ДОНЕЦЬКА АКАДЕМІЯ автомобільного транспорту

Вісник Донецької академії автомобільного транспорту

№ 1
2012

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: nauka@diat.edu.ua
URL: journal.diat.e du.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту.
Протокол № 5 від 20.02.2012 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:
Балабін І.В., *д.т.н., професор (Російська Федерація)*
Бєлов Ю.В., *к.т.н., доцент*
Бєлоусов В.В., *д.т.н., професор*
Бруннер Х., *д.т.н., професор (Німеччина)*
Вербицький В.Г., *д.ф.-м.н., професор*
Вовк Л.П., *д.т.н., професор*
Горожанкін С.А., *д.т.н., професор*
Доля В.К., *д.т.н., професор*
Загороднов М.І., *к.т.н., доцент*
Заренбін В.Г., *д.т.н., професор*
Кравченко О.П., *д.т.н., професор*
Макаров В.А., *д.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*
Самородов В.Б., *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
Гончарук В.Л.

Коректор
Задунайська О.В.

Технічні редактори
Руденко О.В.
Сердюков Р.О.

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, 83 030
Тел.: (062) 388-21-67

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

У журнал 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, 83 086
Тел: (062) 345-21-90
E-mail: nauka@diat.edu.ua
URL: journal.diat.edu.ua

Рекомендовано до друку вченою радою Донецької академії автомобільного транспорту.
Протокол №5 від 20.02.2012 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 20.02.2012 р. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 9,8. 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, 2012**

Зміст

Транспортні технології

Федоров Е.Е., Слесорайтите Э. **Метод преобразования и идентификации речевых команд водителя на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений** 4

Енглезі І.П. **Щодо визначення найбезпечнішого маршруту руху при перевезенні небезпечних вантажів** 14

Нефедова Я.И., Лямзин А.А., Мнацаканян М.С. **Управление транспортными потоками индустриальных центров Донецкого региона** 19

Повзун А.И., Кононыхин С.В., Руденков Е.В. **Об обеспечении приоритетного проезда маршрутного пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках** 23

Попов С.Ю. **Синтез мікроскопічних та інженерно-психологічних характеристик взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на дорогах другої категорії** 29

Толок О.В., Калінін О.В., Мастепан О.В. **Проблеми методичного забезпечення вибіркових обстежень інтенсивності руху транспорту на мережі міських вулиць і доріг** 34

Новаковски П., Сладковски А. **Информационная система, позволяющая выяснить состав материалов деталей технических средств в процессе демонтажа** 39

Абрамова Л.С., Ширин В.В. **Модельный эксперимент поведения транспортного потока на улично-дорожной сети города в заторовом режиме движения** 47

Транспорт і двигуни внутрішнього згоряння

Вербицький В.Г., Костенко А.В., Загороднов М.І. **Вплив геометрії кузова легкового автомобіля на курсову стійкість руху** 55

Поляков А.П., Нгаяхи Аббе К.В., Галущак О.О., Бишко М.О., Заверуха Ю.В. **Дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизеля при переведенні його на роботу на біодизельне паливо** 61

Писанець О.О. **Аналіз нестаціонарних сигналів при акустичній діагностиці поршневих пальців** 69

Надійність і довговічність механізмів і машин

Сумец А.М. **К установлению оптимального допуска на износ элементов пар трения узлов и агрегатов автомобильной техники** 77

Автори номера 82

Правила оформлення та подання статей 83

УДК 004

ФЕДОРОВ Е.Е. к.т. н., доцент,
Донецкая академия автомобильного транспорта
СЛЕСОРАЙТИТЕ Э.
Вильнюсский университет

МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕРБАЛЬНЫХ КОМАНД ВОДИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕРАСШИРЯЮЩИХ РАВНОМЕРНО НЕПРЕРЫВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

В статье предлагается метод преобразования и идентификации речевых команд водителя на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, основанных на банке октавных фильтров для формирования вектора вещественных признаков и преобразовании вектора вещественных признаков к вектору целых признаков посредством нормирования, масштабирования и округления

Постановка проблемы

В настоящее время широкое распространение получают системы человеко-машинного общения, в частности для управления транспортными объектами. Важную роль в таких системах играет идентификация речевых команд. Для эффективной идентификации вербальных команд водителя принятие решений должно производиться с высоким быстродействием и высокой вероятностью. Параметры системы идентификации команд водителя определяются по результатам численного исследования.

Анализ последних исследований и публикаций

Существующие методы и модели распознавания речевых образов обычно основаны на скрытых марковских моделях (СММ), алгоритме динамического программирования DTW, и нейронных сетях и обладают одним или несколькими из перечисленных ниже недостатков [1–6]:

– длительность обучения;
– хранения большого количества эталонов звуков или слов, а также весовых коэффициентов;
– длительность распознавания;
– неудовлетворительная вероятность распознавания.
– необходимость большого количества обучающих данных.

