідтримки (рис. 1.6 в). У кожної шинної компанії своє позначення таких шин: Bridgestone RFT-RunFlatTire, Dunlop DSST-Dunlop Self-Supporting Technology, Michelin ZP-Zero Pressure, Pirelli RFT-Run Flat Technology. Узагальнюючим терміном визначення перелічених технологій є термін Run Flat.



а) *б)* *в)*

Рис. 6. Перетини основних конструкцій безпечних шин

Забезпечення самогерметизації шин досягається шляхом нанесення на внутрішню сторону шини в'язкого і липкого матеріалу, який вмить затягує пошкодження діаметром до 5 мм.

Технології самопідтримки засновані на концепції використання посилених боковин шини. Спеціальна конструкція боковини і шар для відводу високої температури витримує вагу автомобіля і знижує зростання температури при падінні тиску в шині та дозволяє продовжити рух після втрати повітря з шини. Кріплення закраїн нерухомо тримає шину на ободі диска, дозволяє водієві зберегти контроль над транспортним засобом при продовженні руху.

Системи додаткової підтримки являють собою різноманітні конструкції підтримуючих кілець, які монтуються безпосередньо на обід. У випадку ж різкої або поступової втрати, кільце буде підтримувати шину, при цьому маневреність автомобіля залишиться на колишньому рівні.

Однак з міркувань безпеки, покришки Run Flat можуть встановлюватися тільки на автомобілях з системою управління стабільності водіння (ESP) і датчиком тиску повітря, вбудованим в інформаційну систему автомобіля, що попереджає про зміну тиску повітря в шинах [11].

Рис. 7. Типорозмір шини:

B — ширина профілю шини; h — висота профілю; d — монтажний діаметр обода

Найбільші сподівання в досягненні високих екологічних показників автомобілів та дотримання жорстких вимог до безпеки їх руху виробники шин пов'язують зі зменшенням висоти профілю шин при збереженні ширини і одночасному збільшенні посадкового розміру (рис. 7). Така тенденція зберігається протягом всієї еволюції автомобільного колеса (рис. 8) [12]. Це пов'язано з тим, що низькопрофільні шини забезпечують найкращі показники зносостійкості протектора, керованості, стійкості і паливної економічності автомобіля на рівних дорогах у порівнянні зі звичайними радіальними шинами. Крім того, це робить можливим встановлення гальмівних механізмів більшого діаметру, що необхідно у світлі зростання потужностей моторів і швидкостей автомобілів [13].

Ступінь низькопрофільності шини оцінюється «профільним числом» — відсотковим відношенням висоти профілю шини до її ширини B/h. На рис. 9 наведено перетини шин з профільними числами від 80 до 40. При заміні звичайної шини на низькопрофільну зовнішній діаметр повинен бути збережений незмінним, оскільки з урахуванням цього діаметра розраховується передавальне відношення трансмісії автомобіля. Тому низькопрофільна шина повинна монтуватися на обід більшого діаметра.

Однак, ті ж виробники автомобільних шин гарантують отримання переваг низькопрофільних шин лише для автомобілів, що проектуються під низькопрофільні шини. Досвід експлуатації низькопрофільних шин на автомобілях, які проектувалися для експлуатації з шинами більш високого профілю має ряд негативних результатів, які наводяться нижче.

1. Через менший об'єм шини, що припадає на одиницю площі поверхні шини й підвищений тиск, падіння тиску внаслідок дифузії повітря або азоту через матеріал шини буде більш інтенсивним, ніж у звичайних шин. Тому для забезпечення безпеки руху низькопрофільні шини вимагають більш частого контролю тиску.

2. Значне зниження комфортабельності руху (особливо по дорогах невисокої якості), за рахунок зниження згладжуючої здатності шини, яка залежить від довжини відбитка шини. Також при їзді по дорогах невисокої якості знижується їх довговічність.

3. Низькопрофільні шини, при наявності на дорозі шару води, більш схильні до аквапланування — порушення зчеплення з поверхнею дороги.

4. Зниження величини стабілізуючого моменту, що призводить до погіршення «почуття керма» і може призвести до раптової втрати зчеплення з дорогою в бічному напрямку при русі по криволінійній траєкторії на великій швидкості.

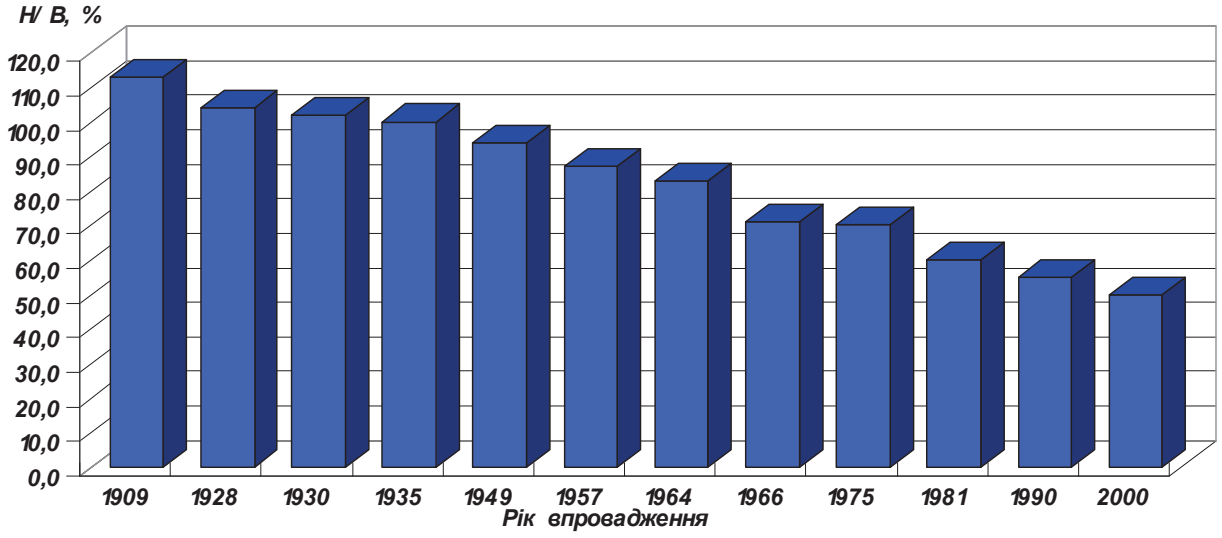


Рис. 8. Тенденція зміни відношення *B/h* шини легкового автомобіля

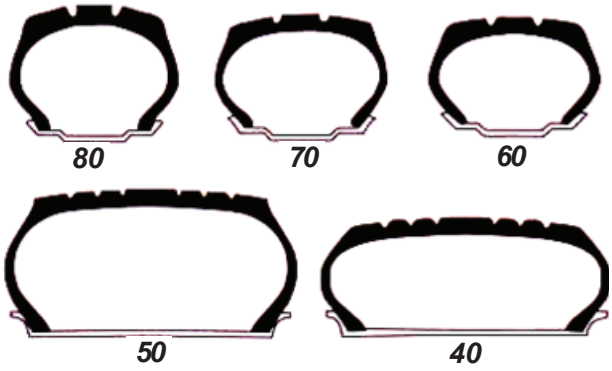


Рис. 9. Перетини шин серій 80–40:

серії 80 — звичайна радіальна; серії 70–60 — низькопрофільні; серії 50–40 і нижче — зверхнизькопрофільні

Висновки

Виходячи з вищенаписаного, можна зробити однозначний висновок про те, що рішення задачі переоснащення автомобілів шинами нижчого профілю представляє велику цікавість для досліджень. Головним чином це пов'язано з перерозподілом сил у плямі контакту і зміною характеристик бічного відведення колеса, які є визначальними параметрами курсової стійкості руху автомобіля і забезпечення безпеки його руху.

Список літератури

1. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин/Б.Л. Бухин. — М.: Химия, 1988. — 224 с.

2. Бакфиш К. Новая книга о шинах/К. Бакфиш, Д. Хайнц. — М.: ООО «Изд-во Астрель»: ООО «Изд-во АСТ», 2003. — 303 с.

3. Карин П. Курсовая работа/П. Карин // Авто-ревю. — 2005. — № 15. — С. 84–86.
4. Работа автомобильной шины/[под ред. В.И. Кнороза]. — М.: Транспорт, 1976. — 238 с.
5. Немчинов М.В. Сцепные свойства дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля/ М.В. Немчинов. — М.: Транспорт, 1985. — 231 с.
6. Запорожцев А.Н. Износ шин и работа автомобиля/А.Н. Запорожцев, Е.В. Кленников. — М.: НИИНАвтопром, 1971. — 52 с.
7. Бидерман В.Л. Автомобильные шины/В.Л. Бидерман. — М.: Госхимиздат, 1963. — 383 с.
8. Говорущенко Н.Я. Обеспечение безопасности движения на автомобильном транспорте/Н.Я. Говорущенко, В.П. Волков, И.К. Шаша. — Х.: Изд-во ХНАДУ, 2007. — 361 с.
9. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта/Б.Е. Боровский. — Л.: Лениздат, 1984. — 305 с.
10. Растегаев О. Преимущество: ресурс/О. Растегаев // Авто-ревю. — 2006. — № 6. — С. 86–87.
11. www.krainashin.com.
12. Кнороз В.И. Шины и колеса/В.И. Кнороз, Е.В. Кленников. — М.: Машиностроение, 1975. — 1984 с.
13. Современное направление развития конструкций шин — создание все более низкопрофильных шин/В. Гудков, И. Рябов, М. Гасанов [та ін.] // Шина плюс. — 2010. — №2. — С. 9 – 11.

Аннотация. *В статье выполнен анализ этапов развития конструкций автомобильных шин, определены перспективные направления их усовершенствования. Приведены необходимые рисунки, которые иллюстрируют устройство шин и рисунки протектора. Определены преимущества и недостатки низкопрофильных шин.*

Abstract. *In the article the analysis of development stages of automobile tires design are made, perspective directions of their improvement are defined. Necessary drawings illustrating the tires device and tread patterns are brought. Advantages and disadvantages of low-profile tires are defined.*

Стаття надійшла до редакції 21.12.2010 р.

УДК 629.113.002.3.004

ГОРОЖАНКИН С.А., д.т.н., проф., САВЕНКОВ Н.В., студент,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ И БЕССТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСМИССИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

Разработан метод оптимизации путевого расхода топлива автомобиля с бесступенчатой коробкой передач при его движении с постоянной скоростью. Это позволяет выбрать оптимальные режимы работы двигателя и соотношения передаточных чисел трансмиссии с учётом условий движения.

Постановка проблемы

Известно, что с увеличением скорости движения автомобиля, мощность суммарной силы сопротивления возрастает, обуславливая необходимость увеличения мощности двигателя. Если автомобиль оборудован ступенчатой трансмиссией, то скорость движения пропорционально связана с частотой вращения коленчатого вала, а требуемая мощность обеспечивается за счёт изменения нагрузки на двигатель. В случае оснащения транспортного средства бесступенчатой трансмиссией, требуемую мощность, независимо от скорости движения, обуславливает изменение как частоты так и нагрузки двигателя. Оптимизация режимов работы двигателя и трансмиссии по критерию путевого расхода топлива в процессе движения автомобиля с

постоянной скоростью и переменной мощностью сопротивления позволит увеличить средний эксплуатационный КПД ДВС и, соответственно, выполнить анализ эффективности применения бесступенчатой трансмиссий, в качестве примера, для конкретного автомобиля.

Последние достижения

В настоящее время установилась тенденция по увеличению доли производства автомобилей с автоматическими бесступенчатыми коробками передач. Трансмиссии данного типа сочетают в себе комфортность управления, которая характерна для автоматических коробок передач (АКП), и относительное улучшение динамических качеств и топливной экономичности, что обуславливается более высоким средним эффективным КПД двигателя за счёт отсутствия линейной зависимости частоты вращения коленчатого вала и скорости движения транспортного средства, что обеспечивается относительно большой плотностью ряда передаточных отношений [1].

В классической теории автомобиля [2] рассматривается метод расчёта топливной экономичности автомобиля как на режиме внешней, так и на режимах частичной скоростной характеристики [3]. Данный расчёт обуславливает определение зависимостей топливной экономичности автотранспортного средства, оснащённого механическими, гидромеханическими либо автоматическими коробками передач ступенчатого типа. При таких трансмиссиях силовой агрегат автомобиля имеет только один параметр, с помощью которого обеспечивается изменение динамического фактора на соответствующей передаче и при соответствующей скорости, — коэффициент нагружения двигателя. Если силовой агрегат оснащён бесступенчатой трансмиссией, то таких параметра два — коэффициент нагружения двигателя и передаточное отношение. Таким образом, для того чтобы выполнить расчёт топливной экономичности автомобиля, оснащённого таким типом трансмиссии, необходимо сначала решить задачу оптимизации режимов работы двигателя и вариатора.

Цель статьи

Целью исследования является разработка методики оптимизации режимов работы двигателя и бесступенчатой трансмиссии при движении автомобиля с постоянной скоростью. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: на основе технических характеристик и экспериментальных данных провести систематические исследования влияния передаточного отношения коробки передач и нагрузки на двигатель на топливную экономичность автомобиля при его движении с постоянной скоростью и дать рекомендации, позволяющие обеспечить относительное снижение потребления топлива в процессе равномерного движения.

Основной раздел

Для исследований в качестве примера выбраны и рассмотрены параметры конкретного автомобиля, для которого получены численные рекомендации, обеспечивающие экономию топлива. В качестве критерия оптимизации, по которому определяется сравнительная эффективность процессов разгона, принята масса топлива, затраченная автомобилем при прохождении им определённого расстояния.

На рис. 1 и 2 изображены частотно-нагрузочные зависимости эффективной мощности и КПД ДВС соответственно (в качестве примера рассмотрен двигатель ЗМЗ–402).

На приведенных графиках координатные оси горизонтальной проекции обуславливают частоту вращения ДВС n, мин-1 и нагрузочный коэффициент k, определяющий долю нагрузки двигателя при частоте n по отношению к максимальной на этой частоте. Функция, представленная на рис. 2 получена квадратичной аппроксимацией на основании экспериментальных данных [4].

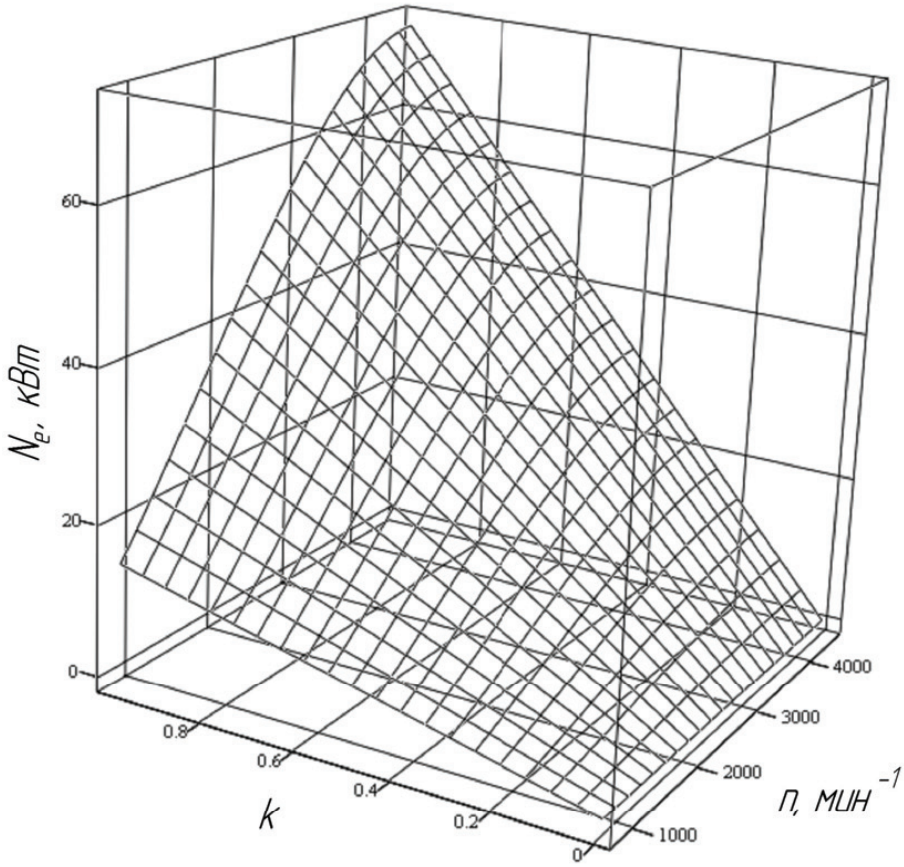


Рис. 1. Зависимость эффективной мощности ДВС ЗМЗ–402 от частоты вращения и нагрузки

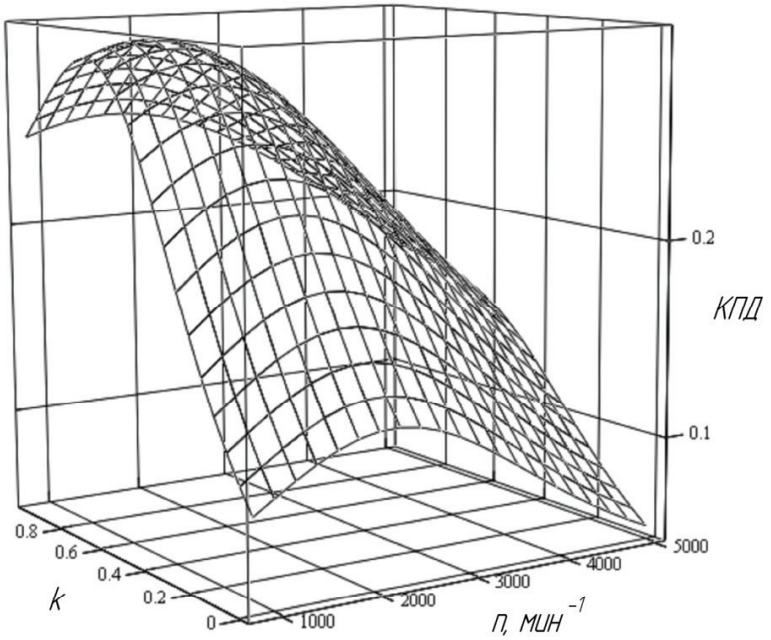


Рис. 2. Зависимость КПД ДВС ЗМЗ–402 от частоты вращения и нагрузки

Известно, что при установившемся режиме движения автомобиля, эффективная мощность ДВС равна суммарной мощности всех сил сопротивления и пропорциональна скорости АТС. На рис. 3 приведена зависимость данной мощности от скорости движения [2] при различном продольном уклоне дороги.

В качестве примера рассмотрено движение автомобиля ГАЗ 3302, полной массой 3,5 т, с постоянной скоростью, по горизонтальному участку шоссе.

На рис. 4 изображена горизонтальная проекция поверхности (рис. 1) с нанесёнными на ней линиями равной мощности. Номинальной мощностью двигатель обладает только лишь при одном сочетании параметров n и k ($n = n_{ном} = 4500$ мин$^{-1}$ для ДВС ЗМЗ–402, $k = 1$, т.е. полностью открытая дроссельная заслонка). Для всего остального диапазона между граничными значениями для каждой линии постоянной мощности существует множество сочетаний параметров n и k, которое увеличивается по направлению к средним значениям мощности ДВС и уменьшается к граничным. При определённом значении мощности, при каждом сочетании частоты вращения и нагрузки, ДВС обладает различным удельным расходом топлива и, соответственно, КПД, рис. 2. Таким образом, с целью получения максимально возможного КПД для каждого значения мощностного диапазона ДВС, можно оптимизировать сочетание параметров n и k. Результатом решения данной задачи для ДВС ЗМЗ–402 является приведенная на рис.5. кривая 1, которая пересекает линии мощности 20 кВт, 40 кВт и 60 кВт в точках А, В, С, при которых сочетание частоты вращения и нагрузки обуславливает максимальный КПД. Таким образом, каждое значение мощности ДВС обладает различным максимальным КПД (рис. 6) и сочетанием параметров n и k при нём (рис. 7). Таким образом, зависимости, приведенные на рис. 7 дают возможность определить такие эксплуатационные режимы двигателя на всём диапазоне мощности, при которых его КПД максимален.

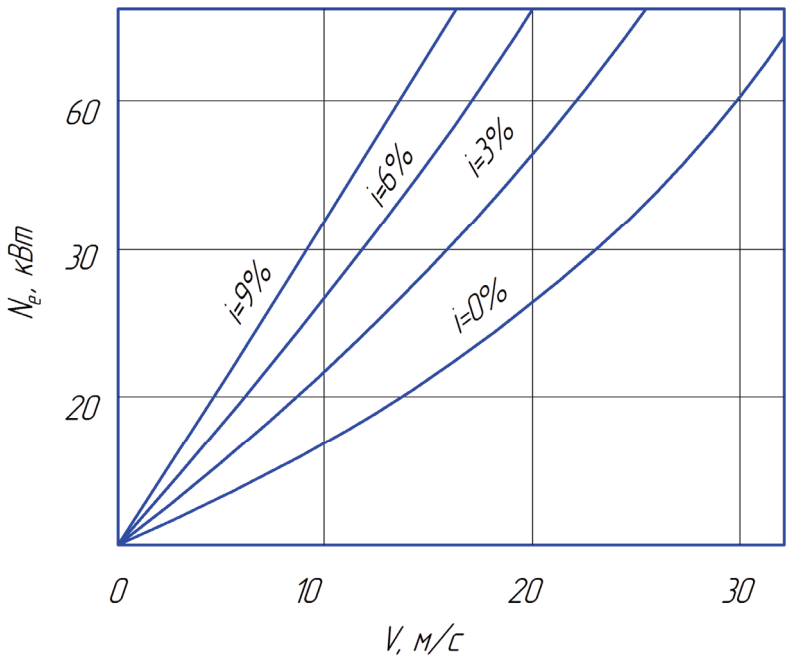


Рис. 3. Зависимость мощности суммарной силы сопротивления движению автомобиля ГАЗ 3302 от скорости движения по шоссе с различными уклонами дорожного полотна

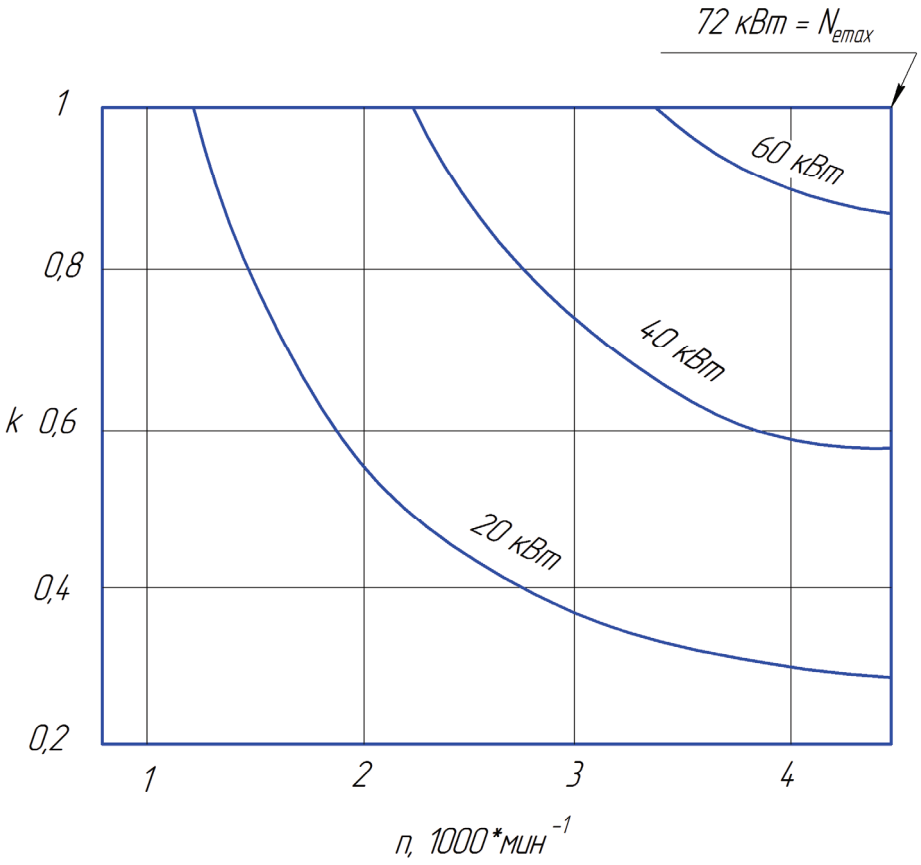


Рис. 4. Зависимость коэффициента нагрузки от частоты вращения ДВС для линий постоянной мощности