С другой стороны, в литературе обычно не проводятся исследования, связанные с определением множеств векторов значений признаков, относящихся к разным звукам речи. Это связано с тем, что обычно значения признаков являются непрерывными, хотя и ограниченными сверху и снизу. Таким образом, множества векторов признаков разных звуков являются несчетными.

Цель статьи

Для вербального управления транспортными объектами разработать метод преобразования и идентификации речевых команд водителя на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, который включает в себя:

– отображение вектора целых значений дискретного сигнала в вектор вещественных признаков;
– отображение вектора вещественных признаков в вектор целых признаков;
– отображение вектора целых признаков в номер класса образца звука речи.

Для предложенного метода в статье проведено численное исследование.

Структура нерасширяющих равномерно непрерывных отображений

В работе [7] были впервые введены нерасширяющие равномерно непрерывные отображения, действующие в компактных метрических пространствах образцов сигналов. В данной статье эти отображения используются с точки зрения преобразования и распознавания образцов звуков речи.

Нерасширяющее равномерно непрерывное отображение $\varphi : S^N \to V^K$ соответствует функции формирования вектора признаков, т. е. отображает вектор целых значений дискретного сигнала $\mathbf{s} = (s_1,...,s_N)$, в вектор вещественных признаков $\mathbf{v} = (v_1,...,v_K)$, причем каждая компонента вектора $\mathbf{v}$ вычисляется как логарифмированная мера контрастности в виде

$$v_{i-1} = \varphi_{i-1}(\mathbf{s}) = \begin{pmatrix} \lg\left(\dfrac{E_i}{\sum\limits_{h=1}^{i} E_h}\right), & E_i > 0 \\ 0, & E_i = 0 \end{pmatrix}, i \in \overline{2, K+1}, \quad (1)$$

где $E_i = \sum\limits_{k=0}^{2^i-1}\left|\sum\limits_{m=0}^{N-1}(s_{m+1} - 2^{r_S}) w_m e^{-j(2\pi/N)km}\right|^2$ — энергия i-й октавной полосы Фурье-спектра,

$w_m = 0.54 + 0.46\cos\dfrac{2\pi m}{N}$ — окно Хемминга,

$K+1$ — количество октавных полос спектра,

r_S — количество разрядов (бит) для одного значения сигнала.

Нерасширяющее равномерно непрерывное отображение $\psi : V^K \to X^K$ соответствует функции нормирования, масштабирования и округления вектора вещественных признаков, т. е. отображает вектор вещественных признаков $\mathbf{v} = (v_1,...,v_K)$, в вектор целых признаков $\mathbf{x} = (x_1,...,x_K)$, причем каждая i-я компонента вектора $\mathbf{x}$ вычисляется в виде

$$x_i = \psi_i(\mathbf{v}) = \begin{cases} \left[\dfrac{v_i - \min\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k}{\max\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k - \min\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k} \cdot \alpha\right], & \max\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k > \min\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k \\ 0. & \max\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k = \min\limits_{k\in\overline{1,K}} v_k \end{cases}, i \in \overline{1,K}, \quad (2)$$

где $\alpha \in \{2^{r_X-1},...,2^{r_X}\}$ — коэффициент масштаба, [] означает округление.

r_X — количество разрядов (бит) для одного значения признака.

Нерасширяющее равномерно непрерывное отображение $\phi : X^K \to Y^M$ соответствует функции классификации вектора целых признаков, т. е. отображает вектор целых признаков $\mathbf{x} = (x_1,...,x_K)$ в номер класса образца звука речи, представленный булевым вектором с одной

ненулевой компонентой $\mathbf{y} = (y_1, \ldots, y_M)$, причем каждая i-я компонента вектора $\mathbf{y}$ вычисляется в виде

$$y_i = \phi_i(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1, & \inf\limits_{\tilde{\mathbf{x}} \in X_i^K} \rho(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = 0 \\ 0, & \inf\limits_{\tilde{\mathbf{x}} \in X_i^K} \rho(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = 1 \end{cases}, i \in \overline{1, M},$$

$$\rho(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = \begin{cases} 1, & d(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) \geq 0 \\ 0, & d(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) < 0 \end{cases}, \quad (3)$$

$$d(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = \sum_{k=1}^{K} \left| \mathbf{x}_k - \tilde{\mathbf{x}}_k \right|.$$

где X_i^K — класс эквивалентности, соответствующий i-му звуку речи.

Формирование областей гласных звуков в признаковом пространстве

Области гласных звуков речи в признаковом пространстве X^K формируются на основе обучающего множества образцов соответствующих звуков. В статье исследуются гласные звуки |и|, |у|, |о|, |а|, |о|, |а|, не содержащие переходных участков, на примере вербального управления прокатным станом. Параметры для нерасширяющих равномерно непрерывных отображений определены в работе [7] следующим образом: $K = 7, r_S = 8, r_X = 4, \alpha = 10$.

В табл.1 и на рис.1 приведены обучающие образцы звука |и| слова «включить» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |и| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_u = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{10\}, x_2 \in \{4,5\}, x_3 \in \{4,5,6,7,8\}, x_4 \in \{7,8,9\}, \quad (4)$$

$$x_5 \in \{2,3,4\}, x_6 \in \{0\}, x_7 \in \{1,2\}\}$$

В табл.2 и на рис.2 приведены обучающие образцы звука |у| слова «включить» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |у| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_y = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{10\}, x_2 \in \{6,7,8\}, x_3 \in \{5,6,7,8\}, x_4 \in \{5,6,7\}, \quad (5)$$

$$x_5 \in \{3,4,5,6\}, x_6 \in \{0\}, x_7 \in \{1\}\}$$

В табл.3 и на рис.3 приведены обучающие образцы звука |о| слова «со» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |о| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_o = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{10\}, x_2 \in \{6,7,8,9,10\}, x_3 \in \{6,7,8,9\}, x_4 \in \{1,2,3,4\}, \quad (6)$$

$$x_5 \in \{1,2\}, x_6 \in \{0,1,2\}, x_7 \in \{0,1\}\}$$

В табл.4 и на рис.4 приведены обучающие образцы звука «а» слова «на» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука «а» в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_a = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{10\}, x_2 \in \{4,5,6,7,8,9,10\}, x_3 \in \{4,5,6,7\}, x_4 \in \{1,2\}, \quad (7)$$

$$x_5 \in \{1,2,3\}, x_6 \in \{1,2\}, x_7 \in \{0\}\}$$

В табл.5 и на рис.5 приведены обучающие образцы звука |э| слова «печь» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |э| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_э = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{10\}, x_2 \in \{3,4,5,6,7\}, x_3 \in \{2,3,4\}, x_4 \in \{5,6,7,8\}, \quad (8)$$

$$x_5 \in \{1,2,3,4\}, x_6 \in \{0,1,2\}, x_7 \in \{0,1\}\}$$

В табл.6 и на рис.6 приведены обучающие образцы звука |ы| слова «уложить» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |ы| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_ы = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{10\}, x_2 \in \{4,5,6,7,8,9,10\}, x_3 \in \{3,4,5,6\}, x_4 \in \{5,6,7,8\}, \quad (9)$$

$$x_5 \in \{2,3,4,5\}, x_6 \in \{0,1,2\}, x_7 \in \{0,1\}\}$$

Таблица 1

Обучающие образцы звука |и| слова «включить»

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	10	4	4	8	3	0	1
2	10	4	4	9	3	0	1
3	10	4	5	8	2	0	2
4	10	4	5	9	2	0	1
5	10	4	6	8	2	0	1
6	10	4	6	8	3	0	1
7	10	4	6	9	2	0	1
8	10	4	6	9	2	0	2
9	10	4	6	9	3	0	1
10	10	4	7	8	2	0	1
11	10	4	7	9	3	0	1
12	10	5	5	8	2	0	2
13	10	5	5	9	3	0	1
14	10	5	6	7	4	0	1
15	10	5	6	8	2	0	1
16	10	5	6	8	3	0	1
17	10	5	6	9	3	0	2
18	10	5	7	9	3	0	1
19	10	5	7	9	4	0	1
20	10	5	8	9	5	0	2