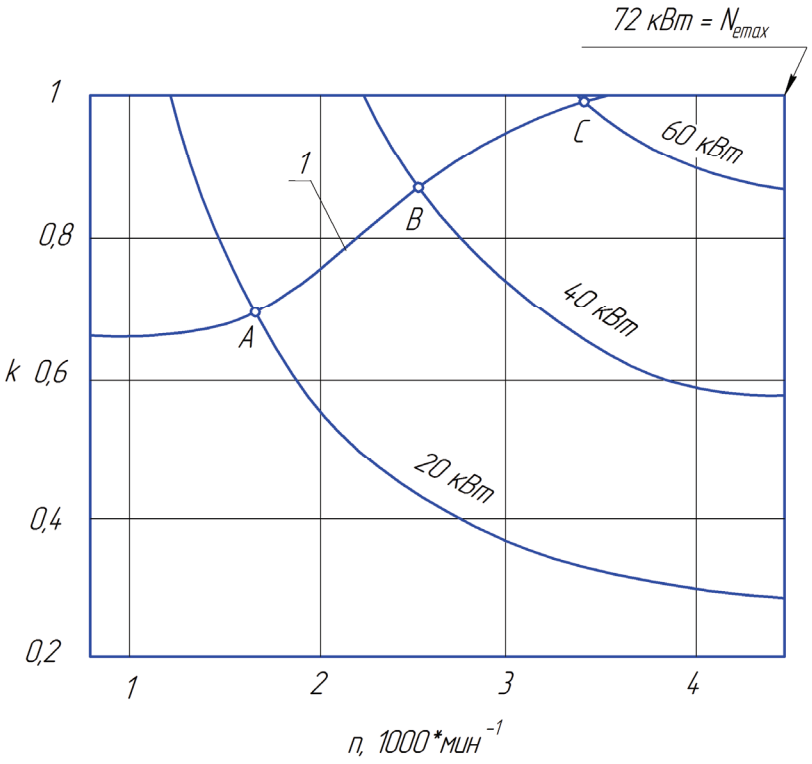


Рис. 5. Результаты оптимизации параметров *n* и *k* по критерию максимального КПД для диапазона мощности ДВС ЗМЗ-402

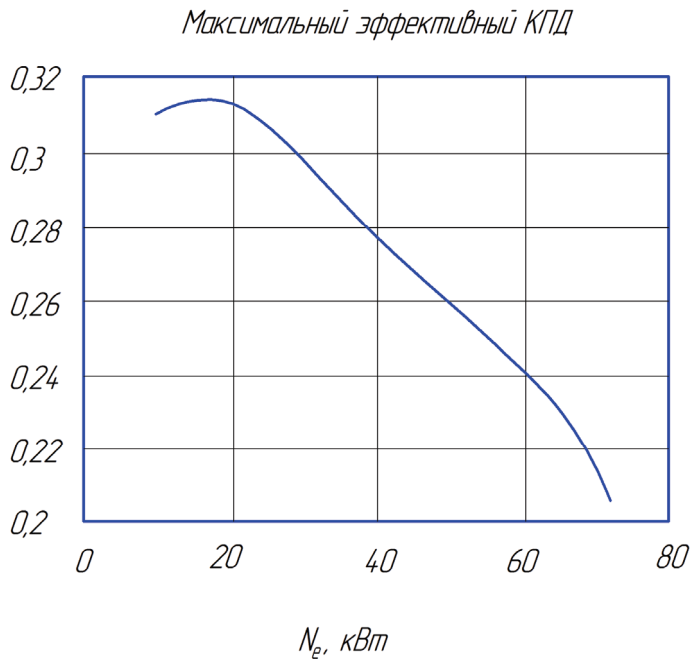


Рис. 6. Зависимость максимального КПД ДВС от эффективной мощности

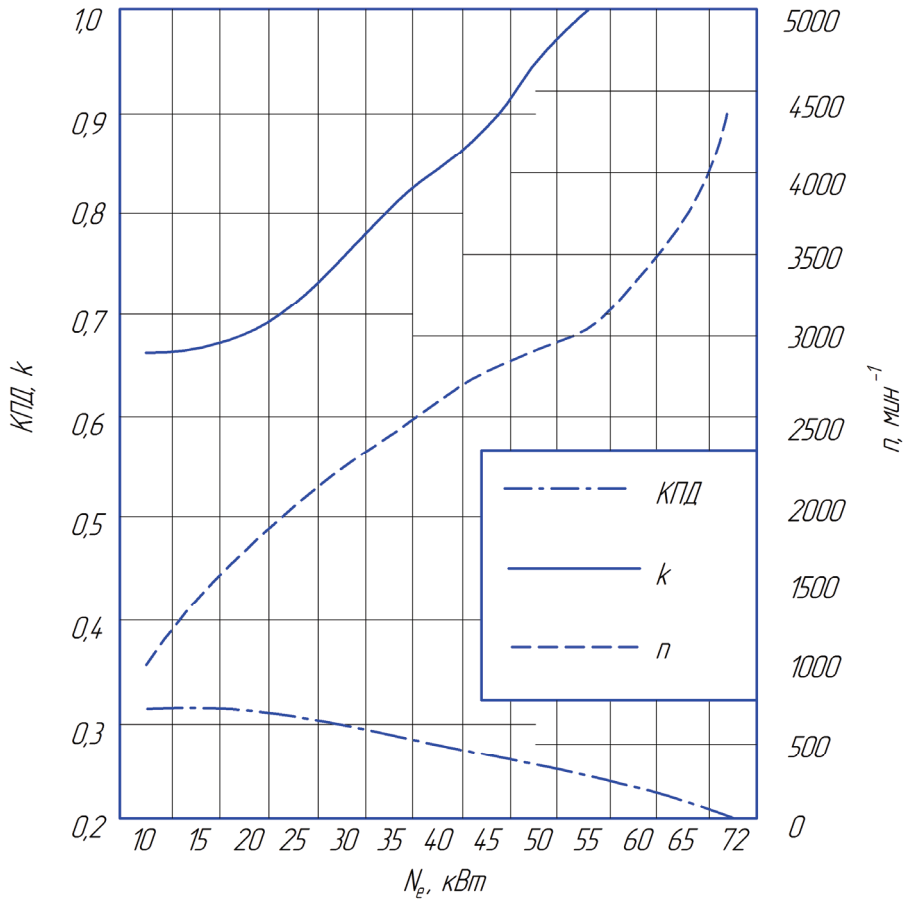


Рис. 7. Зависимость параметров *n* и *k* при функции максимального КПД от эффективной мощности ДВС

Известно, что величина путевого расхода топлива представляет собой функцию количества топлива, затраченного автомобилем на определённый участок пути, в зависимости от скорости движения. С учётом низшей теплоты сгорания топлива можно выразить его расход через затраченную автомобилем работу с учётом КПД двигателя и трансмиссии. Величина m_{al} является оценочным критерием топливной экономичности [5, с 43] и для равномерного движения автомобиля определяется зависимостью:

$$m_{al} = \frac{A}{H_U} = \frac{N_{eC} \cdot t_n}{\eta \cdot H_U}, \qquad (1)$$

где A – работа, затраченная автомобилем при прохождении расстояния S_0 с постоянной скоростью, N_{eC} — мощность суммарной силы сопротивления движению (рис. 4), равна мощности ДВС (т.к. рассматривается установившийся режим), t_n — время, в течении которого автомобиль преодолевает фиксированное расстояние S_0 [5, с. 43], η — максимальный КПД ДВС, при мощности N_{eC} (рис. 6).

Величину A можно представить в следующем виде:

$$A = \frac{A_C}{\eta}, \qquad (2)$$

где A_C — работа сил сопротивления.

Т.к. величина A_C представляет собой произведение суммарной силы сопротивления движению на путь, пройденный автомобилем (S_0), то, очевидно, что с увеличением скорости движения сила сопротивления возрастает, что при постоянном значении S_0 вызывает рост величины A_C. Таким образом, с увеличением скорости движения, работа суммарной силы сопротивления также возрастает. Величина A изменяется прямо пропорционально A_C и обратно пропорционально η. На рис. 8 приведена зависимость критерия m_{al} от скорости движения автомобиля. Кривая 1 на графике соответствует движению с постоянной скоростью автомобиля ГАЗ 3302 с бесступенчатой трансмиссией, которая совместно с ДВС управляется согласно оптимизированных функций нагрузки, частоты (рис. 7) и передаточного числа (рис. 8, зависимость 2), кривые 2, 3, 4, 5 на графике (рис. 8) соответствует также движению с постоянной скоростью этого автомобиля со ступенчатой коробкой передач (номер кривой соответствует номеру передачи в КПП).

Согласно рис. 8, минимальным путевым расходом топлива автомобиль обладает при малой скорости движения (8 м/с). Рост критерия в направлении уменьшения скорости обусловлен снижением максимального КПД ДВС (рис. 6), а в направлении увеличения — возрастающей мощностью суммарной силы сопротивления движению.

Кривая 1 на рис. 8 почти совпадает с функцией путевого расхода топлива (зависимость 5) для 5-й передачи в случае оснащения автомобиля стандартной для него ступенчатой КПП. Что подтверждается похожими функциями передаточных отношений, приведенных на рис. 9. На рисунке пунктирной линией изображена зависимость передаточного отношения вариатора от скорости движения при минимальном путевом расходе топлива, сплошной линией — передаточное число пятой передачи КПП (0,849).

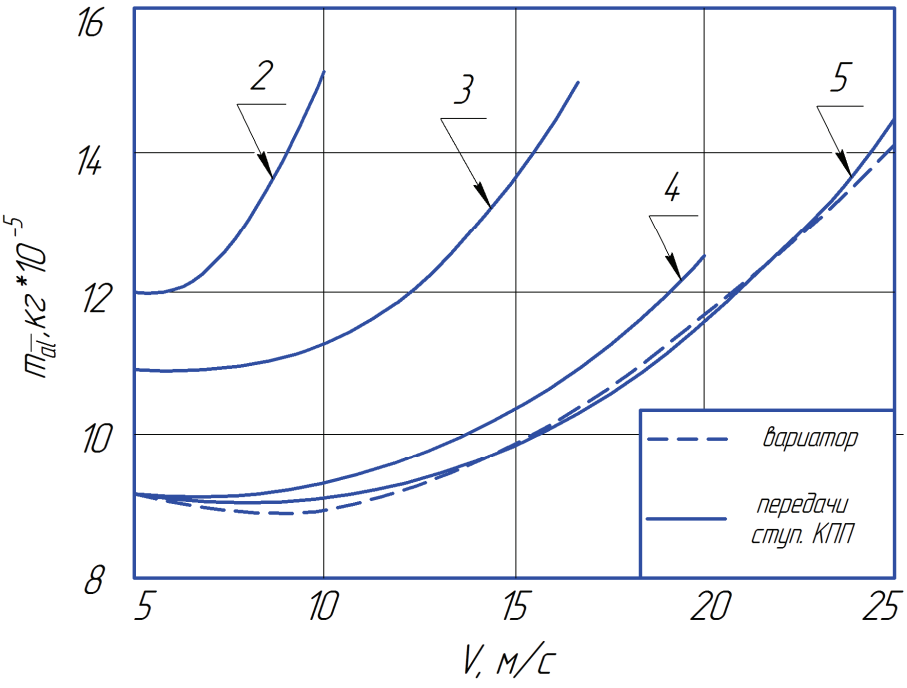


Рис. 8. Зависимость путевого расхода топлива от скорости равномерного движения для автомобиля ГАЗ 3302 со ступенчатой КПП и с вариатором

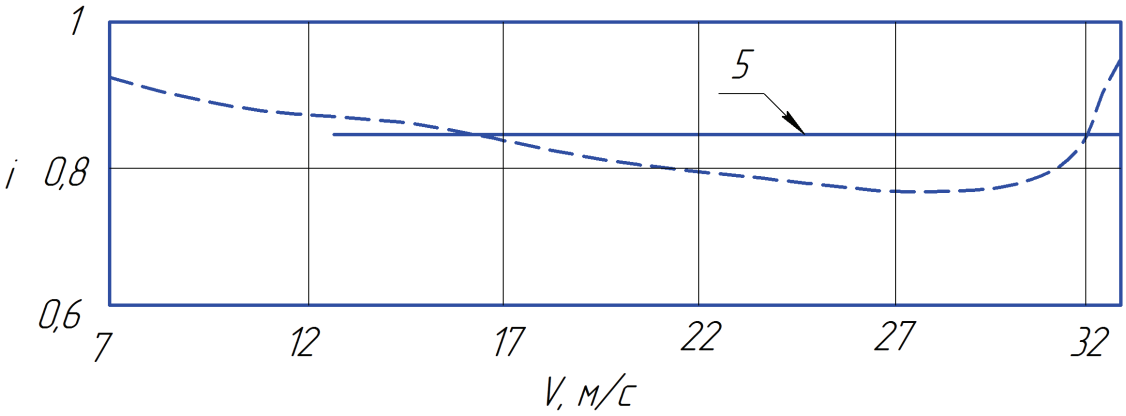


Рис. 9. Зависимость передаточного отношения вариатора от скорости равномерного движения автомобиля ГАЗ 3302 при минимальном путевом расходе топлива

Очевидно, что данное совпадение для рассматриваемого транспортного средства обуславливается оптимизацией передаточного отношения 5-й передачи КПП для движения автомобиля с полной массой с равномерной скоростью при минимальном путевом расходе топлива. В этом случае значительной экономической эффективности от применения бесступенчатой трансмиссии на данном автомобиле практически нет (3–5%).

Рассмотрим движение транспортного средства с равномерной скоростью на подъём при продольном уклоне дороги в 3%. Функции путевого расхода топлива в данных условиях приведены на рис. 10.

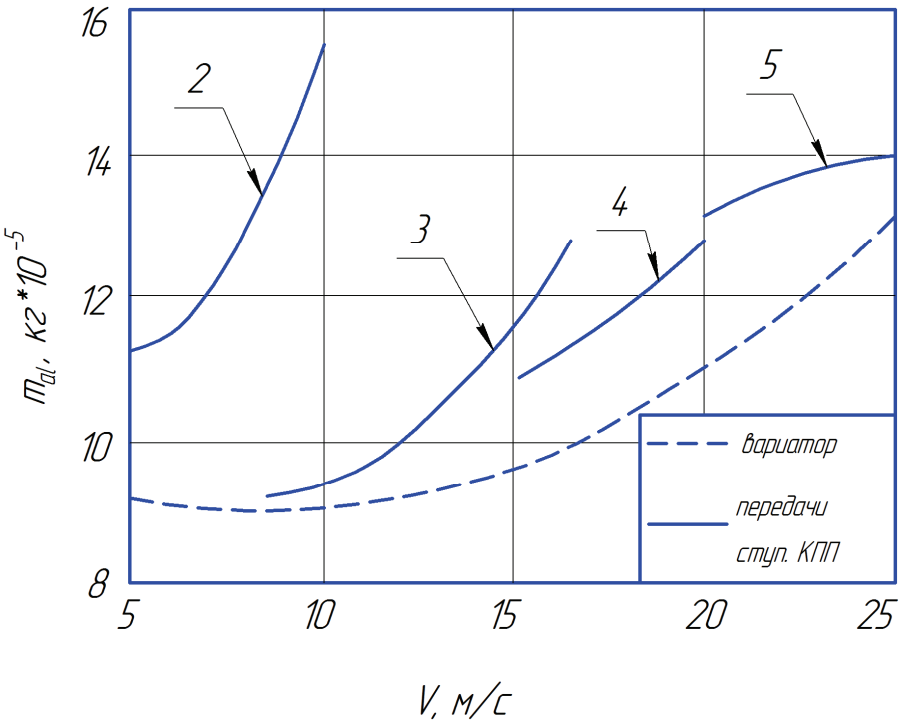


Рис. 10. Зависимость путевого расхода топлива от скорости равномерного движения автомобиля ГАЗ 3302 при преодолении подъёма в 3%

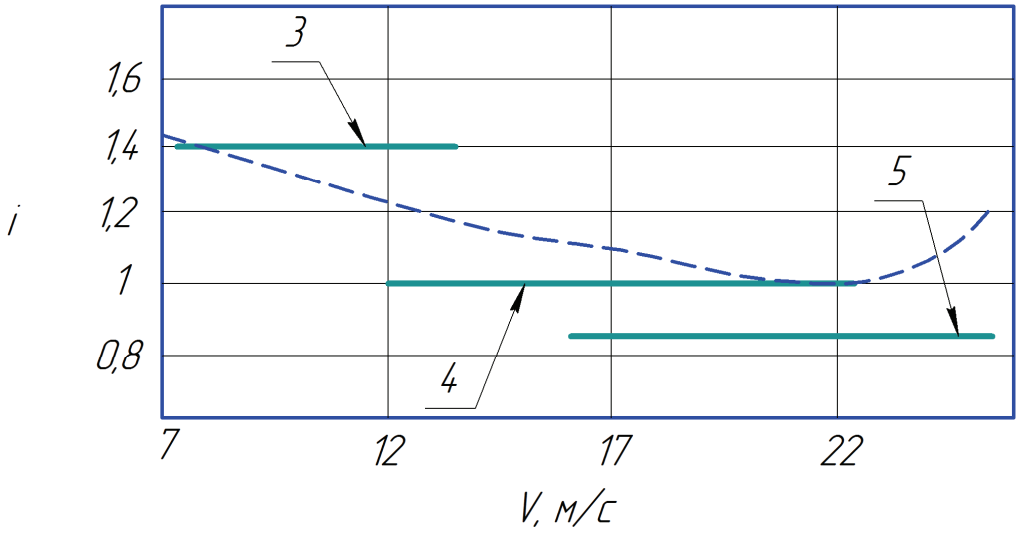


Рис. 11. Зависимость передаточного отношения вариатора от скорости равномерного движения автомобиля ГАЗ 3302 при преодолении подъёма в 3%

Применение силовых агрегатов, включающих в себя ДВС и вариатор, и систем их оптимизированного управления на автомобилях позволяет значительно улучшить топливную экономичность и повысить динамические качества транспортного средства [6].

Эффективность применения вариаторов во многом зависит от функции их КПД и максимальной величины передаваемого крутящего момента, скорости изменения передаточного отношения, его диапазона. В проведенном исследовании не рассматривался конкретный тип данного устройства, в расчётах применялась величина рабочего диапазона (порядка 3-х единиц, как у вариатора типа CVT) и величина его КПД, составляющая 0,9 и принятая постоянной.

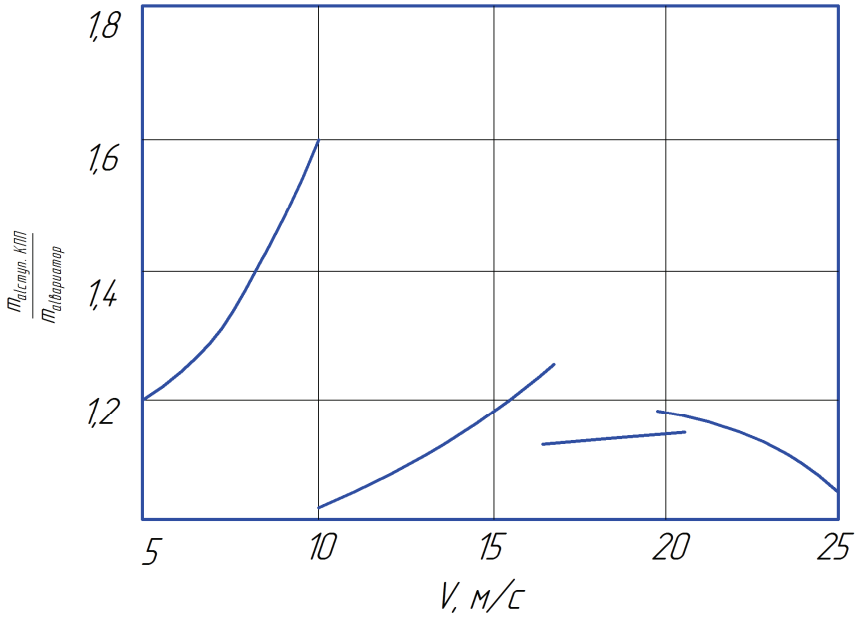


Рис. 12. Относительная эффективность применения ДВС с вариатором и оптимизированным управлением для автомобиля ГАЗ 3302 при равномерном движении на подъём в 3%

Согласно рис. 10, преимущество бесступенчатой трансмиссии очевидно. Относительная эффективность применения ДВС с вариатором и с оптимизированным управлением для рассматриваемого случая приведена на рис. 12.

Выводы

Результаты работы наглядным образом демонстрируют зависимость путевого расхода топлива от нагрузки двигателя и функции передаточного отношения при движении транспортного средства с постоянной скоростью в различных дорожных условиях.

Одним из способов улучшения топливной экономичности автомобиля следует считать контроль и управление его динамикой разгона.

Очевидно, что на примере рассматриваемого автомобиля (с бесступенчатой трансмиссией), самым экономичным режимом разгона до конечной скорости, обладающей большим путевым расходом топлива, от скорости с меньшим, будет такой, при котором ускорение автотранспортного средства стремится к нулю.

Рассмотренный в работе и предложенный для расчётов метод предлагается для исследований режимов движения других автотранспортных средств с учётом их динамических свойств.

Результаты могут быть использованы для созданная программ электронных блоков управления двигателем и автоматическими КПП, в т.ч. вариаторами.

Список литературы

1. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. — М.: ООО «Издательство Астрель», 2003. — 479, [1] с.: ил.

2. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: учебник для вузов. — Мн.: Выш. шк., 1986. — 208 с.

3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/[Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Иван и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. — [4-е изд.], — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с., ил.

4. Автомобиль: теория и эксплуатация. М.: МАМИ, 1981. — 70 с.

5. Горожанкин С.А. Метод оптимизации путевого расхода топлива автомобиля на заданной дистанции/ С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков // Вісник СНУ імені Володимира Даля. — 2009. — № 11 (141).

6. Горожанкин С.А. Метод оптимизации путевого расхода топлива автомобиля на заданной дистанции/ С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков // Вісник СНУ імені Володимира Даля. — 2010. — № 6 (148).

7. Волков В.П. Теория експлуатационных свойств автомобиля: учебн. пособие. — Х.: ХНАДУ, 2003. — 292 с.

8. Литвинов А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств/ А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». — М.: Машиностроение, 1989. –240 с.

Abstract. *A computing method of itinerary fuel consumption of a car with continuously variable transmission as it moves with constant velocity. This allows you to select the optimal modes of operation of the engine and gearing ratio of transmission based on traffic conditions.*

Анотація. *Розроблено метод оптимізації шляхової витрати палива автомобіля з безступінчатою трансмісією при його русі з постійною швидкістю. Це дозволяє вибрати оптимальні режими роботи двигуна і співвідношення передавальних чисел трансмісії з урахуванням умов руху.*

Стаття надійшла до редакції 20.12.2010 р.