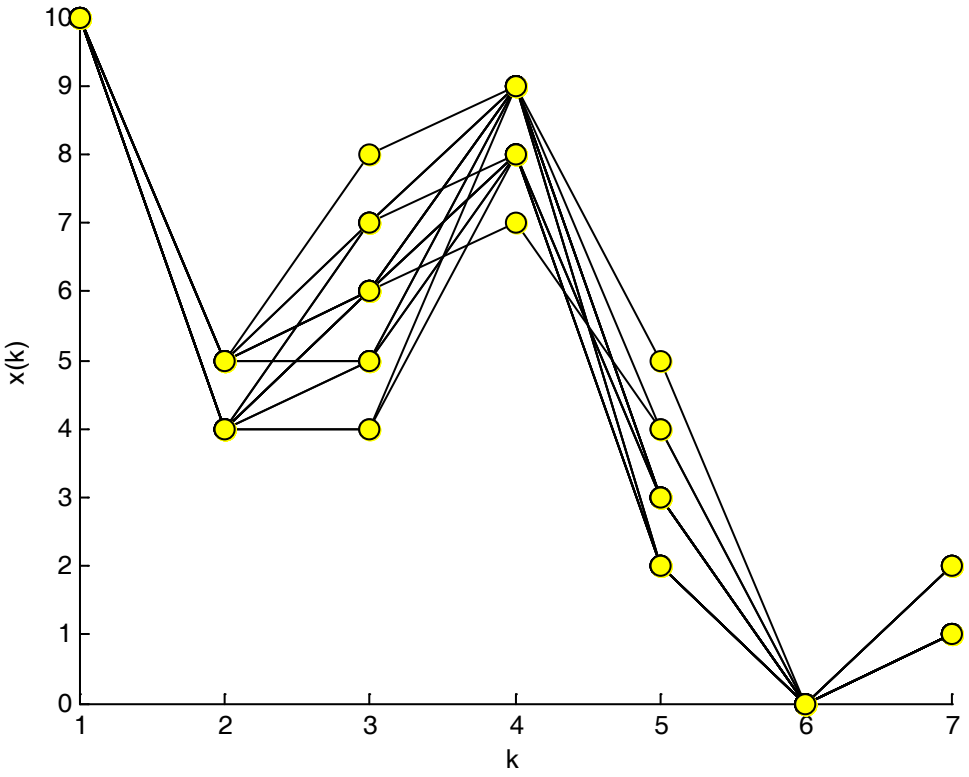


Рис. 1. Обучающие образцы звука |и| слова «включить»

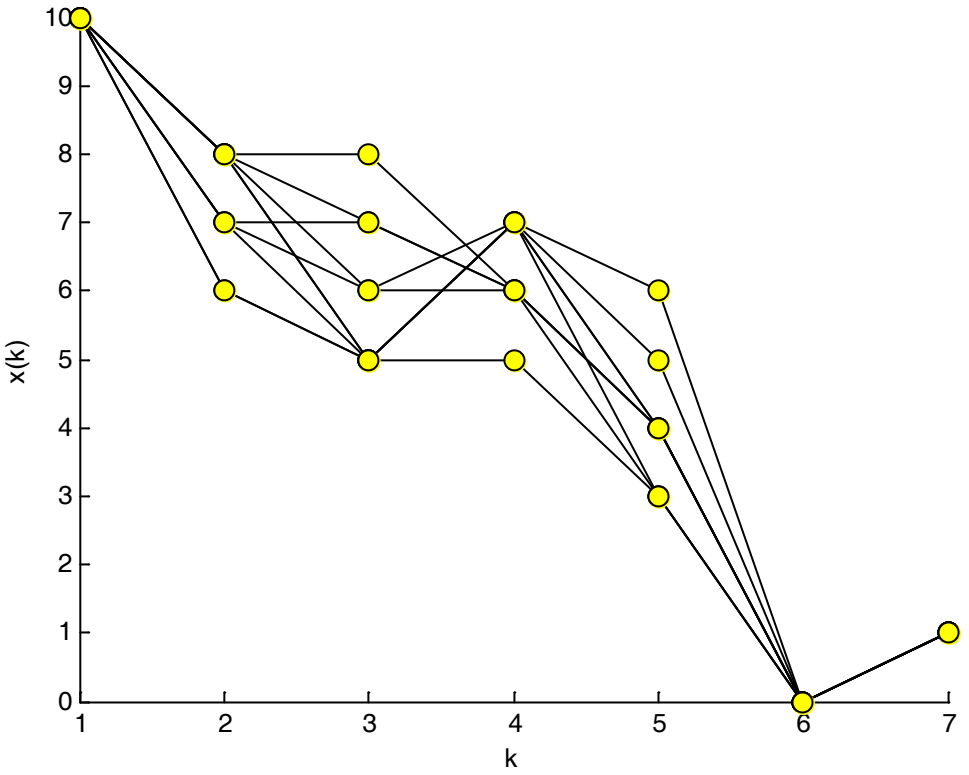


Рис. 2. Обучающие образцы звука |у| слова «включить»

Таблица 2

Обучающие образцы звука |у| слова «включить»

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	10	6	5	7	3	0	1
2	10	6	5	7	4	0	1
3	10	7	5	5	3	0	1
4	10	7	6	6	4	0	1
5	10	7	7	6	4	0	1
6	10	8	5	7	4	0	1
7	10	8	5	7	6	0	1
8	10	8	6	7	5	0	1
9	10	8	7	6	4	0	1
10	10	8	8	6	3	0	1

Таблица 3

Обучающие образцы звука |о| слова «со»

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	10	6	6	3	1	0	1
2	10	6	7	1	1	0	1
3	10	6	7	2	1	1	0
4	10	7	7	1	1	0	1
5	10	7	7	2	1	1	0
7	10	7	7	3	1	1	0
6	10	7	7	3	2	0	1
8	10	7	8	1	1	1	0
9	10	7	8	2	1	1	0
10	10	7	8	3	1	1	0
11	10	8	7	1	2	0	1
12	10	8	7	2	1	1	0
13	10	8	8	2	1	0	1
14	10	8	8	2	1	1	0
15	10	8	8	2	2	1	0
16	10	8	8	2	2	2	0
17	10	8	8	4	2	2	0
18	10	8	9	2	1	1	0
19	10	9	8	1	1	1	0
20	10	9	8	2	1	0	1
21	10	9	8	2	1	1	0
22	10	9	8	2	1	2	0
23	10	9	8	3	1	0	1
24	10	9	8	3	1	1	0
25	10	9	8	3	2	1	0
26	10	9	8	4	1	1	0
27	10	10	8	2	2	2	0

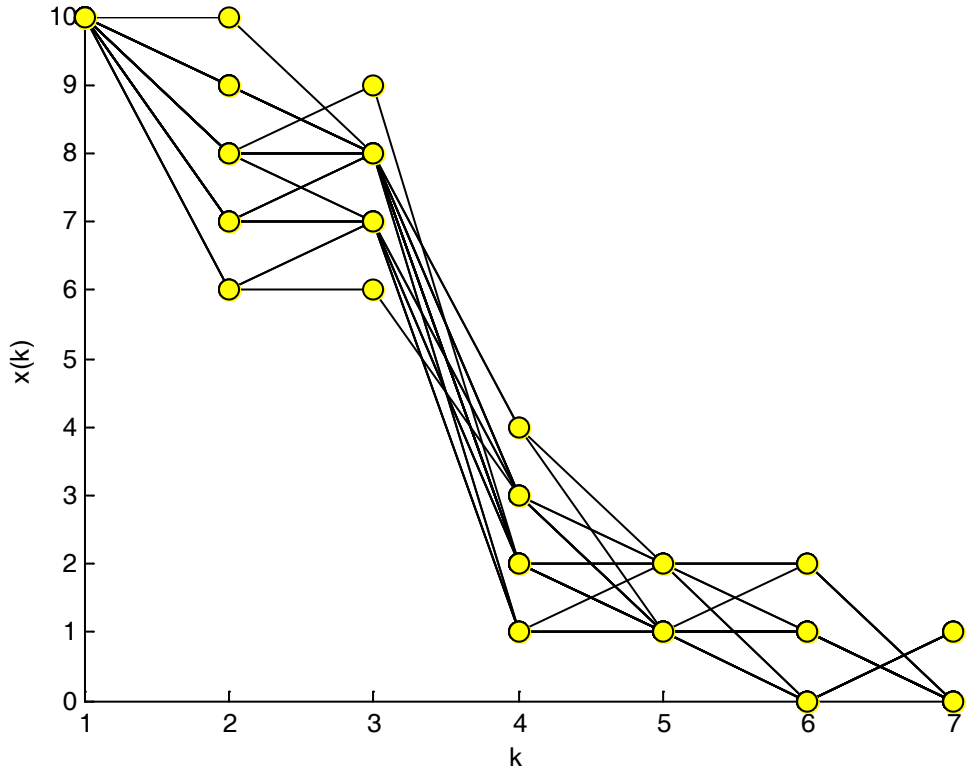


Рис. 3. Обучающие образцы звука |о| слова «со»

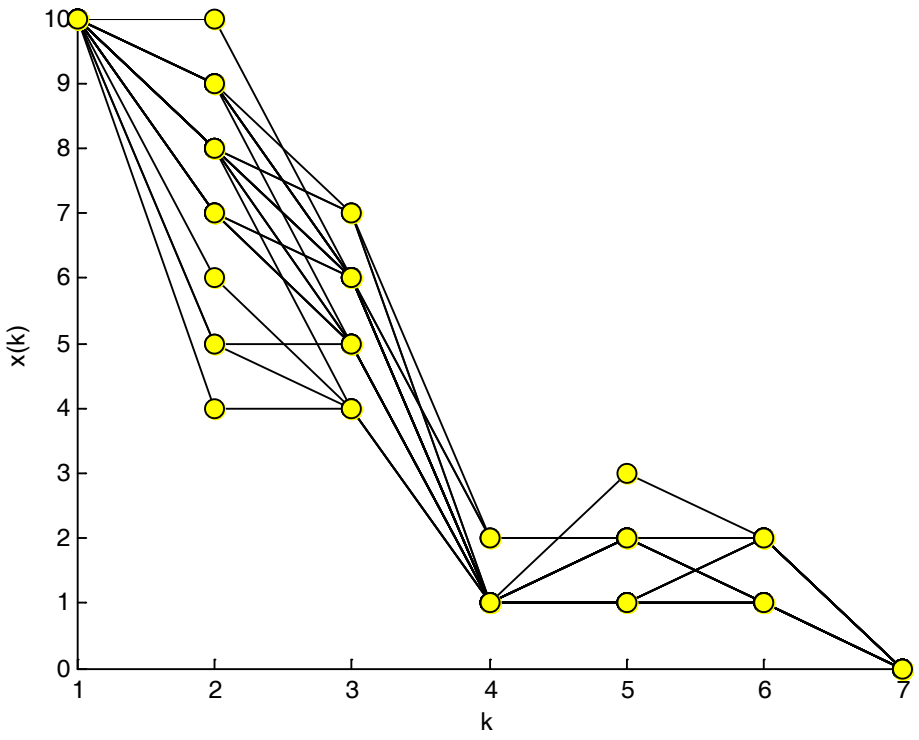


Рис. 4. Обучающие образцы звука |а| слова «на»

Таблица 4

Обучающие образцы звука |а| слова «на»