УДК 621.3

КУЦЬ Н.Г., к.т.н., доц., Луцкий национальный технический университет

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

Разработана новая молекулярно-кинетичекая теория работы дизеля, которая позволила произвести полный расчет индикаторной диаграммы, разработать алгоритм и программные документы для компьютерного моделирования замкнутых термодинамических циклов, выполнить научно-технический сравнительный анализ различных энергетических параметров работающего дизеля и определить основные требования, предъявляемые к такому двигателю.

Постановка проблемы

Дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) широко используются в различных транспортных системах. Работа ДВС описывается законами термодинамики. При создании конкретных конструкций двигателей термодинамический подход не состоятельный. Пришлось каждую конструкцию разрабатываемого двигателя испытывать на специальных стендах, строить индикаторные диаграммы, по которым двигатель дорабатывался до оптимальной конструкции. Компьютерной техники для выбора оптимальной конструкции недостаточно: не ясно как горит топливо и какие возникают процессы взаимодействия горючей смеси со стенками камеры сгорания (КС). Поэтому, остается удивительным, что теория горения углеродно-водородных топлив, разработанная профессором Гречихиным Л.И. [2], остается в тени и не применяется на практике.

Цель работы

Разработать молекулярно-кинетическую теорию с учетом кинетики горения углеродно-водородных топлив, разработанной профессором Гречихиным Л.И., и взаимодействия плазменного состояния вещества со стенками камеры сгорания на основе современных представлений о кластерном строении твердого тела применительно к дизелю.

Задачи работы

Разработать математический аппарат молекулярно-кинетического анализа термодинамического цикла работающего дизеля; создать алгоритм и программные документы анализа работы такого ДВС; провести научно-технический сравнительный анализ работы дизеля; выработать основные требования к конструктивным элементам, обеспечивающим оптимальную работу дизеля.

Основная часть

Молекулярно-кинетическая теория дизеля. Рассмотрим, как изменяются давление и температура воздушно-топливной смеси во втором и третьем тактах с учетом горения топлива. Топливо в процессе горения проходит три стадии: первая — газификация жидких капель топлива с выделением горючих газов с их разложением и образованием молекул водорода H_2 и C_2. Происходит самовозгорание водорода, концентрация которого еще не достаточная для возникновения пламени внутри КС; вторая — процесс образования углеродной пленки на поверхности жидких капель, которая разрушается взрывообразно, поставляя в зону горения сажевые частицы и увеличивая концентрацию горючих газов с экспоненциальным образованием молекул H_2 и C_2, концентрация которых достаточная для возникновения пламени внутри КС; третья — горение сажевых частиц, что приводит к существенному разогреву горючей смеси, максимальная температура которой достигает после полного сгорания сажевых частиц.

Вследствие адиабатического сжатия во втором такте разогрев горючей смеси может превысить температуру газификации сжатия воздуха как минимум в ~7 раз по адиабате. Тогда воздух разогреется до температуры

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 295\cdot 7^{1,4-1} = 642\ K, \qquad (1)$$

где $\gamma = C_P / C_V$ — отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме. При 12-кратном сжатии такая температура достигнет, когда коленчатый вал не дойдет до ВМТ на угол 25^0, впрыскивается топливо и начинается первая стадия его горения, но еще не самопроизвольного возгорания. Время до самопроизвольного возгорания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала реализуется в пределах $0,75–1,75\cdot 10^{-3}$ с [2]. Третья фаза горения, которая обусловлена размножением жидких капель топлива и образованием сажевых частиц (время составляет $2,76\cdot 10^{-3}$ с) [2]. Полное время эффективного горения топлива (без учета его догорания), составит $(3,52–4,51)\cdot 10^{-3}$с. При частоте вращения коленчатого вала 2200 об/мин время полного сгорания топлива будет $4,51\cdot 10^{-3}$ с, а при 2500 об/мин — это ~$3,52\cdot 10^{-3}$ с [2].

Рассмотрим близкую к реальному двигателю конструкцию цилиндра с поршнем. Пусть ход поршня обеспечивает степень сжатия 12. Длина пути поршня от НМТ до ВМТ 6 см, диаметр цилиндра 10 см. Объем цилиндра, когда поршень находится в НМТ, равен $3,29\cdot 10^{-4}$ м^3, а в ВМТ — $2,74\cdot 10^{-5}$ м$^{-3}$. При температуре 295К и при давлении в 1 атм в объеме содержится $N = 8,183\cdot 10^{21}$ молекул воздуха. Если предположить, что четырехцилиндровый дизель потребляет $1,5\cdot 10^{-3}$ кг/с топлива при скорости вращения коленвала 2200 об/мин, то количество тепла, которое выделится при полном сгорании топлива в цилиндре составит

$$U = \frac{H_u \dot{m}}{2f} = 890,5\ Дж, \qquad (2)$$

где H_u=10 400 ккал/кг — теплотворность бензина, $\dot{m}$ =$1,5\cdot 10^{-3}$ кг/с и f = 2200 об/мин.

Температура смеси при мгновенном выделении энергии полностью сгоревшего топлива

$$T_2 = T_1 + \frac{2U}{5k_Б N} = 642 + 3153 = 3795\ K. \quad (3)$$

При такой температуре давление горючей смеси в ВМТ составит соответственно

$$P = \frac{N}{V} k_Б T \sim 154\ атм. \quad (4)$$

При частоте вращения коленчатого вала 2200 об/мин время движения поршня от ВМТ до НМТ составляет 13,6 мс, а время полного сгорания 4,51 мс. Получается, что топливо сгорает полностью. Выделение тепла происходит в нарастающем режиме. и возрастание тепла со временем описывается экспоненциальным законом. Выделившееся тепло увеличивает внутреннюю энергию газа, которая пропорциональна температуре. Возрастание температуры со временем с учетом граничных условий определяется экспоненциальным законом вида,

$$T_2 = T_1 + T_1[\exp(at) - 1]. \quad (5)$$

При частоте вращения коленвала 2200 об/мин начальная температура в ВМТ 642 К, а конечная — 3795К. На основании данных в формуле (5) величина а = 428,6 $с^{-1}$. Возрастание объема газа происходит по адиабатическому закону. Вследствие конвективного теплообмена внутри корпуса двигателя происходит его разогрев и внутренняя энергия газа уменьшится на

$$\Delta U = A + \Delta Q' - \Delta Q''. \quad (6)$$

Здесь $\Delta A = M(t)\omega\Delta t$ — затраченная механическая работа, а $M(t)$ — момент на валу двигателя, $\omega = 2\pi f$ — круговая частота; $\Delta Q'$ — потери тепла при конвективном теплообмене внутри двигателя, т.е. на его разогрев и $\Delta Q''$ — изменение внутренней энергии топливной смеси при адиабатическом сжатии или расширении газа. Работа, которую производит нагретый воздух в цилиндре, равна произведению момента силы на угол поворота коленвала за время Δt

$$\Delta A = M(t)\omega\Delta t. \quad (7)$$

Давление внутри цилиндра с учетом энергии при сгорании топлива, совершаемой работы, конвективного теплообмена и адиабатического расширения падает до значения

$$P(t) = n(t)k_Б\left[T(t)\left(\frac{V_1(t_1)}{V_2(t_2)}\right)^{\gamma-1} + \Delta T(t)\right], \quad (8)$$

где $\Delta T(t) = T(t_2)\text{-}T(t_1)$, а значения температур определяются по формуле (5).

Объемы $V(t_1)$ и $V(t_2)$ вследствие движения поршня в цилиндре двигателя равны

$$V(t_1) = \pi r^2\{l_0 + L[1 - \cos(\omega t_1)]\}; \quad V(t_2) = \pi\kappa : 2\left\{l_0 + L\left[1 - \cos(\omega t_2)\right]\right\}. \quad (9)$$

Здесь r — радиус поршня, L — плечо коленчатого вала, l_0 (4,45 мм) — эффективная высота цилиндра свободного объема, когда поршень находится в ВМТ.

Возрастание температуры смеси в цилиндре до ее поджига определяется рекуррентным соотношением вида

$$T(t_{n+1}) = T(t_n)\left(\frac{V_{n-1}}{V_n}\right)^{\gamma-1}, \tag{10}$$

а работа, затрачиваемая при адиабатическом изменении объема газа $\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$,

$$\Delta Q_n'' = \frac{P_{n-1}V_{n-1}}{\gamma-1}\left[1-\left(\frac{V_{n-1}}{V_n}\right)^{\gamma-1}\right]. \tag{11}$$

В стационарных условиях конвективный теплообмен определяется принудительным охлаждением потока воздуха, формируемого радиатором. Температура воздуха на внешней поверхности меньше температуры двигателя. Тогда при взаимодействии потока воздуха с кластерами материала корпуса дизеля по всей его внешней поверхности будет происходить передача энергии колебания кластеров к молекулам воздуха. Коэффициент передачи энергии

$$\theta = \frac{4m_a M_{кл}}{(m_a + M_{кл})^2}, \tag{12}$$

m_a — значение массы молекул воздуха и $M_{кл}$- масса молекул кластеров материала двигателя. Теплоотдача от внешних стенок двигателя к прокачиваемому воздуху составит [3]:

$$\Delta Q'(t) = 2\theta n_{кл} v_{кол}^2 S_{вн.}(t). \tag{13}$$

Допустимый разогрев воздуха вокруг поверхности двигателя не должен превышать ~ 20К выше температуры окружающей среды. Размер радиатора примем S_p = 0,4Х0,4 м², а скорость потока воздуха равна сумме скорости движения автомобиля и скорости, которую обеспечивает вентилятор на выходе радиатора. Если вентилятор создает поток ~20 м/с, а скорость автомобиля соответствует 100 км/ч, то результирующая скорость прокачки воздуха составит: v ~ 48 м/с. Тогда при частоте вращения коленвала 2200 об/мин $\Delta Q' = n_{ср} v S_p k_Б \Delta T / 2f$ ~ 719Дж за пол оборота. Достаточно ли этой энергии охлаждения, чтобы компенсировать тепло, которое приобретает двигатель при конвективном теплообмене внутри КС.

Так как температура со временем в КС возрастает по экспоненциальному закону, то теплопроводность является нестационарной. Разность температур горючей смеси и стенки КС $\Delta T_n = T(t_n)\text{-}T(t_{n\text{-}1})$. Температура кластерного монослоя находится в термодинамическом равновесии с температурой окружающей среды, т.е. при $T(t_{n\text{-}1})$, а нестационарность учитывается процессом изменения температуры внутри КС. В таком предположении в каждый момент времени мощность передачи энергии стенкам камеры сгорания составит:

$$\Delta N_T = \frac{5\pi}{12}\frac{\theta N\sqrt{2k_Б T(t)/m_a}\,k_Б \Delta T(t)\{r_n + [l_0 + L(1-\cos\omega t)]\}}{\{l_0 + L[1-\cos(\omega t)]\}r_n}, \tag{14}$$

m_a — средняя масса молекул воздуха, равная 29 ат. ед., а результирующая тепловая энергия:

$$N_T = \int_0^{1/2f} \Delta N_T dt. \tag{15}$$

Разогрев корпуса двигателя происходит при положительной разности температур среды и его корпуса. В установившемся режиме мощность передачи энергии внутри цилиндра компенсируется мощностью температурного охлаждения радиатором. В этом случае $N' = N_T$. Работа, которая совершается дизелем с усреднением за период вращения коленчатого вала:

$$\bar{A} = 8\pi F^2 \int_0^{1/2f} M(t)dt. \tag{16}$$

Здесь

$$M(t) = n(t)k_Б \left[T(t)\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} + \Delta T(t) \right] \pi r_n^2 L \sin(\omega t). \tag{17}$$

Программные документы анализа работы дизеля Интегралы (15) и (16) находились по методу Ньютона. Алгоритм работы программных документов приведен на рис.1. В блоке 1 формируются исходные данные по конструкции дизелей, а условия работы задавались в соответствии с тем, где данный дизель используется. В блоке 2 исходные данные переводились в единую систему СИ и производились вычисления обобщенных параметров, характерных для выбранной конструкции дизеля. Расчет энергетических параметров во втором такте работы дизеля производился вначале в блоке 3 при угле вращения коленчатого вала от 0^0 до $180^0 — \varphi$, а затем в блоке 4 при угле вращения коленчатого вала от $180^0 — \varphi$ до 180^0. В блоке 5, производился расчет всех энергетических параметров при работе дизеля в третьем такте. По полученным данным строились соответствующие графики зависимости.

Сравнительный анализ работы дизеля. Во втором такте до момента поджига горючей смеси над газом совершается работа при адиабатическом сжатии в соответствии с формулой (11). После впрыска топлива работа адиабатического сжатия определяется с учетом начального горения топливной смеси. Тогда, используя рекуррентное соотношение (10), в элементе объема ΔV_n выделившееся тепло определится следующим образом:

$$\Delta Q_n''' = P_n \Delta V_n = n(t)k_Б T_n (V_n - V_{n-1}). \tag{18}$$

Рис. 1. Алгоритм компьютерного моделирования термодинамического цикла дизеля

Следовательно, во втором такте происходит адиабатическое сжатие воздуха, для которого $\gamma = 1,4$ до температуры газификации смеси. Угол запаздывания впрыска топлива 25^0. В процессе газификации происходит выделение свободных молекул метана, этана и других молекул углеводородов, которые мгновенно разлагаются и поставляют в камеру сгорания молекулы H_2 и C_2 [4]. Водород при температурах выше 400 К самопроизвольно возгорается путем организации разветвленной цепи [5]. Начальная реакция обусловлена диссоциацией молекул водорода и кислорода и заканчивается образованием молекул воды.

$$2H_2 + O_2 \leftrightarrow 2H_2O + 483,6\ кДж / моль, \tag{19}$$

$$H_2 + O_2 \leftrightarrow 2OH. \tag{20}$$

Если реализуется реакция (20), то она на выходе дает две молекулы воды с выделением энергии, которая приведена для реакции (19). Энергия активации реакции (20) определяется по эмпирической формуле [6]

$$E_a = 0,29(D_{O_2} - D_{H_2}) \approx 0,186\ эВ. \tag{21}$$

Здесь D_{H_2} и D_{O_2} — энергия диссоциации молекул водорода и кислорода соответственно, а константа прямой химической реакции (20) определяется по формуле [6]

$$k_f = 2(r_{H_2} + r_{O_2})\left(\frac{2\pi k_Б T}{\mu}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{E_a}{k_Б T}\right), \tag{22}$$

где r_{H_2} = 0,794·10^{-10} м — радиус молекулы водорода; r_{O_2} = 0,975·10^{-10} м — радиус молекулы кислорода и $\mu = m_{H_2} m_{O_2} / (m_{H_2} + m_{O_2}) = 1,88$ ат. ед. — приведенная масса взаимодействующих молекул водорода и кислорода.

Самопроизвольная скорость протекания реакции (22)

$$\frac{dn}{dt} = k_f n_{H_2} n_{O_2}. \tag{23}$$

Энергия, которая выделяется за время Δt, где ΔE = 483,6 кДж/моль, N_a — число Авогадро.

$$\Delta Q_H = \frac{1}{2} k_f n_{H_2} n_{O_2} \Delta E V(t) \Delta t / N_a, \tag{24}$$

Такое выделение энергии повышает температуру топливной смеси на величину:

$$\Delta T = \frac{2\Delta Q_H}{5 k_Б N}. \tag{25}$$

Это учитывается в зависимости (5). Расчеты по формуле (5) показали, что самопроизвольное воспламенение водорода и других горючих газов возникает за время 1,182мс, что соответствует углу запаздывания $9,4^0$. Резкое возрастание температуры смеси происходит только после температуры воспламенения. До момента достижения температуры газификации ее возрастание определяется адиабатическим сжатием, т.е.

$$T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = T_1\left(\frac{V_1}{V_1-\Delta V}\right)^{\gamma-1}. \qquad (26)$$

После воспламенения температура определяется применением рекуррентного соотношения:

$$T_n = T_{n-1}\left(\frac{V_n}{V_n-\Delta V}\right)^{\gamma'-1} + \Delta T_n. \qquad (27)$$

где ΔT_n — увеличение температуры только за счет сгоревшего топлива.

На рис. 2 и в табл. 1 показаны зависимости температуры и давления от угла вращения коленчатого вала во втором такте работы дизеля.

Таблица 1

Остаточная внутренняя энергия воздушно-топливной смеси, выполненная механическая работа, потери тепла при конвективном теплообмене, механический момент, давление и температура в зависимости от угла поворота коленчатого вала во втором такте

Параметры	Угол поворота коленчатого вала										
	0	20	40	60	80	100	120	155	160	170	180
Q, Дж	83,3	83,2	82,7	81,9	80,5	78	75	63	81,6	133	219
A, Дж	0	0,94	3,86	9,10	17,4	30,0	48,4	103	113	133	142
Q', Дж	0	0,07	0,30	0,73	1,42	2,50	4.20	10,0	10,5	12,0	14,5
P, атм	1	1,04	1,17	1,43	1,92	2,87	4,90	16,7	22,2	37	54
T, K	295	298	308	325	351	391	451	624	726	982	1330

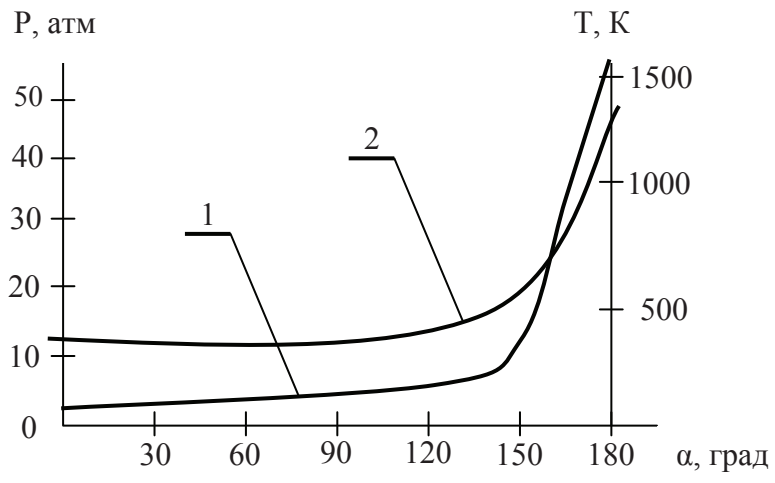


Рис. 2. Зависимость от угла поворота коленвала:

1 — давления; 2 — температуры

При угле опережения 25⁰ и полном сгорании топлива на подготовку к выполнению работы тратится только 24,5% теплоты. Температура в ВМТ достигает 1330 К, а давление 54 атм. Уже

во втором такте происходит деление капель тумана топлива и длится на протяжении 1,13 мкс. При выборе угла опережения зажигания следует учитывать: 1 — в момент поджига смеси она должна иметь температуру газификации; 2 — в момент прохождения ВМТ температура должна быть выше — 1000 К. Результаты расчета энергетических характеристик дизеля в третьем такте на рис.3 и в табл. 2. Максимум момента силы и температуры смещены друг относительно друга на угол поворота коленвала 21^0.

В четырехцилиндровом двигателе цилиндры работают попарно последовательно друг за другом. Значит, мощность будет равна 110 л.с. Важным отличительным свойством работающего дизеля является излучательная способность образующейся плазмы в КС, которая имеет голубоватый оттенок.

Таблица 2

Остаточная внутренняя энергия воздушно-топливной смеси, выполненная механическая работа, потери тепла при конвективном теплообмене, механический момент, давление и температура в зависимости от угла поворота коленчатого вала в третьем такте

Параметры	Угол поворота коленчатого вала									
	0	20	40	60	80	100	120	140	170	180
Q, Дж	337	566	775	657	572	523	473	448	433	429
A, Дж	113	38	154	272	357	417	456	482	496	500
Q', Дж	9,1	45	100	100	100	100	100	100	100	100
M, Н·м	0	224	384	290	203	138	92	56	27	0
P, атм	31	43	39	22	14	9	7	6	5	5
T, К	1140	1911	2617	2219	1932	1731	1598	1512	1464	1448

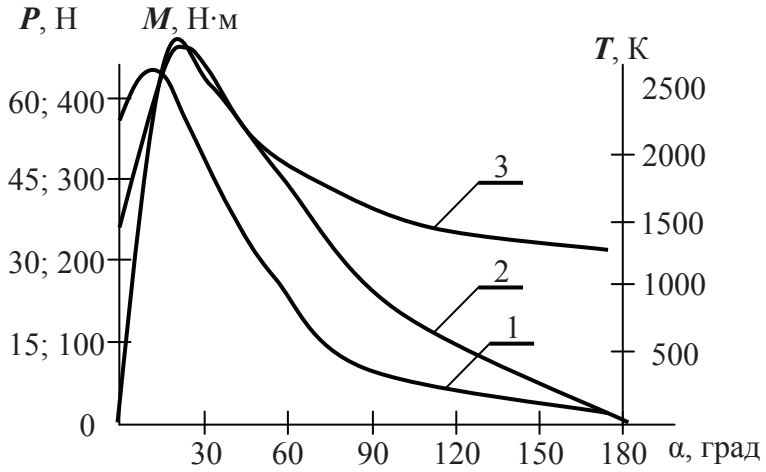


Рис. 3. Зависимость от угла поворота коленвала при угле опережения 25^0:

1 — давления; 2 — момента силы; 3 — температуры

Оно возникает до прохождения ВМТ, а после прохождения ВМТ интенсивность излучения оптического диапазона резко возрастает [8]. Плазма в КС является существенно неравновесной, в которой температура поступательных степеней свободы меньше вращательной, колебательной и электронной ($T_{пост} < T_{вращ} < T_{кол} < T_{эл}$). Это известный экспериментальный факт [9]. Давление

газа на стенки КС обусловлено столкновением с поверхностью отдельных атомов и молекул в соответствии с температурой поступательных степеней свободы. Измерение температуры низкотемпературной плазмы осуществляют оптическим пирометром. В этом методе фиксируется интегральное излучение плазмы, обусловленное наличием трех температур: электронной, колебательной и вращательной. Измеренная температура должна быть выше температуры поступательного движения.

В дизелях температура плазмы достаточно низкая (максимум 2700 К) и поэтому возбуждение электронным ударом является несущественным, а поток излучения достаточно интенсивный и голубоватого цвета [8,10]. Голубой цвет низкотемпературной плазмы обусловлен излучением полос Свана молекул C_2. Разность энергетических уровней этих полос 2,2–2,5 эВ. Возбудить такие уровни энергии электронами с температурой плазмы 2700 К не представляется возможным. Поэтому при горении топлива возбуждение полос Свана происходит не электронным ударом, а вследствие образования молекул C_2 и высвобождения при этом энергии диссоциации 6,2 эВ. Образуются молекулы C_2 в процессе полимеризации сложных углеводородов на поверхности жидких капель топлива. В момент их интенсивного деления площадь соприкосновения с плазмой существенно возрастает, что приводит к увеличению концентрации возбужденных молекул C_2 в КС и заметно излучение плазмы. После прохождения ВМТ резко возрастает интенсивность деления капель топлива, что и обуславливает резкое возрастание интенсивности излучения. Характер излучения полос Свана молекул C_2 подтверждает эмпирическую экспоненциальную зависимость температуры в дизеле от угла поворота коленчатого вала (5), предложенную в настоящей работе. При рассмотрении механизма работы дизеля рассматривается температура только поступательных степеней свободы, так как только она определяет величину давления.

По данным табл. 2 и рис. 3 построена индикаторная диаграмма (рис. 4)., где точками отмечены начало и окончание четырех тактов: 1–2 — первый, 2–3 — второй, 3–4 — третий и 4–1 — четвертый. Для сравнения на рис. 4 приведена экспериментальная индикаторная диаграмма, полученная для дизеля [2]. По табл.2 (без учета потерь на трение) энергетический коэффициент использования топлива $\eta_Э = 1 - Q/(U + A_2 + Q') = 65\%$ и коэффициент преобразования топлива в работу по мощности $\eta_A = \eta_Э A_3/(Q' + U + A_2) = 34\%$.