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	10	4	4	1	2	1	0
2	10	5	4	1	1	1	0
3	10	5	5	1	1	2	0
4	10	6	4	1	1	1	0
5	10	7	5	1	1	1	0
6	10	7	5	1	1	2	0
7	10	7	5	1	2	1	0
8	10	7	5	1	2	2	0
9	10	7	6	1	1	2	0
10	10	7	6	1	2	1	0
11	10	8	4	1	1	1	0
12	10	8	5	1	1	1	0
13	10	8	5	1	2	1	0
14	10	8	5	1	2	2	0
15	10	8	6	1	1	1	0
16	10	8	6	1	1	2	0
17	10	8	6	1	2	1	0
18	10	8	6	1	2	2	0
19	10	8	6	2	2	2	0
20	10	8	7	1	2	2	0
21	10	8	7	2	2	2	0
22	10	9	5	1	2	1	0
23	10	9	6	1	1	1	0
24	10	9	6	1	2	1	0
25	10	9	6	1	2	2	0
26	10	9	6	1	3	2	0
27	10	9	6	2	2	1	0
28	10	9	7	1	1	2	0
29	10	10	6	1	2	2	0

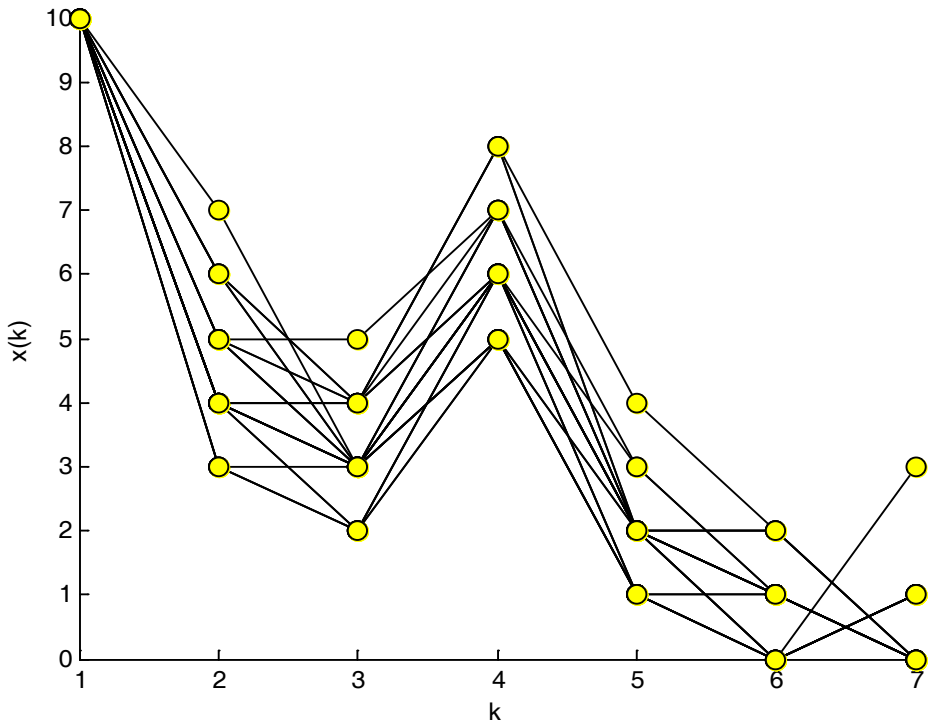


Рис. 5. Обучающие образцы звука |э| слова «печь»

Таблица 5

Обучающие образцы звука |э| слова «печь»

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	10	3	2	5	1	1	0
2	10	3	2	6	1	1	0
3	10	3	2	6	2	1	0
4	10	3	3	6	2	1	0
5	10	4	2	5	2	0	1
6	10	4	2	6	2	1	0
7	10	4	3	5	1	0	1
8	10	4	3	5	2	1	0
9	10	4	3	6	1	0	1
10	10	4	3	6	2	0	1
11	10	4	3	6	3	1	0
12	10	4	3	7	2	0	1
13	10	4	3	7	2	1	0
14	10	4	4	6	2	2	0
15	10	4	4	8	2	2	0
16	10	4	4	8	4	2	0
17	10	5	3	6	2	0	1
18	10	5	3	6	2	1	0
19	10	5	3	7	2	1	0
20	10	5	4	6	2	1	0
21	10	5	4	7	2	1	0
22	10	5	5	7	3	1	0
23	10	6	3	5	1	0	1
24	10	6	3	5	1	0	3
25	10	6	4	6	1	0	1
26	10	6	4	8	2	2	0
27	10	7	3	5	1	0	1

Таблица 6.