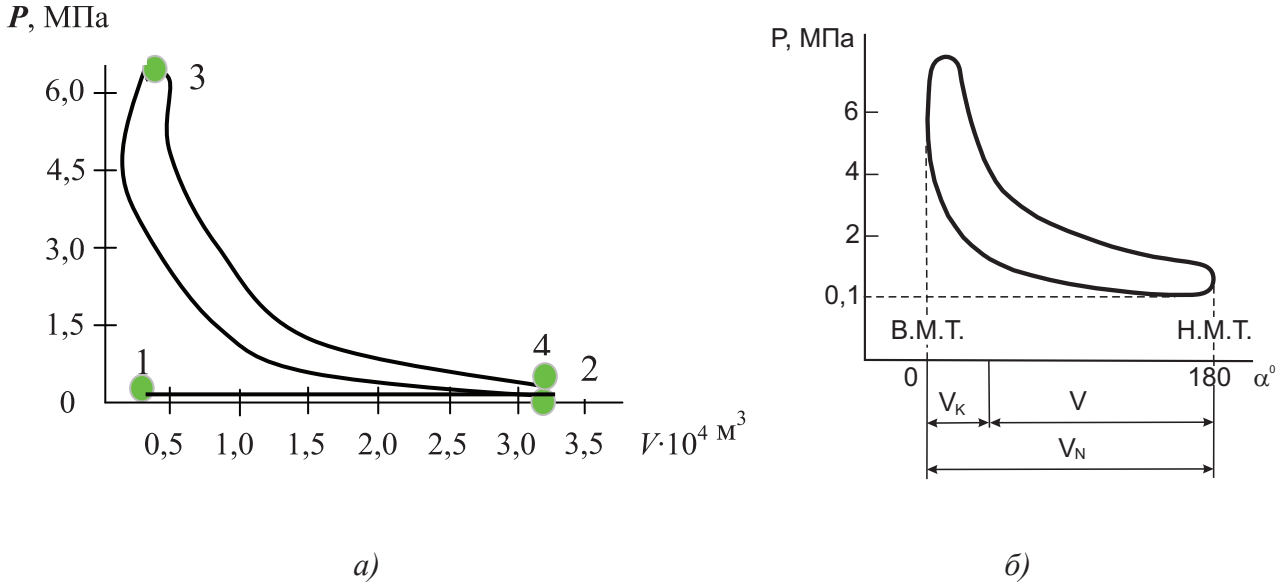


Рис. 4. Расчетная индикаторная диаграмма дизеля (а) в сравнении с экспериментальной (б)

На поршень двигателя молекулы окружающей среды действуют в одном направлении. Поэтому превращение тепловой энергии газа в механическую работу осуществляется только при использовании тепловой энергии одной степени свободы. Вследствие этого к.п.д. по мощности в такой конструкции двигателя не может превышать 33%. Если обеспечить постоянную скорость подачи топлива, то при низких скоростях вращения в КС возникают настолько высокие температуры и давления, что могут реализоваться взрывные процессы вследствие возникновения детонационного горения. При высоких скоростях вращения в КС впрыскивается малая порция топлива, а температура и давление падают, средняя мощность двигателя растет, а возникающие низкие температуры не способствуют образованию оксидов азота, что не ухудшает окружающую экологию.

Требования к конструктивным элементам дизеля. На основании сравнительного анализа работы дизеля можно сформулировать основные требования к разработке оптимальной конструкции двигателя: 1. Оптимальный коэффициент сжатия воздушно-топливной смеси равен 25. 2. Угол опережения впрыска топлива устанавливается таким, чтобы в этот момент температура воздушно-топливной смеси была равна не менее ~ 630 К, а при прохождении ВМТ более 1000 К. и затраты на подготовку смеси для работы в третьем такте были бы минимальными. 3. Разогрев корпуса двигателя конвективным теплообменом во втором и третьем тактах, не должен превышать возможное охлаждение потоком воздуха, проходящего через радиатор с разогревом в процессе обтекания внешней поверхности дизеля. 4. Массогабаритные характеристики дизеля определяются величиной его мощности с учетом кинетики горения топлива и возможностями его охлаждения.

Выводы

Разработанную молекулярно-кинетическую теорию работы дизеля возможно использовать для компьютерного моделирования с целью определения величины подаваемого топлива в камеру сгорания для обеспечения заданной мощности при оптимальном угле опережения, количества прокачиваемого воздуха для охлаждения дизеля на различных режимах работы с обеспечением максимального энергетического к.п.д.

Список литературы

1. Приймак О.В. Теоретичні основи термодинамічного анализу циклів поршневих ДВЗ та їх елементів //Наукові нотатки.— 2010. — Вип. 28. — С.435–438.

2. Гречихин Л.И. Двигатели внутреннего сгорания. Физические основы технической диагностики и оптимального управления. — Мн.: Наука и техника, 1995. — 270 с.

3. Гречихин Л.И. Наночастицы и нанотехнологии. — М.: ООО «Право и экономика», 2008.–408 с.

4. Архангельский В.М.и др. Автомобильные двигатели. — М.: Машиностроение,1977. — 591 с.

5. Азатян В.В., Марголис Л.Я. и др. //Кинетика и катализ, 1974. — Т. 14. — С. 828–833.

6. Бенсон С. Основы химической кинетики. — М.: Мир, 1962. — 603 с.

7. Лернер М.О. Регулирование процесса горения в двигателях с искровым зажиганием. — М.: Наука, 1972. — 295 с.

8. Nagase K., Funatsu K. Spectroscopic analysis of diesel combustion flame by means of streak camera //SAE Techn. Pap. Ser. — 1988. — № 881226. — P. 1–9.

9. Гречихин Л.И. Границы применимости и погрешности измерений спектроскопических методов диагностики низкотемпературной плазмы. — 1968. — Т. 6. — № 3.

10. Katimoto Takeyuki, Vagita Miki. Particulate formation and flame structure in diesel engines //SAE Techn. Pap. Ser. — 1989. — № 890436C. — P. 1–9.

Анотація. *Розроблено нову молекулярно-кінетичну теорію роботи дизеля, яка дозволила провести повний розрахунок індикаторної діаграми, розробити алгоритм і програмні документи для комп'ютерного моделювання замкнутих термодинамічних циклів, виконати науково-*

технічний порівняльний аналіз різних енергетичних параметрів працюючого дизеля і визначити основні вимоги, що пред'являються до такого двигуна.

Abstract. *A new molecular-kinetic theory of diesel, which allowed to make payment in full display diagram, to develop algorithms and software documents for computer simulation of closed thermodynamic cycles to perform scientific and technical comparative analysis of different energy parameters of the working engine and determine the basic requirements for such an engine.*

Стаття надійшла до редакції 18.12.2010 р.

УДК 629.113

КОСТЕНКО А.В., к.т.н., доц., ЄФИМЕНКО А.М., інж.,
ВЕРБИЦЬКИЙ В.Г., д.ф.-м.н., проф.,
Донецька академія автомобільного транспорту

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТАБІЛІЗАЦІЙНИХ МОМЕНТІВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТІЙКИХ СТАЦІОНАРНИХ СТАНІВ МОДЕЛІ АВТОМОБІЛЯ З АБСОЛЮТНО ЖОРСТКИМ КЕРОВАНИМ МОДУЛЕМ

Розглянуто завдання визначення критичної швидкості й області притягання стійких режимів руху моделі автомобіля з абсолютно жорстким керованим модулем, з урахуванням стабілізуючого моменту і без нього. Отримані графіки біфуркаційної множини та фазові портрети, які уточнюють значення критичної швидкості й області притягання стійких режимів.

Вступ

Сучасний стан автомобілебудування та підвищення вимог щодо безпеки руху вимагають від дослідників більш точного врахування сил та моментів, що діють у контакті колеса з дорогою.

Вважається, що наявність стабілізуючого моменту шини сприяє покращенню курсової стійкості руху (КСР) [1,2]. Однак, на сьогоднішній день питання щодо впливу стабілізуючого моменту досліджено недостатньо, тому в даній роботі пропонується дослідити вплив стабілізуючого моменту на такі показники КСР, як критична швидкість та область притягання стійких режимів.

Мета статті

Побудова біфуркаційних множин та фазових портретів, за допомогою яких можна визначити область притягання стійких режимів КСР та дослідити вплив стабілізуючого моменту.

Основна частина

Для дослідження прийнято велосипедну схему автомобіля (рис.1) з наступними параметрами [3]: маса $m = 1325$ кг; база $l = 2{,}42$ м; відстань від передньої вісі до центру мас $a = 1{,}2$ м.

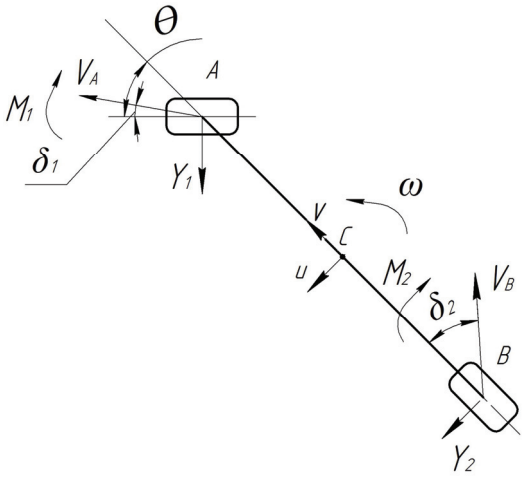


Рис. 1. Розрахункова велосипедна схема легкового автомобіля

Математичні рівняння руху велосипедної моделі легкового автомобіля мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} m(\dot{u} + v\omega) = Y_1 + Y_2; \\ J\dot{\omega} = aY_1 - M_1 - bY_2 - M_2 \end{cases}, \tag{1}$$

де m — маса автомобіля;

Y_1, Y_2-бічні сили, що діють на передню та задню вісі;

M_1, M_2 — стабілізуючі моменти.

При дослідженні використовуються нелінійні залежності бічної сили (2, 3) та стабілізуючого моменту (4):

$$Y_i = k_i\delta_i / \sqrt{1 - (k_i\delta_i / (G_i\phi_i))^2}; \tag{2}$$

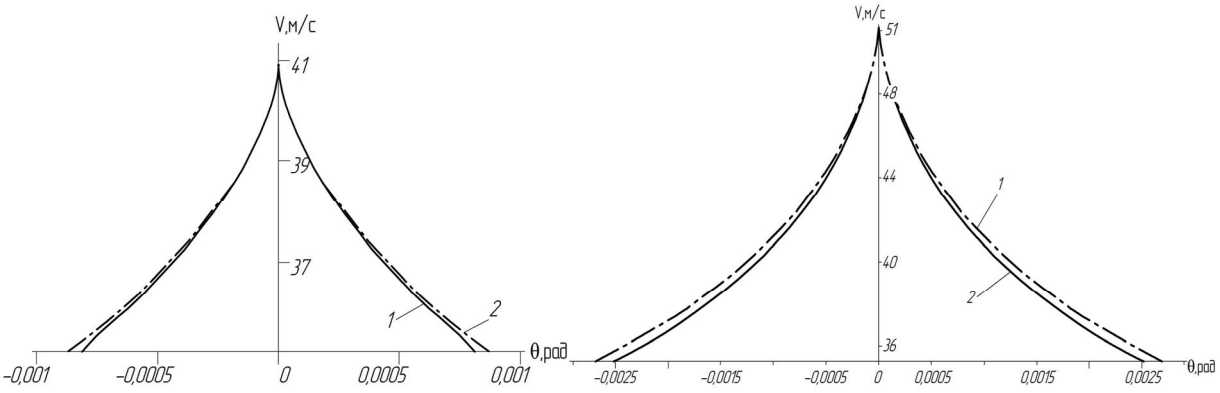
$$Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3; \tag{3}$$

$$M_i = \mu_i\delta_i - \nu_i\delta_i^3. \tag{4}$$

На рис. 2 показано біфуркаційні множини для чотирьох вищенаведених випадків дослідження впливу стабілізуючого моменту.

На рис. 2 *а*) представлені біфуркаційні множини, які побудовані без врахування стабілізуючого моменту (M=0), для двох випадків — коли залежність бічного відведення прийнята за рівнянням (2) і коли залежність бічного відведення прийнята за рівнянням (3).

На рис. 2 *б*) представлені біфуркаційні множини, що побудовані з врахуванням стабілізуючого моменту, для двох випадків — коли залежність моменту лінійна ($M_i = \mu_i\delta_i$) і коли залежність моменту прийнята за рівнянням (4); в обох випадках залежність бічного відведення прийнята за рівнянням (3).



а) *б)*

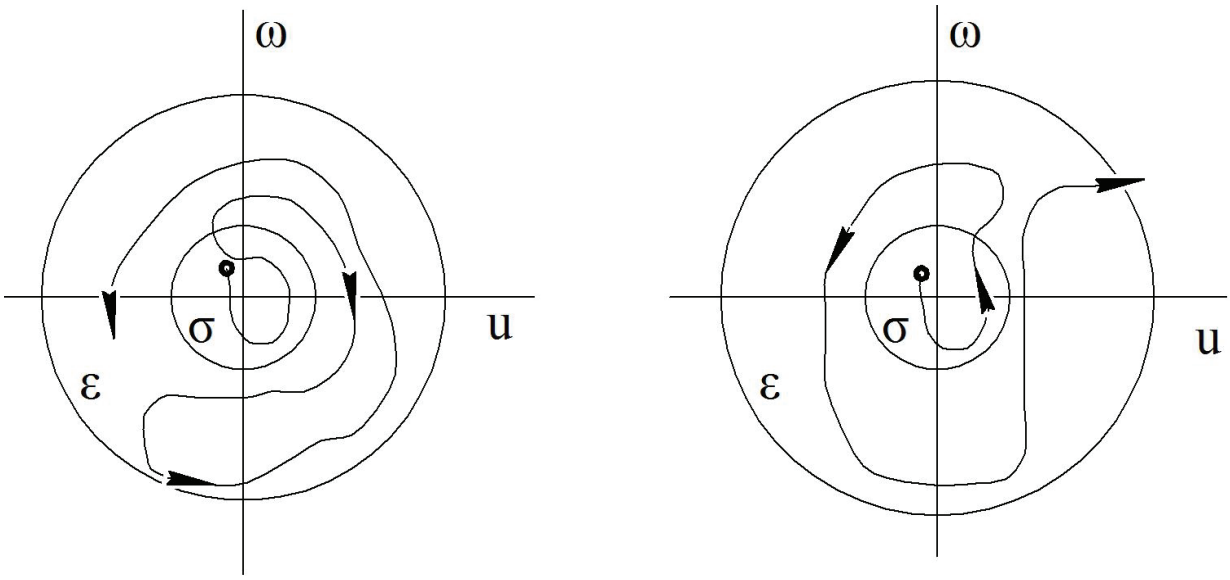
Рис. 2. Біфуркаційні множини:

а — $Y_i = k_i\delta_i / \sqrt{1-(k_i\delta_i/(G_i\phi_i))^2}$ *та* $M = 0$ *(лінія 1);* $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M = 0$ *(лінія 2);*

б — $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M = \mu\delta$ *(лінія 1);* $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$, $M = \mu\delta - \nu\delta^3$ *(лінія 2)*

Як видно з рис. 2 критична швидкість збільшилась при наявності стабілізуючого моменту, для подальшого аналізу слід побудувати фазові портрети, які дозволять оцінити величину областей притягання стійких режимів.

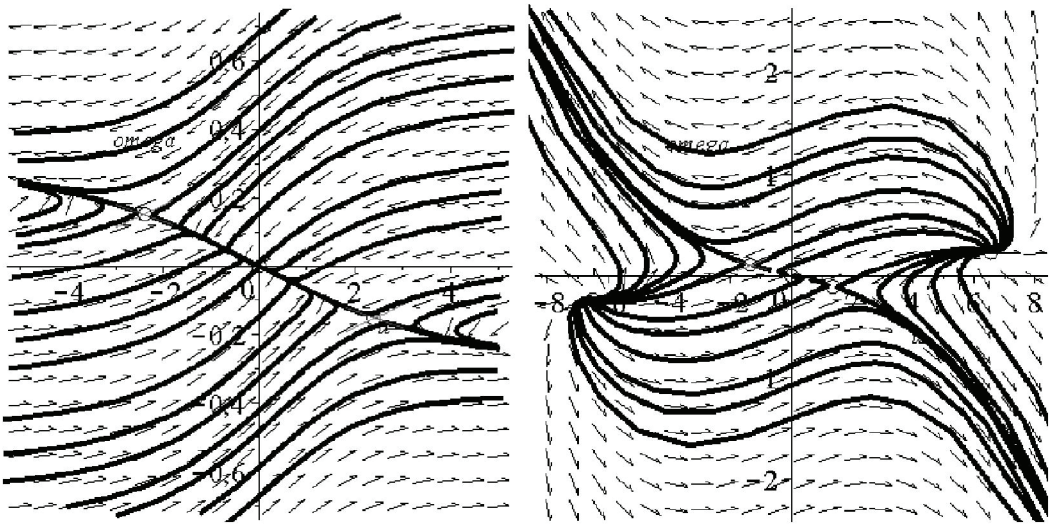
На рис. 3 зображено фазові траєкторії в двох випадках: в першому будь-яка траєкторія, що виходить із σ-околу нульового розв'язка, надалі не залишає ε-окіл (рис. 3 *а*) (стійкий стаціонарний стан), в другому випадку траєкторія, вийшовши з σ-околу, надалі залишає ε-окіл (рис. 3 *б*) (нестійкий стаціонарний стан).



а) *б)*

Рис. 3. Фазові портрети

На рис. 4 представлені фазові портрети для випадку, коли момент відсутній (див. рис. 2, *а*), швидкість автомобіля 35 м/с, кут повороту коліс $\theta = 0$. Рис. 4 *а*) відповідає бічній силі за рівнянням (2), а рис. 4 *б*) відповідає бічній силі за рівнянням (3).



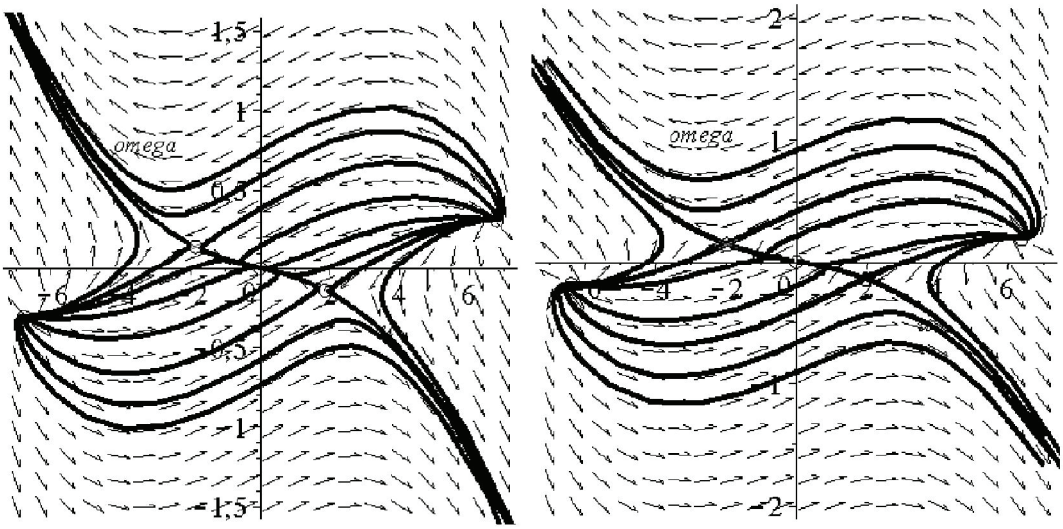
а) *б)*

Рис. 4. Фазові портрети:

а — $Y_i = k_i\delta_i / \sqrt{1-(k_i\delta_i / (G_i\phi_i))^2}$ *та* $M = 0$;

б — $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M = 0$

На рис. 5 представлені фазові портрети для випадку, коли момент діє (див. рис. 2 *б*), швидкість автомобіля 35 м/с, кут повороту коліс $\theta = 0$. Рис. 5 а відповідає лінійній залежності моменту, а рис. 5 *б*) відповідає кубічній залежності моменту.



а) *б)*

Рис. 5. Фазові портрети:

а — $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та,* $M_i = \mu_i\delta_i$;

б — $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M_i = \mu_i\delta_i - \nu_i\delta_i^3$.

Оцінка області притягання стійких режимів за допомогою фазових портретів здійснюється наступним чином. З рис. 4–5 визначаємо структуру басейнів притягання симетричного стаціонарного стану, що відповідає прямолінійному руху; границі басейнів притягання складаються з сепаратрис, які входять в сідлові точки (нестійкі стаціонарні стани). Відстань від цих точок до початку координат може слугувати опосередкованою характеристикою розміру басейна притягання. На рис. 6 *а*) показані опосередковані оцінки областей притягання стійких режимів; також з нього видно, що область притягання стійких режимів 1 ($Y_i = k_i\delta_i / \sqrt{1-(k_i\delta_i/(G_i\phi_i))^2}$), більша ніж область 2 ($Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$). Тобто апроксимація бічної сили за допомогою кубічної залежності призводить до зменшення області притягання прямолінійного режиму, що вказує на погіршення КСР, оскільки можлива втрата стійкості руху при більш малому початковому збуренні.

Аналогічно, на рис. 6 *б*) видно, що область притягання стійких режимів 3 більша, ніж область 4, це свідчить про те, що нелінійна складова в залежності стабілізуючого моменту призводить до зменшення області притягання прямолінійного стаціонарного руху, а, отже, погіршення КСР.

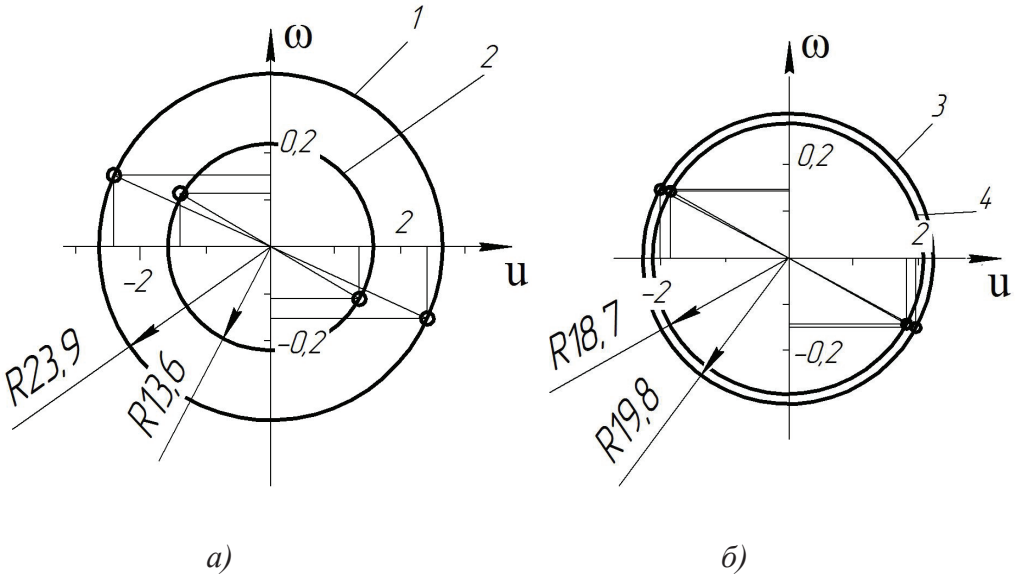


Рис. 6. Область притягання стійких режимів:

а — без впливу стабілізуючого моменту; б — з урахуванням моменту,

1 — $Y_i = k_i\delta_i / \sqrt{1-(k_i\delta_i/(G_i\phi_i))^2}$ *та* $M = 0$; *2 —* $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M = 0$;

3 — $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M = \mu\delta$; *4 —* $Y_i = k_i\delta_i - \kappa_i\delta_i^3$ *та* $M = \mu\delta - \nu\delta^3$

Висновки

Стабілізуючий момент шини сприяє збільшенню критичної швидкості, в розглянутому випадку швидкість збільшилась на 20% за рахунок стабілізуючого моменту. Врахування бічного відведення за допомогою кубічного поліному звузило область притягання стійких режимів. Врахування стабілізуючого моменту у вигляді кубічної залежності, також звужує область притягання стійких режимів у порівнянні з лінійною залежністю.

Список літератури

1. Лобас Л. Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л. Г. Лобас, В. Г. Вербицкий. — К.: Наукова думка, 1990. — 232 с.

2. Оцінка впливу п'яткових моментів на стійкість і керованість моделі автомобіля з жорстким рульовим управлінням/В.Г. Вербицький, В.А. Макаров, В.М. Дугельний [та ін.] // Вісник НТУ. — 2006. — № 13. — С. 87–93.

3. Костенко А.В. К вопросу об исследовании курсовой устойчивости движения легкового автомобиля с учетом пяточного момента шин/А.В. Костенко, А.Н. Ефименко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. — 2010. — № 6 (148). — С. 67–71.

Аннотация. *Рассмотрена задача определения критической скорости и области притяжения устойчивых режимов движения модели автомобиля с абсолютно жестким управляемым модулем, с учетом стабилизирующего момента и без него. Получены графики бифуркационного множества и фазовые портреты, уточняющие значения критической скорости и области притяжения устойчивых режимов.*

Abstract. *The task of critical speed detection and domain of attraction of steady modes of the car model motion are considered with absolutely rigid steering module, taking into account stabilizing moment and without it. The diagrams of bifurcation set and phase portraits are got specifying values of critical speed and domain of attraction of the steady modes.*

Стаття надійшла до редакції 04.10.2010 р.

УДК 629.113

ПЕТРОВ О.В., к.т.н., доц., ЗАГОРОДНОВ М.І., к.т.н., доц., КОСТЕНКО А.В., к.т.н., доц.,
Донецька академія автомобільного транспорту

ДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ ЗНОСУ ПРОТЕКТОРА ШИН НА КУРСОВУ СТІЙКІСТЬ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Розглянуто вплив зносу протектора шин на курсову стійкість руху легкового автомобіля. Проаналізовано поведінку математичної моделі автомобіля у випадку дії збурюючого впливу під час прямолінійного руху, а також криволінійний рух автомобіля.

Вступ

Дослідження курсової стійкості руху (КСР) є важливою науковою задачею, оскільки вона характеризує можливість безпечного руху автомобіля. В роботі [1] розглянуто спосіб прогнозування КСР за допомогою фазових портретів, у роботі [2] наведено методики оцінки курсової стійкості руху легкового автомобіля за допомогою матриці Якобі та критерію Рауса-Гурвіца, а також шляхом чисельного розв'язку системи диференціальних рівнянь руху легкового автомобіля, в роботі [3] досліджено вплив на величину критичної швидкості прямолінійного руху легкового автомобіля зносу протектора шин.

Мета статті

Дослідження впливу зносу протектора шин на КСР автомобіля у випадку дії збурюючого впливу та під час криволінійного руху.

Основна частина

При дослідженнях використано модель легкового автомобіля з керуючим колісним модулем (ККМ) [1–3], що схематично представлена на рис. 1. В математичну модель закладені параметри автомобіля ВАЗ–2107.

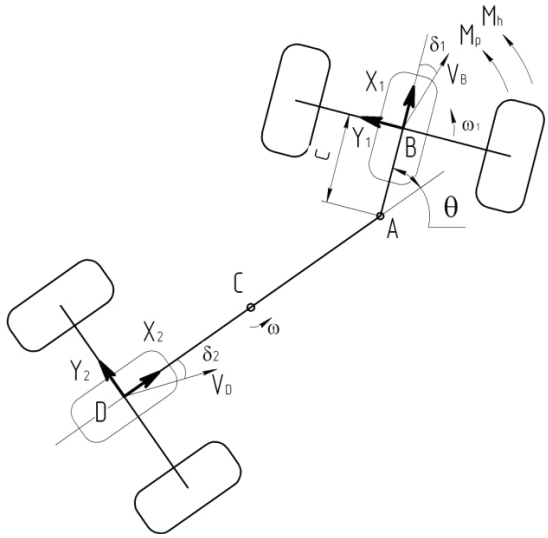


Рис. 1. Розрахункова схема легкового автомобіля з ККМ

При прямолінійному русі автомобіля на нього діють різні збурення, які обумовлені швидкістю та інтенсивністю руху, властивостями дорожнього покриття і шин тощо. Беручи до уваги вимоги Правил дорожнього руху України [4] щодо максимальної швидкості на автомагістралях, до математичної моделі закладаємо постійну швидкість 130 км/год (36 м/с). Збурюючий вплив моделюємо поворотом при $t = 0$ (t — час) передніх коліс автомобіля на кут 0,01 рад (близько 0,57 град). Такий вид збурення («ривок руля») використаний для аналізу поведінки моделі автомобіля Л.Г. Лобасом і В.Г. Вербицьким у роботі [5].

Розглянемо випадок руху автомобіля з новими шинами і рекомендованим тиском повітря в шинах (P_{w1} = 0,17 МПа; P_{w2} = 0,20 МПа) за допомогою фазових портретів змінних $\dot{\theta}$ і θ та ω і θ. Ці фазові портрети представлені на рис. 2 і рис. 3. Їх особливість полягає у різкій початковій зміні графіка з поступовим затуханням збурення, тобто максимальні відхилення фазових координат, що виникають у результаті дії на автомобіль «ривка руля», належать до області тяжіння початкового прямолінійного руху автомобіля.

Таким чином, фазові портрети на рис. 2 і рис. 3 характеризують стійкий рух автомобіля.

На рис. 4 і рис. 5 представлені фазові портрети для випадку, коли шини на передній вісі зношені на 70%, тиск повітря в шинах — P_{w1} = 0,17 МПа; P_{w2} = 0,17 МПа.

З рис. 4 і рис. 5 видно, що характер графіків змінився. Після початкового збурення починаються коливання колісного модуля. Амплітуда коливань, починаючи з 0,004 рад, поступово збільшується. Аналогічна картина з кутовою швидкістю центра мас автомобіля. Тобто автомобіль втрачає стійкість.

Розглянемо поведінку автомобіля у випадку криволінійного руху. Приймаємо, що автомобіль рухається зі швидкістю 16 м/с, кут повороту керованих коліс $\theta = 0{,}5$ рад.

Фазові траєкторії центра мас автомобіля і фазові портрети змінних u і w та q і $\dot{\theta}$ при прийнятих параметрах руху ($P_{w1} = P_{w2}$ = 0,17 МПа) і для різних випадків зносу протектора шин коліс передньої осі представлені на рис. 6–11. Так, характери фазових портретів у випадку, коли на обидві осі встановлені нові шини, говорять про стійкі режими руху. При встановленні на передню вісь шин з 70% зносу автомобіль втрачає стійкість руху.

Зменшення тиску повітря в шинах передньої осі у випадку використання шин зі 70%-вим зносом до величини 0,16 МПа і збільшення тиску в шинах задньої осі до величини 0,19 МПа призводить до того, що після початку повороту автомобіль виходить на стаціонарний режим (рух по колу), хоча траєкторія руху центру мас зміщується відносно початкової. На рис. 12 та рис. 13 представлені фазові портрети для вказаного випадку, а на рис. 14 відповідна траєкторія руху центру мас автомобіля.

Висновки

У ході дослідження встановлено, що знос шин та співвідношення величини зносу на передній та задній вісі автомобіля впливають на курсову стійкість руху. Величину та характер впливу можна визначити шляхом побудови фазових портретів.

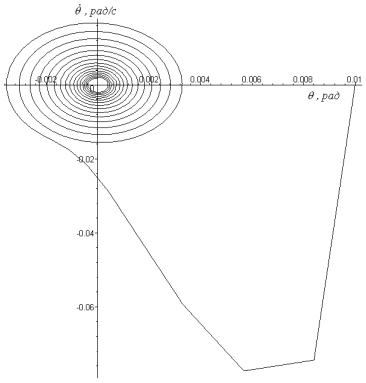


Рис. 2. Фазовий портрет змінних $\dot{\theta}$ і θ автомобіля з новими шинами

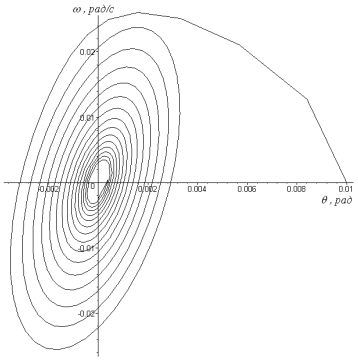


Рис. 3. Фазовий портрет змінних ω і θ автомобіля з новими шинами

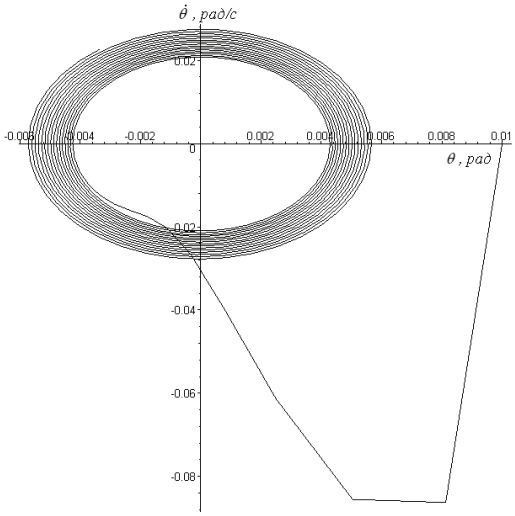


Рис. 4. Фазовий портрет змінних $\dot{\theta}$ і θ автомобіля з 70% зносу передніх шин

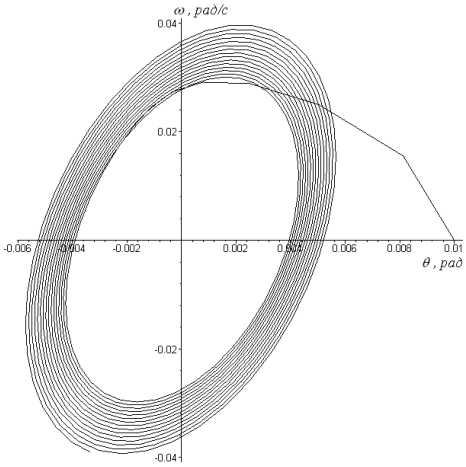


Рис. 5. Фазовий портрет змінних ω і θ автомобіля з 70% зносу передніх шин

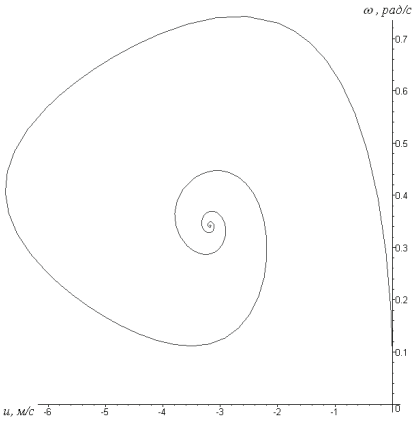


Рис. 6. Фазовий портрет змінних u і ω автомобіля з новими шинами

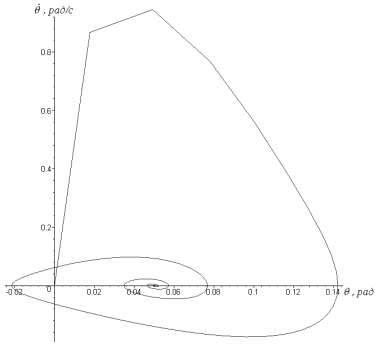


Рис. 7. Фазовий портрет змінних q і $\dot{\theta}$ автомобіля з новими шинами

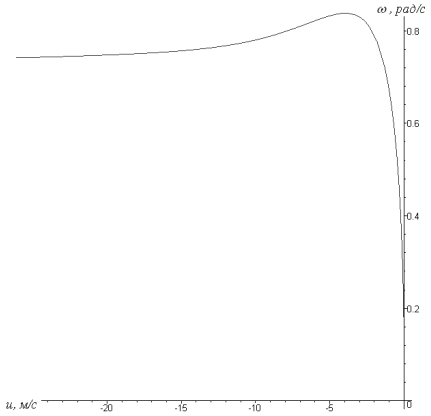


Рис. 8. Фазовий портрет змінних *u* і *ω* при 70%-му зносі передніх шин

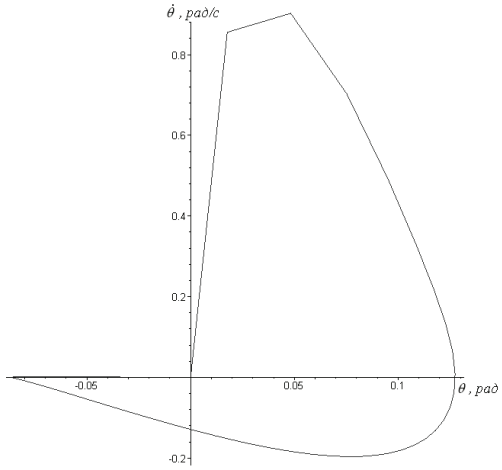


Рис. 9. Фазовий портрет змінних *q* і $\dot{\theta}$ при 70%-му зносі передніх шин

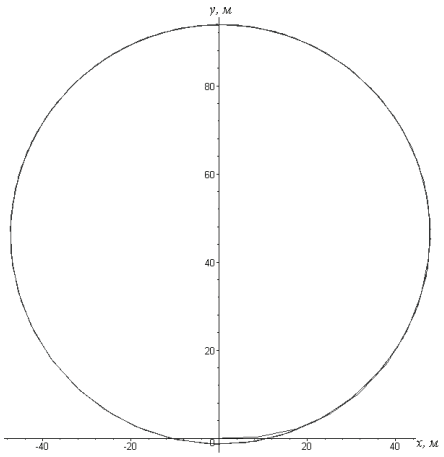


Рис. 10. Траєкторія руху центра мас автомобіля з новими шинами

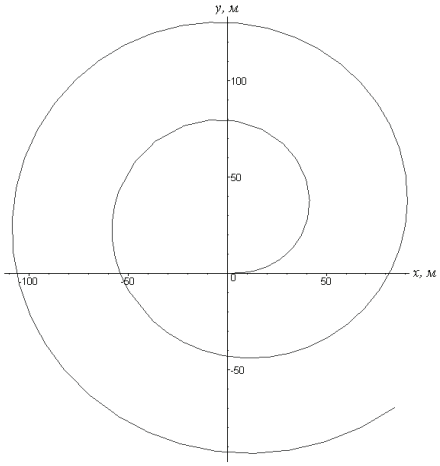


Рис. 11. Траєкторія руху центра мас автомобіля при 70% зносі передніх шин

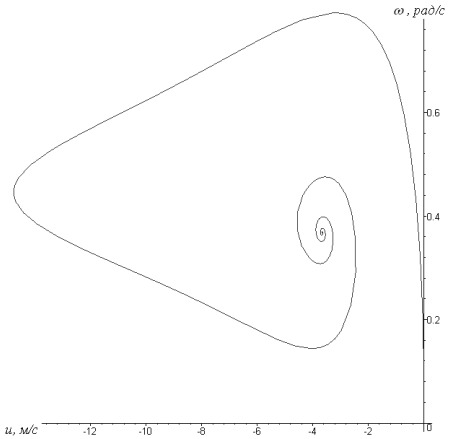


Рис. 12. Фазовий портрет змінних *u* і *ω*

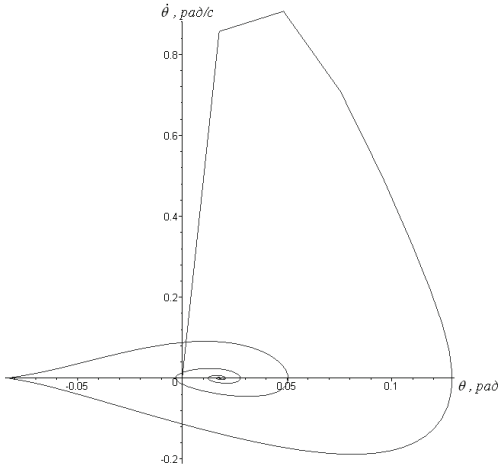


Рис. 13. Фазовий портрет змінних *q* і $\dot{\theta}$

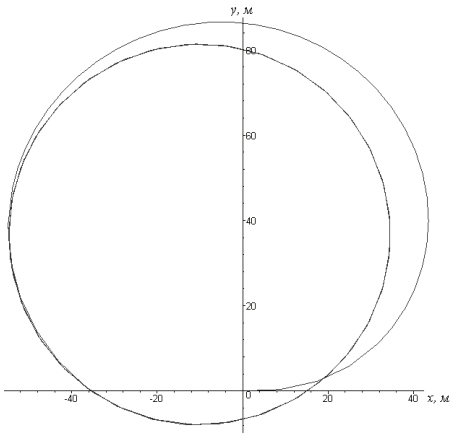


Рис. 14. Траєкторія руху центра мас автомобіля

Список літератури

1. Макаров В.А. К вопросу об оценке курсовой устойчивости движения легкового автомобиля при помощи фазовых портретов/В.А. Макаров, А.В. Костенко, А.В. Петров // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. — 2009. — № 11 (141) — С. 152–155.

2. Загороднов М.І. Аналіз курсової стійкості руху легкового автомобіля з урахуванням керуючого колісного модуля/М.І. Загороднов, О.В. Петров, А.В. Костенко // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. — 2009. — № 4. — С. 35–40.

3. Петров О.В. До питання про визначення критичної швидкості прямолінійного руху автомобіля з урахуванням зносу шин/О.В. Петров, А.В. Костенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. — 2010. — № 7 (149). — С. 66–70.

4. Комментарии к Правилам дорожного движения Украины/[З.Д. Дерех, В.Ф. Душник, Ю.Е. Заворицкий та ін.]; под ред. начальника ГУ ГАИ МВД Украины А.Л. Миленина. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — К.: Издательство «Радуга», 2002. — 335 с.

5. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин/Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. — К.: Наук. думка, 1990. — 232 с.

Аннотация. *Рассмотрено влияние износа протектора шин на курсовую устойчивость движения легкового автомобиля. Проанализировано поведение математической модели автомобиля в случае возмущающего воздействия во время прямолинейного движения, а также криволинейное движение автомобиля.*

Abstract. *The influence on tread wear of tyres on the road-holding ability of car motion is considered. The mathematical car model behavior in case of revolting influence during an in-line motion is analysed, as well as a curvilinear car motion.*

Стаття надійшла до редакції 18.11.2010 р.

УДК 625.075

БАЗОВА І.В., асистент, Донецька академія автомобільного транспорту

ПОВЕДІНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МІСЦЯХ КОНТАКТУ ШИН КОЛІС АВТОМОБІЛЯ З ДОРОЖНІМ ПОКРИТТЯМ

У статті проаналізовано основні питання взаємодії колеса автомобіля з верхнім шаром дорожнього одягу з урахуванням зносу поверхні шару покриття та резинової поверхні коліс транспорту. Встановлено, що при підвищенні температури в смузі накату знижуються зчіпляючі властивості дорожнього покриття, особливо в перехідний період року.

Постановка проблеми

Процес тертя резинової гуми супроводжується складним комплексом явищ: взаємодії контактуючих елементів, фізико-хімічними змінами поверхневих шарів, зносом поверхонь, складним характером напруго — деформованого стану.

Складний комплекс взаємозв'язаних фізико-хімічних явищ, які відбуваються на поверхнях контактуючих тіл, приводить до зміни фізико-механічних властивостей матеріалів у місцях фактичного контакту під дією температурних градієнтів. Різноманітний характер руйнування структур погіршує отримання повного математичного опису основних процесів, які впливають на формування сили тертя [1].

Виявлення зносу є зміна форми та розмірів контактуючих поверхонь. Математична постановка й аналіз задачі знаходження зносу є дуже складною проблемою. На практиці задачу про навантаження на тіло через покриття рішають при обстеженні деформації плит або пластин, які лежать на лінійно — деформованій основі.

При розгляді контактних задач на знос є дуже важливим такий фактор, як тепловиділення від тертя.

Мета статті

Ціллю статті є математичне формулювання та рішення контактної задачі теорії пружності з урахуванням тертя, зносу та тепловиділення від тертя колеса автомобіля з верхнім шаром дорожнього одягу.

Основна частина

Повну кількість тепла q, передану шинами дорожньому покриттю за час контакту з урахуванням його охолодження, можна визначити з вираження:

$$\sum q = -\lambda \cdot \frac{t_n - t_ш}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\omega}{a}} \int_o^{\pi} \cos \omega T d\phi = \lambda \frac{t_ш - t_n}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{\omega}{a}}, \qquad (1)$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності;

a — коефіцієнт температуропровідності, Вт/см² К;

$t_ш$ — температура бігової доріжки шини в зоні контакту, °С;

t_n — температура поверхні покриття (практично дорівнює температурі повітря);

ω — частота циклів передачі тепла (залежить від інтенсивності руху), сек;

T — час контакту, сек.

Тепло, що виділяється в зоні контакту, впливає на опір ковзанню мокрих і зледенілих покриттів, а також на покриття, уражене водно-кислим середовищем. Вплив цього середовища на покриття залежить від температури. Чим нижче температура, тим більше в'язкість середовища і вище коефіцієнт тертя.

Експериментами встановлено, що підвищення температури водно-емульсійного середовища на 1°С супроводжується зниженням коефіцієнта зчеплення на 0,013…0,014 через прояв «мильного ефекту» на поверхні шару зносу. При температурі нижче нуля водно-емульсійний шар починає промерзати, в перші 30–40 хвилин сили тертя збільшуються через видалення морозом вологого середовища і появи на поверхні шару абразивної кірки, дія якої знижується після безперервного впливу 7…9 тисяч коліс автотранспорту на покриття. З його порушенням сили тертя поступово знижуються, вигладжується поверхня шару й абразив перетворюється в інертний пил, що сприяє зниженню зчіпних якостей покриття.

Коли з водно-емульсійного шару залишається тонка плівка води (льоду) сили тертя будуть мінімальними — покриття найбільш небезпечне і вимагає зниження швидкостей руху усього виду транспорту і проходження гусеничних машин для часткового руйнування крижаного шару.

Поява на покритті «чистих місць», а також контактних вершин, дає можливість протекторам шин з мінімальним пробуксовуванням збільшувати швидкість руху на даних ділянках.

Іноді цей ефект буває обманним, що може викликати збільшення частоти дорожньо-транспортних пригод.

По Д.Ф. Морре, зниження температури поступово збільшує в'язкість плівкової води і тим самим збільшується напруження зрушення:

$$\sigma_{сдв} = \mu \cdot V / h, \tag{2}$$

де μ — в'язкість водно-емульсійного середовища;

V — швидкість ковзання;

h — товщина шару води на кристалах льоду.

При цьому зростає на якийсь час сила тертя:

$$F = \sigma_{сдв} \cdot S_ф = S_ф \cdot \mu \cdot V / h, \tag{3}$$

де $S_ф$ — фактична площа контакту.

З отриманого виразу випливає, що збільшення швидкості руху приводить до деякого збільшення сили тертя в початковий момент часу при проході перших автомобілів.

В'язкість водно-кислотного середовища залежить, насамперед, від концентрації окислів і часу застою стічних вод. При цьому можливі значні коливання сили тертя при зміні вищевказаних факторів [2].

Підвищення швидкості руху, хоча і супроводжується збільшенням температури бігової доріжки шин, сприяє зменшенню кількості тепла, переданого водно-кислотному середовищу.