Обучающие образцы звука |ы| слова «уложить»

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	10	4	4	8	4	2	0
2	10	5	5	8	4	0	1
3	10	5	5	8	5	1	0
4	10	6	4	6	4	0	1
5	10	6	4	8	4	2	0
6	10	6	5	8	4	1	0
7	10	7	4	7	2	1	0
8	10	7	4	7	3	1	0
9	10	7	5	7	3	1	0
10	10	8	3	6	2	1	0
11	10	8	4	6	2	2	0
12	10	8	4	6	4	2	0
13	10	8	5	5	3	1	0
14	10	8	5	7	3	1	0
15	10	8	5	8	2	1	0
16	10	8	6	6	2	2	0
17	10	9	4	6	2	1	0
18	10	9	5	7	3	1	0
19	10	9	6	7	2	1	0
20	10	9	6	8	3	1	0
21	10	10	5	7	3	1	0

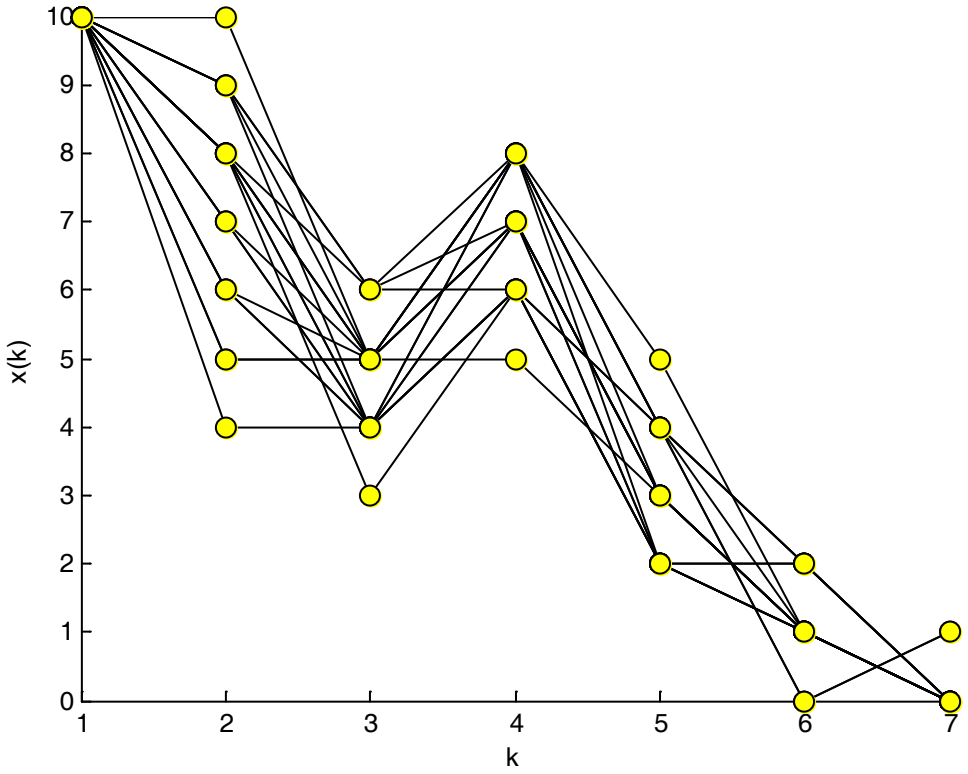


Рис. 6. Обучающие образцы звука |ы| слова «уложить»

Выводы

Научная новизна. В статье для вербального управления транспортными объектами предложен метод преобразования и идентификации речевых команд водителя на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, который включает в себя: отображение вектора целых значений дискретного сигнала в вектор вещественных признаков; отображение вектора вещественных признаков в вектор целых признаков; отображение вектор целых признаков в номер класса образца звука речи. Для предложенного метода в статье проведено численное исследование. В статье проведено численное исследование значений векторов целых признаков гласных звуков и определены области каждого гласного звука в признаковом пространстве.

Практическое значение. Система идентификации речевых команд водителя, разработанная на основе предложенного метода, может использоваться системах человеко-машинного общения для различных отраслей (угольной и металлургической промышленности, авиастроения и судостроения, нефтепроводов и газопроводов, атомных, тепловых и гидроэлектростанций и др), а также в криминалистике для фоноскопической экспертизы.

Список литературы

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский.— М.: Финансы и статистика, 2002.— 344 с.

2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин.— М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.— 1104 с.

3. Комарцова Л. Г. Нейрокомпьютеры / Л. Г. Комарцова, А. В. Максимов.— М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Батмана, 2002.—320 с 4. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан.— М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.— 288 с.

5. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов / С. Малла.— М.: Мир, 2005.— 671 с.

6. Федоров Е. Е. Методология создания мультиагентной системы речевого управления: монография / Е. Е. Федоров.— Донецк: изд-во «Ноулидж», 2011.— 356 с.

7. Федоров Е. Е. Метод обработки сигнала на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений / Е. Е. Федоров // Труды Междунар. науч.-техн. конф. «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практи-ка, історія, освіта)» (РТПСАС'2012).— Киев.— 2012.— С. 343–346.