На гладких і макрошорсткуватих покриттях навантаження на колеса забезпечує різний питомий тиск на опорну поверхню. На макрошорсткуватих покриттях відбувається концентрація напружень на виступах кам'яних часток.

На грубошорсткуватій поверхні сприйняття вертикального навантаження відбувається через нерівності макрошорсткості. У результаті зменшення фактичної площі контакту питоме навантаження на виступ макрошорсткості різко зростає.

Промерзання вологого шару покриття охоплює собою цілу групу явищ особливо важливих для структурного стану шару зносу. Для цих цілей досить відзначити наступні чотири сторони цього процесу:

– відбувається зміна агрегатного стану або хімічної природи тіла, що заповнює поле;

– у поле перетворення фізичної кислоти речовини λ, c, γ стрибкоподібно змінюють свої значення;

– при цьому з'являється схована теплота;

– зовсім відсутні конвективні потоки, волога поверхня в початковий момент часу у всіх своїх точках має температуру T^2.

Починаючи з визначеного моменту часу, на поверхні шару завжди підтримується постійна температура T^a. Промерзання шару відбувається при температурі T_o. Для замерзання однієї вагової одиниці шару необхідна кількість тепла, рівна Q_o.

Диференціальне рівняння

– у промерзлій частині, тобто для $x < \xi$

$$\frac{\vartheta T_1}{\vartheta t} = a_1 \frac{\vartheta^2 T_1}{\vartheta X^2} \tag{4}$$

– у непромерзлій зоні, тобто для $x > \xi$

$$\frac{\vartheta T_2}{\vartheta t} = a_2 \frac{\vartheta^2 T_2}{\vartheta X^2} \tag{5}$$

Початкова умова

для $t = 0$

$$T_2 = const = T'' \tag{6}$$

Крайові умови

на поверхні (для $x = 0$ і $t \geq 0$);

$$T_1 = T'' \tag{7}$$

на дуже великій глибині (для $x = \infty$ і $t \geq 0$);

$$T_2 = T'' \tag{8}$$

на границі промерзання (для $x = \xi$ і $t > 0$);

$$T_1 = T_2 = T_o = const \tag{9}$$

Процес промерзання:

якщо за час dt, границя промерзання пересунулася на відрізок $d\xi$, то маса промерзань за цей час землі займає обсяг $Fd\xi$, де F — розглянута ділянка границі промерзання. При цьому процесі звільняється кількість тепла, рівна $Q_o \gamma_2 Fd\xi$. Це тепло разом з теплом із ще не промерзлого ґрунту повинне бути відведене з неї через промерзлу частину, отже, ми маємо таке рівняння:

$$-\lambda_1 (\frac{\vartheta T}{\vartheta X})_{\xi-0} Fdt = -Q_o \gamma_2 Fd\xi - \lambda_2 (\frac{\vartheta T}{\vartheta X})_{\xi+0} Fdt \tag{10}$$

або

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{Q_0\gamma_2}\left[\lambda_1(\frac{\vartheta T}{\vartheta X})_{\xi-0} - \lambda_2(\frac{\vartheta T}{\vartheta X})_{\xi+0}\right] \tag{11}$$

Ці шість умов однозначно визначають температурну функцію.

Якщо C_1, D_1 і C_2, D_2 — чотири довільних константи, то тоді

$$T_1 = C_1 + D_1 G(\frac{x}{\sqrt{4a_1 t}}) \tag{12}$$

є приватним рішенням рівняння (4), а

$$T_2 = C_2 + D_2 G(\frac{x}{\sqrt{4a_2 t}}) \tag{13}$$

є приватним рішенням рівняння (5).

Тому що $G(o) = 0$ і $G(\infty) = 1$, то необхідно, щоб

$$C_1 = T'', \text{ а } C_2 \le T'' - D_2.$$

Наші приватні рішення мають тепер такий вид:

$$T_1 = T'' + D_1 G(\frac{x}{\sqrt{4a_1 t}}) \tag{14}$$

$$T_2 = T'' - D\left[1 - G(\frac{x}{\sqrt{4a_2 t}})\right] \tag{15}$$

Умова (6) також задоволена, тому що рівняння для $t = 0$ дає $T_2 = T''$.

Остання умова, яку треба задовільнити, якщо прийнято умову (9). Вона стосується значення температури на границі промерзання.

Для $t = \xi$ рівняння має вид

$$T'' + D_1 G(\frac{\xi}{\sqrt{4at}}) = T'' - D_2\left[1 - G(\frac{\xi}{\sqrt{4a_2 t}})\right] = T_o \tag{16}$$

Тому що D_1 і D_2 — константи, то це подвійне рівняння може бути справедливо для кожного t, якщо гаусовській інтеграл помилок має постійне значення. Але це можливо тільки в тому випадку, якщо аргумент функції G має постійне значення, тобто ξ пропорційно $\sqrt{t}$. Якщо q — фактор пропорційності, то

$$\xi = q\sqrt{t} \tag{17}$$

Диференціювання цього рівняння по t дає швидкість поширення границі промерзання:

$$\frac{d\varepsilon}{at} = \frac{a}{\sqrt{4t}} \tag{18}$$

Отже, спочатку швидкість поширення границі промерзання дуже велика, а потім швидко зменшується.

Далі з подвійного рівняння одержимо:

$$D_1 = \frac{T_o - T'}{G(\frac{\varepsilon}{\sqrt{4a_1 t}})} \tag{19}$$

і

$$D_2 = \frac{T'' - T_o}{1 - G(\frac{\varepsilon}{\sqrt{4a_2 t}})} \tag{20}$$

Якщо взяти до уваги обидва ці значення, то приватні рішення приймають таку форму:

$$T_1 = T'' + (T_o - T'')\frac{G(\frac{x}{\sqrt{4a_1 t}})}{G(\frac{a'}{\sqrt{4a_1}})} \tag{21}$$

$$T_2 = T'' - (T'' - T_o)\frac{1 - G(\frac{x}{\sqrt{4a_2 t}})}{1 - G(\frac{q}{\sqrt{4a_2}})} \tag{22}$$

Для визначення останнього невідомого q маємо:

$$\frac{\vartheta T}{\vartheta X} = \frac{T_o - T''}{G(\frac{a}{\sqrt{4a_1}})} \cdot \frac{e^{\frac{-x^2}{4a_1 t}}}{\sqrt{\pi a_1 t}} \tag{23}$$

$$(\frac{\vartheta T_1}{\vartheta X})_{x=\xi-0} = \frac{T_o - T''}{G(\frac{q}{\sqrt{4a_1}})} \cdot \frac{e^{\frac{-q_1}{4a_1}}}{\sqrt{\pi a_1 t}} \tag{24}$$

$$(\frac{\vartheta T_2}{\vartheta X})_{x=\xi+0} = \frac{(T'' - T_o)}{1 - G(\frac{a}{\sqrt{4a_2}})} \cdot \frac{e^{\frac{-q_2}{4a_2}}}{\sqrt{\pi a_2 t}} \tag{25}$$

Підставляючи ці значення в рівняння, маємо:

$$Q_o\gamma_2\frac{d\xi}{dt}=\frac{\lambda_1}{\sqrt{\pi a_1 t}}(T_0-T'')\cdot\frac{e^{\frac{-q^2}{4a_1}}}{G(\frac{a}{\sqrt{4a_1}})}+\frac{\lambda_2}{\sqrt{4\pi a_2 t}}\cdot(T''-T_o)\cdot\frac{e^{\frac{-q^2}{4a_2}}}{1-G\frac{a}{\sqrt{4a_2}}} \qquad (26)$$

Застосовуючи тепер до цього рівняння (1) і вводячи в нього $b=\sqrt{xc}$, одержуємо:

$$Q_o\gamma_2\frac{\sqrt{\pi}}{2}q=b_1(T_0-T'')\cdot\frac{e^{\frac{-q^2}{4a_1}}}{G(\frac{q}{\sqrt{4a_1}})}+b_2\cdot(T''-T_o)\cdot\frac{e^{\frac{-q^2}{4a_2}}}{1-G(\frac{a}{\sqrt{4a_2}})} \qquad (27)$$

Це вираження є трансцендентним рівнянням з невідомим q.

Його найкраще вирішувати графічним шляхом. Для цього напишемо його в такій формі:

$$const\cdot q = \text{функція } (q)$$

ліва сторона представляє пряму, що проходить через початок координатної системи.

Права сторона дає трансцендентну криву. Ці крива і пряма завжди перетинаються, але тільки в одній точці. Отже, рівняння (6) завжди має один корінь. Позначимо корінь через (q_0). Якщо вставити цей корінь (q_0) у рівняння (16), то одержимо вираження для визначення положення границі промерзання в будь-який момент часу. Вставляючи (q_0) в рівняння (23) і (21), одержимо рівняння температурного поля.

Список літератури

1. Александров В.М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками / В.М. Александров, С.М. Мхитарян. — М.: Наука. — 1983. — 488 с.

2. Александров В.М. Задача о взаимодействии тел с покрытиями при износе, тепловыделении и учете зависимости коэффициента трения от температуры (экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества/ В.М. Александров, Е.А. Губарева. — 2006. — № 2. — С. 10–15.

Аннотация. *В статье проанализированы основные вопросы взаимодействия колеса автомобиля с верхним слоем дорожного покрытия с учетом износа поверхности слоя покрытия и резиновой поверхности колес транспорта. Установлено, что при увеличении температуры в полосе наката уменьшаются сцепляющие свойства дорожного покрытия, особенно в межсезонный период года.*

Abstract. *This article has analyzed the main subjects of the interaction of car's wheel with the upper layer of road surfacing concerning surface deterioration of surfacing layer and rubber surface of vehicle's wheels. Discovered that with temperature increase in lane dead floor clutch properties of road surfacing decrease especially in transitional period of year.*

Стаття надійшла до редакції 10.12.2010 р.

УДК 629.113

ТКАЧЕНКО В. П., д.т.н., проф.,
Донецька академія автомобільного транспорту;
САКНО О.П., аспірант, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ФАКТИЧНОГО РЕСУРСУ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН РІЗНИХ ВИДІВ АВТОТРАНСПОРТУ

Наведені статистичні дані про фактичні ресурси пневматичних шин автобусів, легкових та вантажних автомобілів в умовах Донецького регіону, проаналізовані закони розподілу фактичного ресурсу, виявлений відсоток шин, що не допрацьовують до показників згідно нормативних документів.

Постановка проблеми

Стан і розвиток автомобільної промисловості робить значний вплив на вирішення економічних, соціальних і науково-технічних проблем держави. Тому статистичні дані про технічний стан автотранспортних засобів (АТЗ) дозволяють вирішувати проблеми, пов'язані з підвищенням працездатності і надійності експлуатації АТЗ за рахунок забезпечення роботоспроможності і довговічності його складових елементів. Об'єктом статистичного дослідження є ресурс пневматичних шин, які використовуються на колісних транспортних засобах (КТЗ). Саме надійність автомобільної шини, її технічний стан забезпечує безпеку, комфортабельність, стійкість руху АТЗ і його економічність, що в теперішній час дуже важливо. Особливо важливим є збільшення вимог і підвищення ролі пневматичних шин у забезпеченні безпеки руху, бо тільки шина єднальний елемент між АТЗ і дорогою. На роль шин впливає збільшення автомобільного парку (особливо в містах), проблема утилізації відпрацьованих шин, ускладнення дорожньої обстановки; погіршення якості дорожнього покриття, через збільшення транспортного навантаження. Тому ресурс шин безпосередньо впливає на економічність автотранспортних підприємств (АТП) та їх безаварійну роботу. При цьому особлива увага повинна приділятись прогнозуванню фактичного ресурсу пневматичних шин та правильному коригуванню норм ресурсу наведених у нормативних документах. Чим точніше встановлений ресурс шин, тим більш якісним буде керування технологічним процесом обслуговування шин, їх заміною, списанням, що суттєво впливає саме на безпеку руху й на економічні показники роботи АТП. Проте, вирішення цих проблем утруднене недостатньою досконалістю методів оцінки і прогнозування показників надійності шин АТЗ.

Організація сучасного обліку фактичного ресурсу шин з використанням комп’ютерної техніки в умовах конкретних підприємств з урахуванням їх виробничих особливостей дозволить конкретизувати норми, що можуть поліпшити процес використання шин. Особливо це важливо в умовах Донецького регіону, що досить насичений КТЗ, що використовуються в складних умовах крупних міст, техногенного впливу, хімічного забруднення, складних виробничих завдань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що є проблема підвищення якості виготовлення автомобільних шин; розробка шин спеціального призначення з урахуванням певних дорожніх умов досить актуальна. Дуже багато публікацій присвячено взаємодії шини з дорогою у процесі експлуатації АТЗ. Особливий внесок зробили роботи Антонова Д.А., Богомолова В.А., Волкова В.П., Гецовіча Є.М., Гредеськула А.Б., Клименко В.І., Ларіна А.Н., Літвінова А.С., Певзнера Я.М., Подригало М.А., Сахно В.П., Туренко А.Н., Чудакова Є.А. та ін.

Метою статті є розробка на базі аналізу законів розподілу фактичних ресурсів пневматичних шин, науково-обгрунтованих рекомендацій з підвищення економічності й довговічності шин на основі вдосконалення методів оцінки і розрахунків їх рівня експлуатаційних показників. Проблема полягає в недостатньому рівні розрахунку показників надійності автомобільних шин, а саме: їх ресурсу та їх здібності зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують виконання необхідних функцій протягом терміну експлуатації.

Останнім нормативним документом, регламентуючим експлуатаційні норми середнього ресурсу пневматичних шин є наказ №488 Міністерства транспорту й зв'язку України від 20.05.2006 [1]. В ньому наведена методика коригування норм ресурсу в залежності від умов експлуатації.

Мета статті

Дана публікація має за мету порівняльний аналіз статистичних законів розподілу ресурсу пневматичних шин, систематизацію фактичних даних про терміни експлуатації пневматичних шин КТЗ в реальних умовах Донецького регіону для різних видів шин, визначення напряму подальших досліджень для видів автомобільного транспорту з найбільш непрогнозованими ресурсами шин та з розробкою рекомендацій для кожного конкретного підприємства.

Матеріали і результати дослідження

Для порівняльного аналізу статистичних законів розподілу ресурсу шин була зібрана інформація щодо ресурсу шин на підприємствах Донецького регіону: СП «Автобаза» ДП «Орджонікідзевугілля» (м. Єнакієво), ДП «Донецький облавтодор» філії «Мар'їнський автодор» ВАТ «Державна акціонерна компанія «Автомобільні дороги України» (Мар'їнський район), КП ДРСУ (м. Донецьк), ВАТ «Автосоюз» (м. Донецьк), ВАТ «Авторесурс Донбасу», АТП КПП ДГС «Донелектроавтотранс». При цьому збиралися дані про фактичні ресурси шин всіх основних видів КТЗ: автобуси, легкові та вантажні. Фактичний матеріал разом з нормативними й відкоригованими згідно наведеної в [1] методиці ресурсами пневматичних шин приведено в табл. 1. Практична обробка статистичних даних буде реалізовано за допомогою електронної таблиці Excel.

Норми для фактичних умов експлуатації відрізняються від встановлених для нормальних умов. Такі норми необхідно корегувати згідно методики, яку пропонує Міністерство транспорту та зв'язку України [1]:

$$N = N_{ну} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \qquad (1)$$

де $N_{ну}$ — норма середнього ресурсу для нормальних умов експлуатації, тис. км;

k_1 — коефіцієнт корегування в залежності від дорожньо-кліматичних умов експлуатації;

k_2 — коефіцієнт корегування в залежності від інтенсивності експлуатації пневматичних шин;

k_3 — коефіцієнт корегування в залежності від тривалості умов експлуатації пневматичних шин;

k_4 — коефіцієнт корегування в залежності від використання вантажопідйомності (пасажиромісткості);

k_5 — коефіцієнт корегування для пневматичних шин автомобілів-тягачів автопоїздів, які постійно використовують з причепами;

k_6 — коефіцієнт корегування в залежності від відношення пробігу в місті до пробігу за межами міста.

Таблиця 1

Фактичний ресурс пневматичних шин на підприємствах Донецького регіону

Марка КТЗ, позначення пневматичної шини	Кількість досліджених шин (n)	Фактичний ресурс (тис. км)		Норматив ресурсу (тис. км) ($t_{норм}$)	Відкоригований ресурс, (тис. км) ($t_{норм.кориг}$)
		min (t_{min})	max (t_{max})		
Автобуси					
КАВЗ-685 Біла церква 9.00R20	44	45	168,8	64,0	56,0
ПАЗ-32 054 ЯШЗ 8.25R20	166	34,8	100	80,0	70,0
ПАЗ-32 054 ДШЗ 8.25R20	166	75	100	90,0	78,8
БАЗ АО-7920 Sava (hankook) 215/75R17,5	166	64,05	83,95	70,0	61,3
МАЗ-104 021 ЯШЗ 11/70R22,5	156	42,48	88,3	65,0	56,9
МАЗ-1 050 660 CORMORAN 275/70R22,5	156	59,9	128,06	66,0	57,8
МАЗ-104 021 CORMORAN 275/70R22,5	156	34,43	162,16	100,0	87,5
МАЗ-104 021 Белшина 11/70R22,5	156	40,35	87,66	50,0	43,8
ЛАЗ-А18 301 Longmarch 275/70R22,5	154	61,32	108,5	60,0	52,5
Легкові автомобілі					
Skoda Fabia Мишлен	97	51,69	77,99	60,0	52,5
ВАЗ-21 011 Біла церква 175/70R13 БЦ-4	108	30,74	96,28	65,0	56,9
ГАЗ-2410,–3102 195/65R15 БЦ-3	108	37,4	96,3	65,0	56,9
Daewoo Lanos Rosava БЦ-20 175/70R13 8T	166	40,02	60,0	45,0	39,4
Daewoo Lanos Rosava 185/60R14	48	53,0	70,0	60,0	52,5
Daewoo Lanos Rosava 185/60R14 BC49	126	50,0	76,1	60,0	52,5
Daewoo Lanos Amtel 175/70 R13	60	53,0	70,0	60,0	52,5
Daewoo Leganza Continenta l195/65R15	48	50,0	70,0	60,0	52,5
Daewoo Lanos Белшина 175/70R13	50	52,0	58,0	45,0	39,4
Daewoo Lanos Debica 175/70R13	60	55,0	73,0	60,0	52,5
Вантажні автомобілі					
КамАЗ-5511 Rosava 9,00R20	166	50,04	67,7	60,0	52,5
КамАЗ-5410 Rosava 9,00R20	40	75,0	90,0	80,0	60,0
КамАЗ-5511 ДШЗ 10,00R20	80	25,2	47,7	30,0	23,5
КамАЗ-5511 ДШЗ 9,00R20	158	33,0	155,7	72,0	60,0
КрАЗ-6510 ДШЗ 12,00R20	80	7,16	42,3	30,0	23,5
КрАЗ-6510 Rosava 12,00R20	135	43,5	108,8	64,0	52,0

За допомогою коефіцієнтів $k_1 - k_6$ корегують норми, які встановлені для нормальних умов експлуатації, коефіцієнти k_3, k_5 — норми для особливих умов експлуатації.

Коефіцієнт k_1 корегування норм в залежності від дорожньо-кліматичних умов експлуатації визначається за формулою:

$$k_1 = k_{11} \cdot k_{12} \cdot k_{13}, \qquad (2)$$

де k_{11} — коефіцієнт корегування норм за типом дорожнього покриття;

k_{12} — коефіцієнт корегування норм за подовжнім нахилом дороги;

k_{13} — коефіцієнт корегування норм за ступенем хімічного забруднення.

Технічний стан шини повинен гарантувати, у першу чергу, безпеку дорожнього транспортного засобу — вона повинна бути стійкою проти миттєвої відмови її несучих елементів і зорієнтованого по напрямку «тримання» колеса на дорозі. Крім того, пневматична шина повинна бути економною, що, в основному, зв'язано з її ресурсом. Тому основним критерієм в дослідженні обраний саме ресурс шин та його надійне обґрунтування.

За попереднім аналізом отриманих результатів можна зробити проміжні висновки:

– майже в усіх випадках середній фактичний ресурс перевищує відкоригований нормативний ресурс;

– для легкових автомобілів у 8 випадках з 10, а для автобусів у 5 випадках з 9 навіть мінімальний фактичний ресурс перевищує нормативний;

– найбільш непередбачуване співвідношення фактичних і нормативного ресурсів присутнє для вантажних авто, що вимагає подальшої перевірки, більш поглибленого дослідження ресурсів шин;

– марка автомобіля та його технічний стан суттєво впливає на ресурс шин одного й того ж виробника.

Аналіз причин списання шин та видів технічного обслуговування шин на АТП виявив, що початковими руйнуваннями покришок є утворення пор, викрашування і порізи покривної гуми, а також її зрізи, вириви, розриви і подряпини, пробої, проколи і тріщини матеріалу шин. Проміжне руйнування включає: злам, розшарування і розрив елементів шин, відшарування протектора від брекера і протектора разом із брекером від каркасу, відшарування металево-кордної бортової стрічки, розриви каркаса, розриви дроту борта і місцевий розрив боковини. Все це впливає на безпеку руху та суттєво зменшує ресурс шин. Останній етап руйнування — повне руйнування. Характеризується місцевим виривом істотної маси гуми, відривом шашок протектора, відривом борта або іншим поділом шини на частини. Ці події роблять шину дуже небезпечною при русі авто й обумовлюють, як правило, дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) із важкими наслідками [2, 3]. Тому своєчасна заміна шин в плановому порядку, з запрограмованим ресурсом дозволяє підвищити як безпеку руху, так і економічні показники роботи АТП.

Існує декілька методик обробки масивів експериментальних даних, але для ресурсних випробувань найбільш раціональна методика наведена в [4, 5].

Для побудови гістограм для різних видів АТЗ (рис. 1, 2, 3) визначається кількість інтервалів (по формулі Хайнхольда і Гаєде) та розраховуються вірогідністні статистичні характеристики розподілів [4, 5, 6, 7]:

$$0,55 \cdot n^{0,4} \le k \le 1,25 \cdot n^{0,4}, \tag{3}$$

де n — сумарне число досліджених автомобільних шин, од;

k — кількість інтервалів.

Довжину інтервалу визначається за формулою:

$$T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k}, \tag{4}$$

де t_{max} і t_{min} — найбільше і найменше значення фактичного ресурсу автомобільної шини, тис. км.

Експериментальна вірогідність ресурсу в заданому інтервалі визначається за формулою:

$$p_i = \frac{m_i}{n}, \tag{5}$$

де m_i — експериментальна частотність в i-му інтервалі.

Середнє значення $\bar{l}$, середні квадратичні відхилення σ і значення коефіцієнта варіації v визначається за формулами:

$$\bar{l} = \sum_{i=1}^{k} l_{ci} \cdot p_i; \tag{6}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} \left(l_{ci} - \bar{l} \right)^2 \cdot p_i}; \tag{7}$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{l}}, \tag{8}$$

де k — число інтервалів у статистичному ряду;

l_{ci} — значення середини i-го інтервалу.

В результаті обчислень визначено, що напрацювання на відмову шин всіх видів АТЗ підкоряється нормальному закону розподілу (за винятком 1 випадку).

Щільність теоретичної вірогідності відмови (рис. 1, 2, 3) визначається за формулою:

$$f(l) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l-\bar{l})^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \tag{9}$$

Для більш повної характеристики законів розподілу ресурсу шин також розраховується значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу ресурсного випробування за формулами:

$$A = \frac{\mu_3}{\sigma^3}; \tag{10}$$

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \tag{11}$$

де μ_3, μ_4 — центральні моменти 3-го і 4-го порядку випадкової величини l_{ci}.

При цьому центральний момент j-го порядку

$$\mu_j = M\left(\left[l_{ci} - \bar{l} \right]^j \right), \tag{12}$$

де M — математичне очікування випадкової величини l_{ci}.

Міра близькості емпіричного розподілу до теоретичного була оцінена за допомогою критерія згоди Колмогорова [4].

Статистична характеристика напрацювання на відмову автомобільних шин представлена в таблиці 2.

Крім того, розрахована вірогідність відмови пневматичних шин до досягнення нормативного ресурсу, яку наведено в таблиці 2 та графічно на рис. 1, 2, 3 найбільш характерні випадки (область заштрихована):

$$P_{від} = 0,5 \mp \Phi(z), \tag{13}$$

де нормована функція Лапласа:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp^{-\frac{z^2}{2}} dz, \tag{14}$$

визначається за спеціальною таблицею [4].

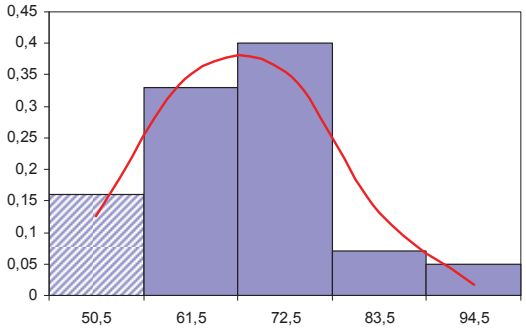
Таблиця 2

Статистична характеристика напрацювання на відмову автомобільних шин

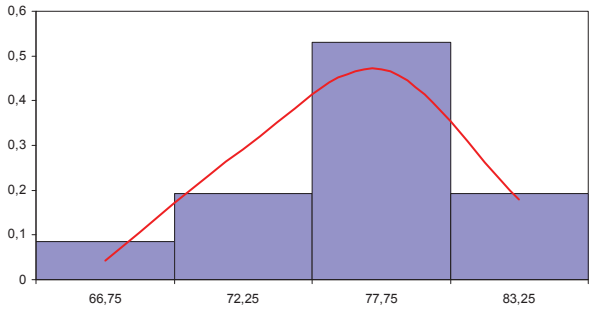
Позначення марки шини	$\bar{l}$ тис. км	σ тис. км	Щільність розподілу	Вірогідність відповідності за критерієм Колмогорова	A, коефіцієнт асиметрії	E, коефіцієнт ексцесу	$P_{від}$ вірогідність відмови до досягнення ресурсу
Автобуси							
Біла церква 9.00 R20	67,13	10,97	$f(t) = 0,036e^{-\frac{(l_i-67,13)^2}{240,68}}$	1,0	0,39	0,05	31,9
ЯШЗ 8.25 R20	77,93	9,94	$f(t) = 0,04e^{-\frac{(l_i-77,93)^2}{197,6}}$	1,0	–0,496	0,49	34,1
ДШЗ 8.25 R20	93,03	4,57	$f(t) = 0,087e^{-\frac{(l_i-93,03)^2}{41,8}}$	1,0	–0,55	0,68	0,25
Sava (hankook) 215/75R17,5	76,82	4,58	$f(t) = 0,087e^{-\frac{(l_i-76,82)^2}{41,91}}$	0,997	–0,55	–0,09	0,2
ЯШЗ 11/70 R22,5	65,81	11,77	$f(t) = 0,034e^{-\frac{(l_i-65,81)^2}{277,07}}$	1,0	–0,09	–1,09	30
CORMORAN 275/70R22,5	101,07	14,28	$f(t) = 0,028e^{-\frac{(l_i-101,07)^2}{40,78}}$	1,0	–0,34	–0,30	0,5
CORMORAN 275/70R22,5	119,18	26,39	$f(t) = 0,015e^{-\frac{(l_i-119,18)^2}{1392,86}}$	0,9706	–0,54	–0,11	13,6
Белшина 11/70R22,5	66,37	11,12	$f(t) = 0,036e^{-\frac{(l_i-66,37)^2}{247,3}}$	0,997	0,14	–0,26	8,02
Longmarch 275/70R22,5	81,99	11,59	$f(t) = 0,034e^{-\frac{(l_i-81,99)^2}{268,66}}$	1,0	0,22	–1,03	0,95

Продовження таблиці 2

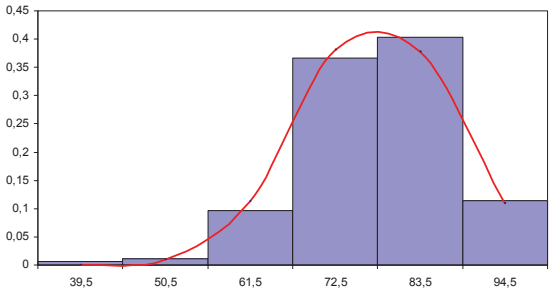
Позначення марки шини	$\bar{l}$ тис. км	σ тис. км	Щільність розподілу	Вірогідність відповідності за критерієм Колмогорова	A, коефіцієнт асиметрії	E, коефіцієнт ексцесу	$P_{від}$ вірогідність відмови до досягнення ресурсу
Легкові автомобілі							
Skoda Fabia Мишлен	68,44	5,45	$f(t)=0{,}073e^{-\frac{(l_i-68{,}44)^2}{59{,}4}}$	1,0	–0,67	0,447	0,15
Біла церква 175/70R13 БЦ-4	73,43	18,33	$f(t)=0{,}022e^{-\frac{(l_i-73{,}43)^2}{671{,}98}}$	0,97	–0,38	–0,73	18,40
195/65R15 БЦ-3	74,42	16,71	$f(t)=0{,}024e^{-\frac{(l_i-74{,}42)^2}{558{,}45}}$	0,998	–0,45	–0,52	14,70
Rosava БЦ-20 175/70R13 8T	47,3	3,37	$f(t)=0{,}118e^{-\frac{(l_i-47{,}3)^2}{22{,}7}}$	0,864	0,27	0,78	0,87
Rosava 185/60R14 BC 49	63,13	4,41	$f(t)=0{,}09e^{-\frac{(l_i-63{,}13)^2}{38{,}9}}$	0,997	–0,76	–0,18	2,01
Rosava 185/60R14	61,79	4,7	$f(t)=0{,}085e^{-\frac{(l_i-61{,}79)^2}{44{,}18}}$	1,0	0,06	0,007	2,40
Amtel 175/70 R13	60,33	2,78	$f(t)=0{,}144e^{-\frac{(l_i-60{,}33)^2}{15{,}46}}$	0,964	0,61	0,13	0,24
Continental 195/65R15	60,94	4,5	$f(t)=0{,}089e^{-\frac{(l_i-60{,}94)^2}{40{,}5}}$	1,0	–0,395	–0,49	3,05
Белшина 175/70R13	47	3,79	$f(t)=0{,}105e^{-\frac{(l_i-47)^2}{28{,}73}}$	0,957	0,99	1,16	2,30
Debica 175/70R13	60,9	4,12	$f(t)=0{,}097e^{-\frac{(l_i-60{,}9)^2}{33{,}95}}$	0,393	0,75	–0,53	2,07
Вантажні автомобілі							
КамАЗ-5511 Rosava 9,00R20	59,98	3,99	$f(t)=0{,}1e^{-\frac{(l_i-59{,}98)^2}{31{,}84}}$	1,0	–0,077	–0,72	3,10
КамАЗ-5410 Rosava 9,00R20	82,48	4,23	$f(t)=0{,}094e^{-\frac{(l_i-82{,}48)^2}{35{,}79}}$	0,9739	0,35	–0,96	0,50
ДШЗ 10,00R20	37,71	5,81	$f(t)=0{,}069e^{-\frac{(l_i-37{,}71)^2}{67{,}51}}$	1,0	0,04	–0,36	0,80
ДШЗ 9,00R20	90,66	29,74	$f(t)=0{,}013e^{-\frac{(l_i-90{,}66)^2}{1768{,}94}}$	0,997	0,07	–0,52	15,20
ДШЗ 12,00R20	27,3	10,93	$f(t)=0{,}036e^{-\frac{(l_i-27{,}3)^2}{238{,}93}}$	0,92	–0,05	–1,09	36,40
Rosava 12,00R20	66,62	13,2	$f(t)=0{,}03e^{-\frac{(l_i-66{,}62)^2}{348{,}48}}$	0,864	0,34	0,44	13,40



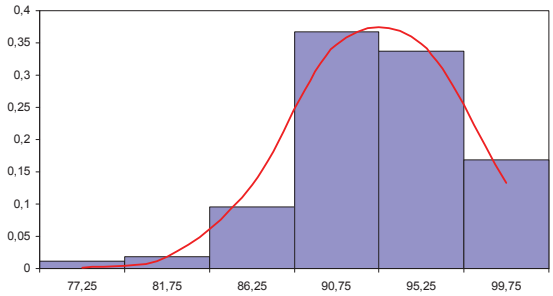
КАВЗ-685 Біла церква 9.00 R20



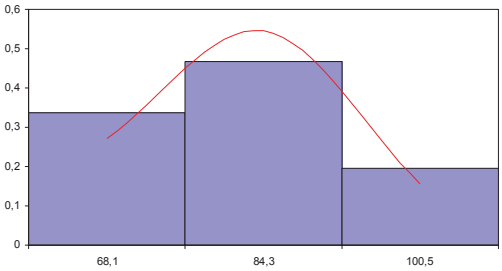
БАЗ АО-7920 Sava (hankook) 215/75R17,5



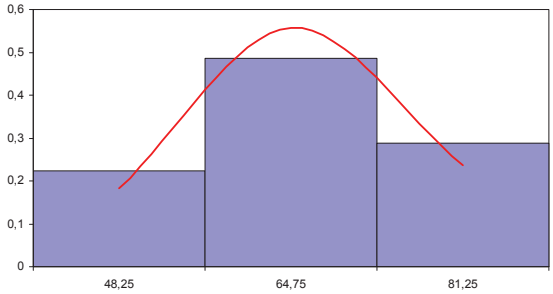
ПАЗ-32054 ЯШЗ 8.25 R20



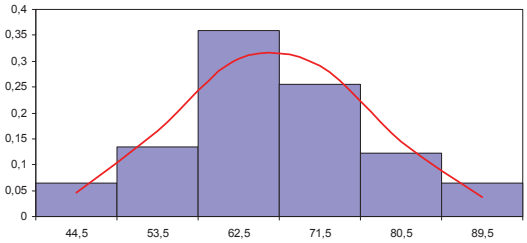
ПАЗ-32054 ДШЗ 8.25 R20



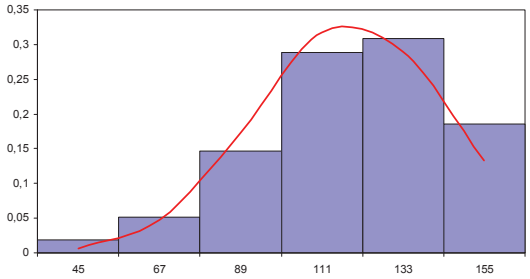
ЛАЗ-А18301 Longmarch 275/70R22,5



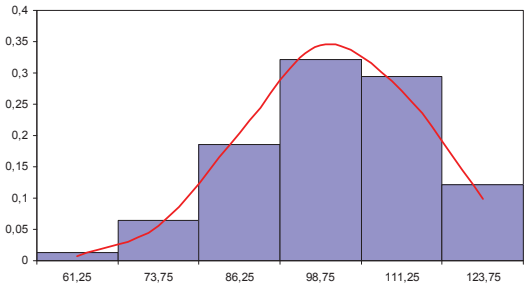
МАЗ-104021 ЯШЗ 11/70 R22,5



МАЗ-104021 Белшина 11/70R22,5

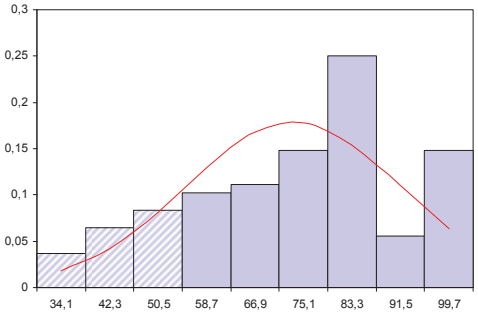


МАЗ-104021 CORMORAN 275/70R22,5

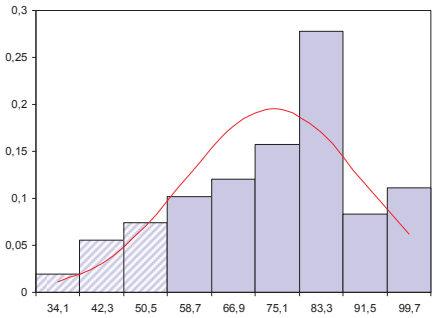


МАЗ-1050660 CORMORAN 275/70R22,5

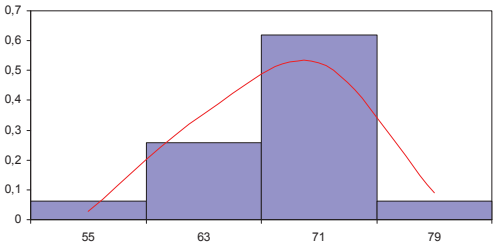
Рис. 1. Гістограми і теоретичні криві розподілу наробітки на відмову шин автобусів



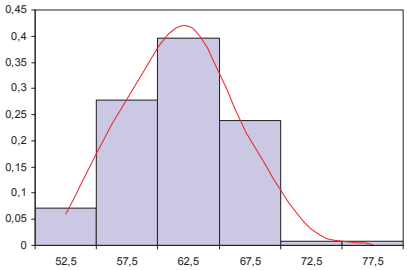
ВАЗ-21011 Біла церква 175/70R13 БЦ-4



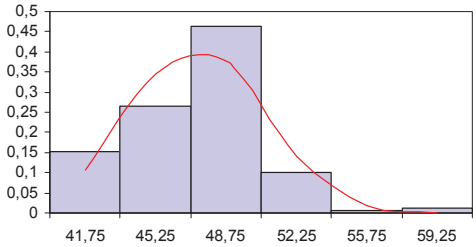
ГАЗ-2410,-3102 195/65R15 БЦ-3



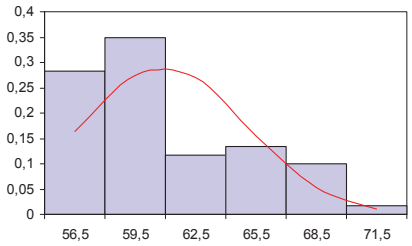
Skoda Fabia Мишлен



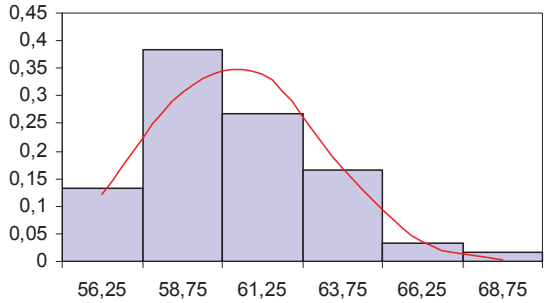
Rosava 185/60R14



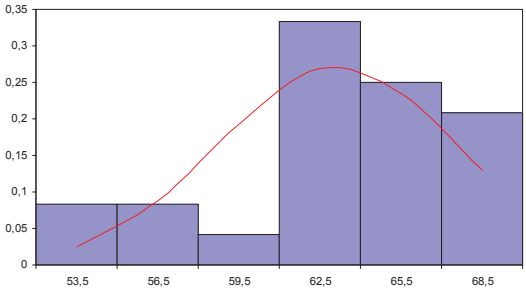
Rosava БЦ-20 175/70R13 8T



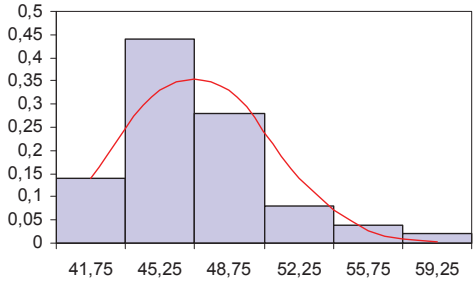
Debica 175/70R13



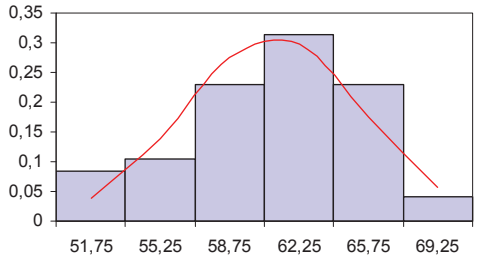
Amtel 175/70 R13



Rosava 185/60R14 BC 49



Белшина 175/70R13



Continental 195/65R15

Рис. 2. Гістограми і теоретичні криві розподілу наробітки на відмову шин легкових автомобілів

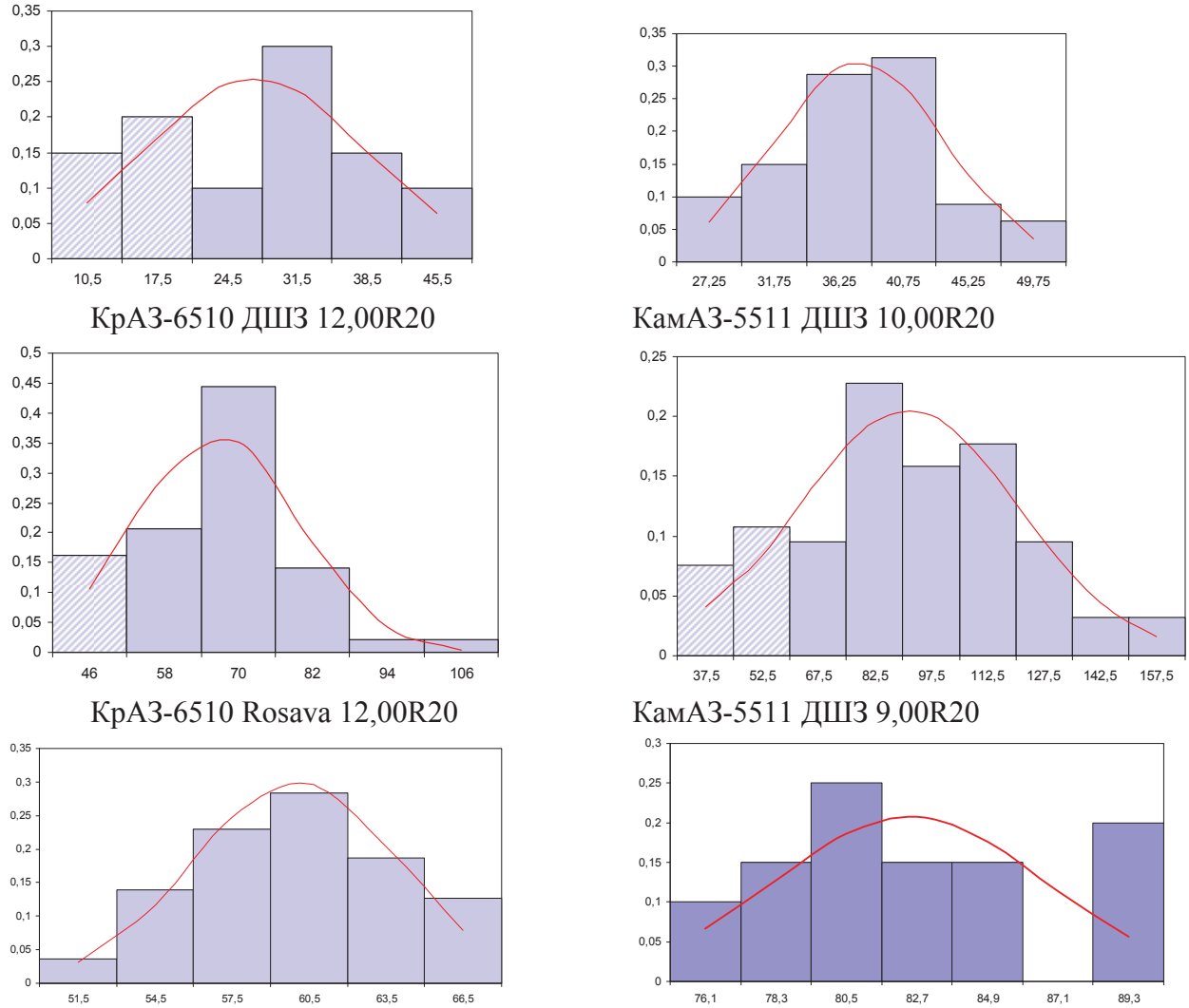


Рис. 3. Гістограми і теоретичні криві розподілу наробітки на відмову шин вантажних автомобілів

Статистичний аналіз даних, що наведені в таблиці 2 дозволяє зробити такі висновки.

Для всіх типів шин та автомобілів математичне очікування ресурсу перевищує відкоригований нормативний ресурс шин. Для автобусів це перевищення складає 20–40%, для легкових шин 3–10%, для вантажних автомобілів це перевищення не є стабільним показником.

Для вантажних автомобілів значно більший відсоток досліджених шин (10–40%) не відпрацював до нормативного ресурсу.

Значне розсіювання ресурсу шин найбільш характерно для вантажних автомобілів (середнє квадратичне відхилення до 35–50% математичного очікування ресурсу), найбільш стабільні показники ресурсу для легкових шин (середнє квадратичне відхилення 3–10% математичного очікування ресурсу).

Для вантажних автомобілів найбільш характерний закон розподілу з розмитою вершиною, можна вважати наближенням до пласко вершинної залежності.

Для вантажних автомобілів характерна невиражена асиметрія закону, в той же час для автобусів і легкових АТЗ в деяких випадках виражена асиметрія в сторону збільшення фактичного ресурсу.

Підприємства автомобільного транспорту мають суттєвий резерв підвищення економічних показників за рахунок більш точного прогнозування ресурсу роботи пневматичних шин, повного використання їх можливостей.

Таким чином, найбільш дослідженими й відповідаючими нормативним показникам є шини легкових автомобілів. Це пояснюється значно більшою кількістю легкових автомобілів в експлуатації, більшими партіями виробництва, стабільними умовами експлуатації (дорожні умови, завантаження, швидкість руху, керованість та інше).

Найменш дослідженими є питання експлуатації шин вантажних автомобілів та спеціалізованого рухомого складу. Кількість цієї техніки значно менше, а значить менше фактичного матеріалу для статистичного дослідження, шини випускаються меншими партіями, що впливає на технологію виробництва, ця техніка часто експлуатується в дуже складних умовах (перевантаження, складні дорожні умови, значно довший період експлуатації, рідше технічне обслуговування). Тому ресурс цих шин має широкий спектр розсіювання, й важко передбачити реальний ресурс, він сильно відрізняється від нормативу. Звідси можна зробити головний висновок — саме шини вантажних автомобілів є найменш дослідженими, й прогнозування їх ресурсу важка й складна задача.

Висновки

Актуальною та дуже важливою проблемою є розрахунок реальних нормативів ресурсу шин вантажних автомобілів та спеціалізованого рухомого складу для кожного конкретного підприємства, конкретних реальних умов експлуатації КТЗ. Враховуючи вагу й вартість цих шин, систематизація їх використання за рахунок ефективного прогнозування та статистично обґрунтованих нормативів, дозволить підвищити економічну ефективність використання шин, тому необхідність проведеного дослідження та його подальшого поглиблення очевидна.

Для цього необхідно провести ресурсні дослідження з контролем зносу протягом всього терміну експлуатації. Це дозволить глибше зрозуміти фактори, що впливають на ресурс шин, відпрацювати рекомендації для технічного обслуговування, розробити організаційні заходи, що впливають на ресурс шин та його облік.

Список літератури

1. Норми витрат палива для автомобілів, норми ресурсу шин та акумуляторів/Уклад. В. Кузнєцов. — Х.: Фактор, 2009. — 528 с.

2. Ларин А.Н. Колесные узлы современных автомобилей/ А.Н. Ларин, Е.Е. Черток, А.Н. Юрченко — Х.: «С.А.М.». — 2004. — 260 с.

3. Юрченко А.Н. Автомобильные шины (требования, эксплуатация, износ). — Харьков: ДП ХМЗ «ФЭД», 2003. — 115с.

4. Шпаков П.С. Статистическая обработка экспериментальных данных / П.С. Шпаков, В.Н. Попов: учебное пособие. — М.: МГГУ, 2003. — 268 с.

5. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. — М.: Издательство «Мир», 1970. — 368 с.

6. Кравченко А.П. К вопросу анализа надежности автомобильных шин /А.П. Кравченко, О.П. Сакно // Вісник СНУ ім. Володимира Даля — 2010 — № 6 (148) — С.218–222.

7. Кравченко О.П. Порівняльний аналіз норм та фактичного ресурсу шин автотранспорту в умовах Донбасу / О.П. Кравченко, О.П. Сакно, О.В. Лукічев // Вісник СНУ ім. Володимира Даля — 2010 — № 7 (149) — С.110–114.

Аннотация. *Приведены статистические данные о фактических ресурсах пневматических шин автобусов, легковых и грузовых автомобилей в условиях Донецкого региона, проанализированы законы распределения фактического ресурса, рассчитан процент шин, которые не дорабатывают до показателей согласно нормативным документам.*

Abstract. *Statistical information is resulted about the actual resources of pneumatics of busses, passenger and freight cars in the conditions of the Donetsk region, analysed laws of distributing of actual resource, the percent of tires which do not finish off to the indexes in obedience to normative documents is expected.*

Стаття надійшла до редакції 23.09.2010 р.

УДК 629.463

ВОРОПАЙ В.С., аспирант, ГУБЕНКО В.К., д.т.н., проф.,
Приазовский государственный технический университет,
ЛЕБЕДЕВ С.В., зам.директора ИЦ «Азовмаштест», г. Мариуполь

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ-ЦИСТЕРН ОАО «АЗОВМАШ» НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ

Статья посвящена вопросам надежности работы специализированных вагонов-цистерн путем проведения предварительных испытаний с использованием настоящей программы и методики. В этой статье приведено описание основных этапов методики испытаний, перечислены методы испытаний, рассмотрены конструктивные особенности испытуемого объекта.

Вступление

В настоящее время существует проблема, связанная с повышенной аварийностью средств промышленного транспорта. Требования к безопасности, безотказности и долговечности работы делают весьма важной оценку состояния транспортной единицы, ее надежности. Основное назначение технической диагностики — повышение надежности и определение остаточного ресурса с помощью раннего обнаружения дефектов и оптимизации процессов технического обслуживания.

Многолетний опыт работы испытательного центра «Азовмаштест» на базе ОАО «МЗТМ» позволил разработать программы и методики как технического диагностирования, так и предварительных испытаний. Испытательный центр проводит испытания специализированных вагонов-цистерн парков промышленных предприятий не только Украины, но и ближнего зарубежья.

Цель статьи

Разработка методики проведения предварительных испытаний аммиачного вагона-цистерны.

Основная часть

Программа и методика устанавливает требования к проведению предварительных испытаний вагонов-цистерн для перевозки аммиака модели 15-1597-10 (цистерны модели 15–1597 после проведения капитального ремонта с продлением срока полезного использования).

В объем испытаний включаются:

– статические;
– испытания на соударение;
– испытания по сбрасыванию с клиньев;
– испытания на ограниченный ресурс.

Например, для аммиачных вагонов-цистерн рекомендуется проводить испытания котла: а) на прочность (водой, пробное Р); б) на герметичность (газом, рабочее Р). Также испытания арматуры (клапан, вентиль), устройства погрузки, устройства разгрузки.

Ниже приведены характеристики методов испытаний.

Рис. 1. Схема определяемых параметров при проведении испытаний

Рис. 2. Схема оценки технического состояния котла и его устройств

В процессе испытаний методом тензометрирования измеряются и регистрируются фактические деформации в исследуемых элементах цистерны, методом акустической эмиссии выявляется наличие развивающихся дефектов. Контроль механических свойств металла котла выполняется методом измерения твердости.

Установку первичных измерительных преобразователей производят согласно ПМ1 (настоящая программа и методика) по схемам установки тензорезисторов и преобразователей акустической эмиссии в сечениях типичных профилей элементов конструкции вагонов.

Перед началом испытаний проводится внешний осмотр и проверка комплектности образца, визуально определяется его техническое состояние, производится измерение толщины элементов котла ультразвуковым методом, разметка цистерны и зачистка мест для установки тензорезисторов и датчиков акустической эмиссии.

Далее идет подготовка поверхностей, наклейка тензорезисторов и их изоляция от воздействия окружающей среды производится по существующей инструкции по наклейке тензорезисторов. Тензорезисторы располагаются на расстоянии 25–30 мм от сварного шва и 15–20 мм от кромки сопрягаемых деталей.

Перед началом испытаний на соударение проверяется состояние сварных швов, резьбовых соединений, узлов и элементов крепления оборудования.

Предварительным испытаниям подвергается 4-осная вагон-цистерна модели 15–1597–10 после капитального ремонта с продлением срока полезного использования (далее — КРП) согласно ТУ У 35.2-32 258 888-541-2003, предназначенная для перевозки аммиака жидкого технического по железным дорогам колеи 1520 мм, по которым разрешено обращение подвижного состава, построенного по габариту 1-Т ГОСТ 9238.

В состав изделия входит котел, платформа, крепление котла на раме, кожух арматуры, арматура, две наружные лестницы с площадками обслуживания.

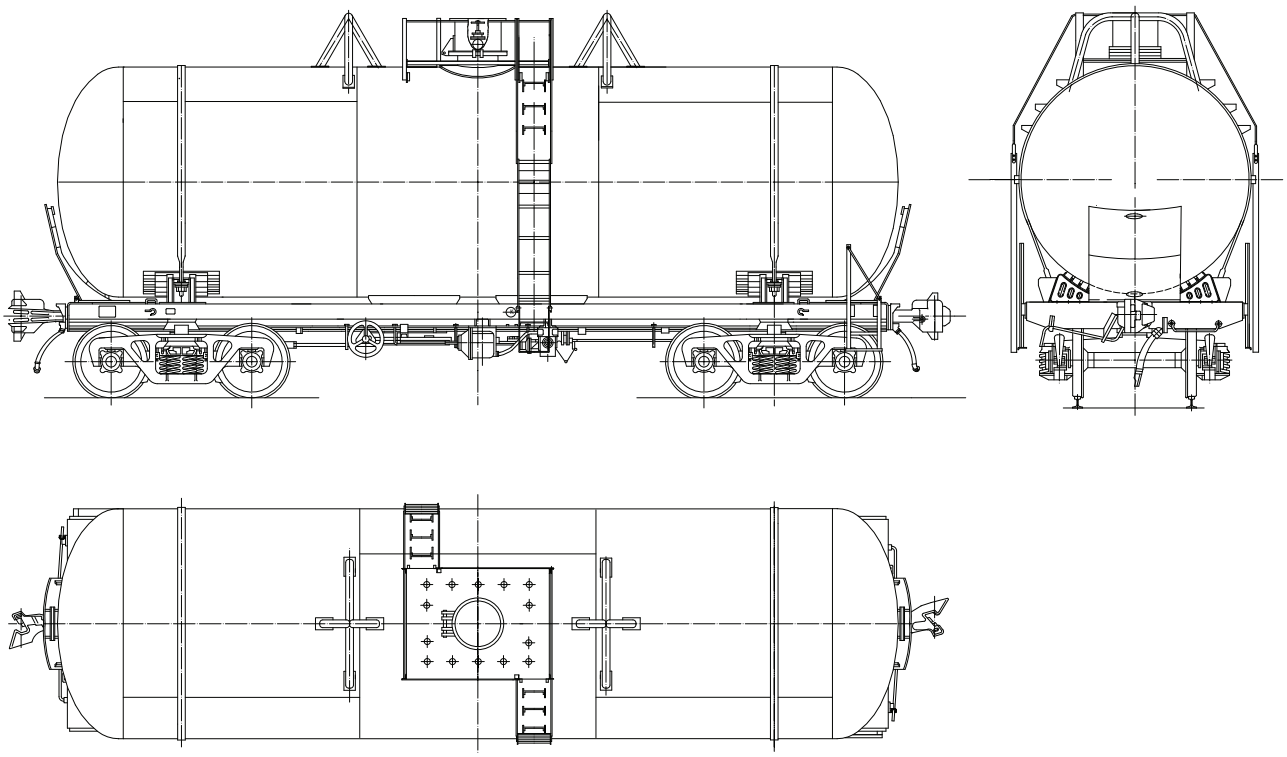


Рис. 3. Четырехосный вагон-цистерна для перевозки аммиака

Таблица 1

Основные технические характеристики цистерны приведены в таблице

Наименование показателя (параметра, размера)	Величина показателя (параметра, размера)
Максимальная грузоподъемность, т	43,0
Масса тары, т	38,0
Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	204,05 (20,8)
Длина цистерны по осям сцепления автосцепок, мм	12 020
База цистерны, мм	7800
Объем котла, м^3	75,7
Диаметр котла внутренний (номинальный), мм	3000
Толщина, мм: днища обечайки	 26 26
Рабочее давление в котле (при температуре продукта плюс 50^{0}С), МПа (кгс/см^2)	2,0 (20,0)
Расчетное давление (по предохранительному клапану), МПа (кгс/см^2)	2,23 (22,3)
Пробное давление в котле (гидравлическое), МПа (кгс/см^2)	3,0 (30,0)
Габарит	1-Т
Максимальная конструкционная скорость, км/ч	120

Котел, состоящий из цилиндрической обечайки и двух эллиптических днищ, укреплен на раме. В верхней части котла на крышке люка под кожухом арматуры установлена контрольная, сливо-наливная и предохранительная арматура, позволяющая производить погрузку-выгрузку цистерны, контролируя при этом предельные уровни продукта в котле. Установка лестницы с площадкой вокруг люка позволяет вести обслуживание, ремонт и контроль операций слива и налива цистерны как с эстакад, имеющих откидные площадки, так и на необорудованных путях.

Для защиты арматуры от повреждений в аварийных ситуациях на котле установлены ограждения в виде двух поперечных дуг.

Котел крепится к раме в средней и концевых частях. Крепление в средней части выполнено специальными болтами, запрессованными в лапы котла и рамы. Концевыми частями котел лежит на деревянных брусках, и притянут к ним хомутами.

Платформа состоит из следующих основных частей:

– рамы;
– ходовой части;
– автосцепного устройства;
– тормозного оборудования.

Рама состоит из:

– хребтовой балки;
– двух концевых балок;
– двух шкворневых балок коробчатого сечения, на которые установлены опоры котла;
– лап для крепления котла на раме.

Рама может быть новой или отремонтированной с модернизацией в соответствии с требованиями конструкторской документации на выполнение КРП. Консольная часть рамы оборудуется предохранительными щитами, смягчающими удар автосцепки соседнего вагона при аварийных ситуациях.

Ходовая часть, автосцепное и тормозное оборудование — типовое.

Все навесное и сменное оборудование проходит ревизию или заменяется новым.

Производится доработка котла — устанавливаются ограждения в виде двух поперечных дуг.

Элементы котла выполнены из листового проката из стали 09Г2С по ГОСТ 5520.

Перед началом испытаний проводится визуальный осмотр цистерны и ее составных частей. При установке котла цистерны на новую раму испытаниям подлежит только котел цистерны.

Последовательность и методика проведения испытаний, разработанных на базе ИЦ «Азовмаштест». Статические испытания на прочность.

При статических испытаниях на прочность деформации в элементах конструкции цистерны регистрируются при создании следующих испытательных нагрузок:

а) для котла

– порожняя цистерна;

– вертикальная статическая от заполнения цистерны водой до полного использования объема котла;

– внутреннее рабочее и испытательное давления, равные 2,0 и 3,0 МПа;

б) для рамы

– порожняя цистерна;

– вертикальная статическая от заполнения цистерны водой до полного использования объема котла;

– продольные сжимающие силы, равные 1,0 и 2,5 МН;

– продольные растягивающие силы, равные 1,0 и 2,0 МН;

Измерение деформаций производится в следующих зонах:

а) котел

– обечайка котла;

– днище;

– обечайка в опорной зоне котла;

– обечайка в зоне люка;

– обечайка в зоне лап;

б) рама

– хребтовая балка;

– шкворневая балка;

– боковая балка;

– концевая балка.

Для получения достоверных результатов по каждому режиму нагружения регистрация показаний проводится не менее 3-х раз при устойчивых показаниях приборов.

В процессе статических испытаний котла на внутреннее давление проводится исследование методом акустической эмиссии.

Испытания на повторно-статическое (малоцикловое) нагружение котла внутренним рабочим и пробным давлением.

После анализа результатов статических испытаний проводятся испытания на повторно-статическое нагружение внутренним рабочим и испытательным давлением (на ограниченный ресурс) путем нагружения рабочим 2.0 МПа (40 нагружений) и в конце испытаний -испытательным 3,0 МПа давлением (1 нагружение). В конце испытаний производится тензометрирование и исследование методом акустической эмиссии.

Испытания на соударение и ударные ресурсные на ограниченную долговечность несущих элементов контсрукции.

Испытаниям на соударение подвергается цистерна, загруженная водой до номинальной грузоподъемности, стоящая в подпоре и свободностоящая на расстоянии 1,0–1,5 м от подпора.

Соударения проводятся со скоростями от 5,0 км/ч до максимально допустимой [2] 12–13 км/ч, либо до скорости, обеспечивающей силу удара 3,5 МН (350 т). В интервалах скоростей до 10 км/ч и свыше 10 км/ч проводится не менее 10 соударений в каждом интервале. С максимальной ударной нагрузкой производится не менее трех соударений.

В процессе испытаний ведется наблюдение за состоянием конструкции цистерны. После достижения усилия соударения 2,5 МН осмотр производится после каждого соударения.

Измерение деформаций при испытаниях на соударение производится в точках, определенных по результатам статических испытаний.

С целью сохранения испытуемой цистерны при получении положительных результатов, отвечающих требованиям «Норм…» [1], с учетом имеющегося у диагностической организации (ИЦ «Азовмаштест») опыта ранее проведенных испытаний различных типов ж.д. цистерн, ресурсные испытания образцов проводятся в объеме испытаний на ограниченный ресурс.

После анализа результатов испытаний на соударение проводятся ресурсные ударные испытания (на ограниченный ресурс) в количестве 50–70 соударений с силами соударения 2,2…3,7 МН. В процессе испытаний контролируется изменение напряженного состояния, целостность конструкции.

После окончания ресурсных ударных испытаний проверяется герметичность котла цистерны.

Испытания по сбрасыванию с клиньев, производимые на полигоне ИЦ «Азовмаштест».

Цистерна накатывается на клинья размером 400х70х28 мм с помощью локомотива. Клинья устанавливались под все колеса цистерны (имитация подпрыгивания). При этом режиме достигается максимальное нагружение всех элементов конструкции цистерны.

Испытаниям подвергалась цистерна, груженая водой до грузоподъемности.

При испытаниях по сбрасыванию с клиньев регистрируются деформация в элементах конструкции цистерны в наиболее напряженных местах, определенных по результатам предыдущих видов испытаний.

Выводы

В результате проведения испытаний, выполненных на основании разработанной ИЦ «Азовмаштест» методики, дано заключение о возможности продления срока эксплуатации аммиачных вагонов-цистерн с истекшим назначенным сроком службы. Испытания показали, что цистерны указанного типа, имеющие удовлетворительное техническое состояние, обладают остаточным ресурсом и срок их эксплуатации может быть продлен на 5 лет. Благодаря разработанной программе и методике проведения испытаний, возможно применение настоящей методики при проведении предварительных испытаний не только опытного образца ж.д. цистерн для аммиака модели 15-1597-10, но и может быть использована для проведения сертификационных, квалификационных, приемочных, типовых и других видов контрольных испытаний.

Как показала практика, преимущества технической диагностики, проводимые специалистами ИЦ «Азовмаштест» состоят прежде всего в сравнительно невысокой стоимости услуг, в то время как сложные и дорогостоящие системы диагностики других фирм, предоставляющих данного вида услуги, требуют значительных затрат от заказчика.

Список литературы

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), М., 1996 г.

2. РД 24.050.37–95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества, М., 1995 г.

3. ДНАОП 0.00–1.07–94, Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Киев, Госнадзорохрантруда Украины, 1999.

4. РД 30 277 055.001–2000, Железнодорожные вагоны-цистерны. Методика технического диагностирования котла для определения остаточного ресурса и возможности продления сроков службы, 2000.

5. Вагоны-цистерны и контейнеры-цистерны, выслужившие назначенный срок службы. Методика обследования технического состояния и предварительных испытаний (технического диагностирования), Мариуполь, 1993.

6. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам, утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участниц Содружества 05.04.96, М. 1997.

7. Правила виключення вантажних вагонів із інвентарного парку, ЦВ-0063, затв. 11.05.2005 № 151-ЦЗ, К, 2005.

8. Инструкция осмотрщику вагонов, ЦВ-0043: утв. УЗ 28.12.2001. К., 2002.

9. АЖ 62.782.00. ТО. Тензорезисторы КФ4 и КФ5. Техническое описание и инструкция по наклейке.

10. МСИ 470-05-22 «Вагоны грузовые. Методика статических испытаний на прочность», ИЦ «Азовмаштест» ОАО «МЗТМ», 2005 г.

11. МСИ 470-05-23 «Вагоны грузовые. Методика испытаний на прочность при соударении». ИЦ «Азовмаштест» ОАО «МЗТМ», 2005 г.

12. 1597.01.000 РР9. Вагон-цистерна для аммиака. Модель 15-1597-10. Котел. Расчет на прочность, ООО «ГСКБВ», Мариуполь, 2004 г.

13. Долматов А.А., Кудрявцев Н.Н. Динамика и прочность четырехосных железнодорожных цистерн // Труды ЦНИИ МПС, 1963 г.

Анотація. *Стаття присвячена питанням надійності роботи спеціалізованих вагонів-цистерн шляхом проведення попередніх випробувань із використанням справжньої програми й методики. У цій статті наведений опис основних етапів методики випробувань, перелічені методи випробувань, розглянуті конструктивні особливості випробуваного об'єкта.*

Abstract. *The article is devoted the questions of reliability of work of the specialized carriages-cisterns by conducting of preliminary tests with the use of the real program and method. Description of the basic stages of method of tests is resulted in this article, the methods of tests are transferred, the structural features of examinee object are considered.*

Стаття надійшла до редакції 05.10.2010 р.

АВТОРИ НОМЕРА

1. Базова І.В., Донецька академія автомобільного транспорту
2. Вербицький В.Г., Донецька академія автомобільного транспорту
3. Вікович І.А., Національний університет «Львівська політехніка»
4. Вілюра О.Г., Національний університет «Львівська політехніка»
5. Винокуров М.М., Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ
6. Воропай В.С., Приазовський державний технічний університет
7. Горожанкін С.А., Донбаська національна академія будівництва та архітектури
8. Губенко В.К., Приазовський державний технічний університет
9. Дугельний В.М., Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ
10. Енглезі І.П., Донецька академія автомобільного транспорту
11. Єфименко А.М., Донецька академія автомобільного транспорту
12. Загороднов М.І., Донецька академія автомобільного транспорту
13. Зубачик Р.М., Національний університет «Львівська політехніка»
14. Корчагін В.О., Ліпецький державний технічний університет, Російська Федерація
15. Костенко А.В., Донецька академія автомобільного транспорту
16. Кравченко О.П., Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
17. Куць Н.Г., Луцький національний технічний університет
18. Лебедєв С.В., ІЦ «Азовмаштест»
19. Локотош Б.М., Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
20. Морозов І.В., Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
21. Пахно О.Є., Донецька академія автомобільного транспорту
22. Петров О.В., Донецька академія автомобільного транспорту
23. Різаєва Ю.М., Ліпецький державний технічний університет, Російська Федерація
24. Савенков М.В., Донбаська національна академія будівництва та архітектури
25. Савенок Д.В., Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ
26. Сакно О.П., Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
27. Ткаченко В.П., Донецька академія автомобільного транспорту
28. Федоров Є.Є., Донецька академія автомобільного транспорту

ПРАВИЛА ПОДАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Для публікування в журналі «Вісник Донецької академії автомобільного транспорту» приймаються неопубліковані раніше наукові статті в галузі транспорту і двигунів внутрішнього згоряння; проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг; надійності й довговічності механізмів і машин; транспортних технологій.

У журналі друкуються статті українською, російською (змішаними) мовами.

Для публікації наукової статті в редакцію необхідно представити наступні документи:

– текст статті у двох примірниках;
– анотацію українською, російською та англійською мовами;
– експертний висновок про можливість відкритого публікування;
– завірену рецензію доктора наук або члена редакційної колегії;
– відомості про автора (-ів) (прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи, адреса, e-mail, службовий або домашній телефони).

Вимоги до рукописів

Стаття подається у 2-х варіантах — у друкованому вигляді на папері формату А4 (2 прим, з нумерацією сторінок) та електронному (на дискеті 3,5 дюйми).

Структура статті:

1. Код УДК (універсальний десятинний класифікатор) (вирівнювання по лівому краю).
2. Ініціали та прізвище (прізвища) автора (авторів), науковий ступінь, вчене звання, повна назва організації (вирівнювання по центру сторінки).
3. Назва статті (вирівнювання по центру сторінки).
4. Анотація мовою оригіналу статті (не більш 80 слів, ширина рядка 130 мм).
5. Основний текст статті.
6. Перелік літератури, який виконується згідно ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання» та в порядку посилання.

Текст рукопису повинен містити такі розділи, як:

– постановка проблеми, де відображається історія предмету дослідження, актуальність та сучасний стан проблеми;
– аналіз останніх досліджень, на які спирається автор, виділення невирішених раніше аспектів загальної проблеми, яким присвячується означена стаття;
– мета статті (постановка задачі);
– основний розділ (можливі підрозділи);
– висновки, де стисло та чітко підсумовуються основні результати, що були одержані автором (-ами).

Обсяг наукової статті 5–10 сторінок тексту, які включають таблиці, ілюстрації (4 рисунки дорівнюються 1 сторінці), перелік літератури. Обзорні статті — до 12 сторінок.

Текст повинен бути набраний у форматі Word for Windows версії 6.0–8.0.

– параметри сторінки — А4 (210 х 297 мм);
– орієнтація — книжкова;
– поля: верхнє — 15 мм, нижнє — 25 мм, ліве — 20 мм, праве — 20 мм;
– шрифт — Times New Roman, розмір — 12 пунктів;
– весь текст повинен бути набраний стилем «Звичайний » (Normal);
– перша строка — відступ 7,5 мм;
– міжрядковий інтервал — 1,5;
– вирівнювання — по ширині сторінки.

Таблиця повинна мати тематичну назву та порядковий номер (без знаку №), на який дається посилання у тексті.

Рисунки та графіки повинні бути пронумеровані в порядку посилання у тексті. Кожний рисунок розміщується в окремому файлі (формати bmp, tif; інші — тільки з дозволу редакції). Підписи під рисунками з номером рисунка пишуться на окремій сторінці. Кольорові та фонові рисунки не допускаються.

Усі формули повинні бути набрані у редакторі формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 (MathType). У редакторі формул повинні бути наступні параметри:

– відстань до знаку — 60%;

– розмір — звичайний — 12 пт.; великий індекс — 8 пт.; маленький індекс — 6 пт.; великий символ — 12 пт.; маленький символ — 10 пт.

Нумерація формул дається арабськими цифрами в круглих дужках праворуч.

При виборі одиниць виміру слід дотримуватись системи СІ. Ціла частина числа від десятичної відділяється комою. Посилання на джерела беруться у квадратні дужки.

Наприкінці статті розташовуються анотації двома іншими мовами.

Статті, що не відповідають вимогам, повертаються авторам для доопрацювання.