Анотація. *У статті пропонується методика ідентифікації водія на основі методу кодування з лінійним прогнозуванням для виділення формант й антиформант, використовуваних як ознак нечіткої нейромережі, генетичного алгоритму*

Abstract. *In article the method of driver identification, on the basis of a method of linear-predictive coding for extraction formant and antiformant, used as features, fuzzy neural network, genetic algorithm is offered*

Стаття надійшла до редакції 19.01.2012 р.

УДК 656.13

ЕНГЛЕЗІ І. П., к.т. н.,
Донецька академія автомобільного транспорту

ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБЕЗПЕЧНІШОГО МАРШРУТУ РУХУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Проведено аналіз методів визначення рівня аварійності. Результатом досліджень є розроблений алгоритм визначення найбезпечнішого маршруту руху при перевезенні небезпечних вантажів.

Постановка проблеми

Згідно із Законом України «Про дорожній рух» до дорожнього руху висуваються вимоги безпеки, економічності та комфортності, охорони навколишнього природного середовища та здоров'я людини [1].

Забезпечення безпеки дорожнього руху є розробка сучасних методів попередження небезпечних ситуацій, зокрема дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

Дорожньо-транспортні пригоди є основною причиною загибелі людей. Вони відбуваються з багатьох причин, серед яких є як технологічні, так і людські чинники. Аварія може статися з вини втомленого водія, через обмерзання дорожнього покриття або несправності гальмівної системи. Однак на ризик потрапити в ДТП часто впливають сторонні фактори такі, як: день тижня, погодні умови та якість асфальтового покриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методами визначення рівня аварійності займалися такі вчені, як В. І. Коноплянко, Г. І. Клінковштейн, В. Ф. Бабков, В. П. Поліщук та ін. [2–6].

Аналіз робіт щодо визначення рівня аварійності показав, що більшість з них дають загальну оцінку безпеки дорожнього руху, не враховуючи при цьому ймовірність виникнення ДТП з окремим учасником дорожнього руху.

Мета статті

Метою проведення досліджень є розробка алгоритму визначення найбезпечнішого маршруту руху при перевезенні небезпечних вантажів.

Основний розділ

За даними Державної служби статистики України за період із 1990 по 2010 роки (табл. 1) в Україні сталося 890 633 дорожньо-транспортні пригоди, із них 130 918 зі смертельним наслідком [7]. Використовуючи статистичні дані Головного управління статистики у Донецькій області (табл. 2) за останні 10 років сталося 139 957 дорожньо-транспортних пригод [8]. Таким чином, тенденція така, що на 100 ДТП приходиться 123 особи поранених та 15 осіб загиблих.

Таблиця 1

Статистика ДТП в Україні за 1990–2010 роки [7]

Рік	Дорожньо-транспортні пригоди на дорогах і вулицях, од.	Дорожньо-транспортні пригоди на дорогах і вулицях зі смертельним наслідком, од.	Потерпілі у дорожньо-транспортних пригодах, осіб	з них	
				загинуло	поранено
1990	50 908	8663	63 067	9616	53 451
1991	48 081	8133	58 822	8975	49 847
1992	46 615	7751	57 585	8596	48 989
1993	40 759	6775	50 915	7462	43 453
1994	42 252	6777	53 441	7560	45 881
1995	43 152	6759	54 473	7530	46 943
1996	40 088	5961	50 732	6631	44 101
1997	37 944	5404	47 952	5988	41 964
1998	36 299	4955	45 696	5522	40 174
1999	34 554	4734	43 546	5269	38 277
2000	33 339	4717	41 821	5185	36 636
2001	34 541	5350	44 180	5984	38 196
2002	34 488	5426	43 898	5982	37 916
2003	42 409	6402	54 607	7149	47 458
2004	45 592	6198	60 602	6966	53 636
2005	46 485	6372	63 228	7229	55 999
2006	49 491	6599	67 610	7592	60 018
2007	63 554	8404	88 102	9574	78 528
2008	51 279	6764	70 972	7718	63 254
2009	37 049	4702	51 023	5348	45 675
2010	31 754	4072	43 626	4709	38 917

Проведений аналіз коефіцієнту тяжкості наслідків ДТП в цілому в Україні та Донецькій області за 2000–2010 роки (рис. 1) показує, що він зменшився в 1,17 рази в масштабах країни й в 1,5 рази в Донецькій області.

Таблиця 2

Статистика ДТП в Донецькій області за 2000–2010 роки [8]

Рік	Дорожньо-транспортні пригоди на дорогах і вулицях, од.	Потерпілі у дорожньо-транспортних пригодах, осіб	з них	
			загинуло	поранено
2000	2956	3552	395	3157
2001	2860	3451	395	3056
2002	2853	3416	403	3013
2003	3865	4686	487	4199
2004	4286	5355	485	4870
2005	4284	5783	524	5259
2006	17415	7291	583	6708
2007	26943	10762	818	9944
2008	31975	9244	737	8507
2009	23000	6426	459	5967
2010	19520	5746	442	5304

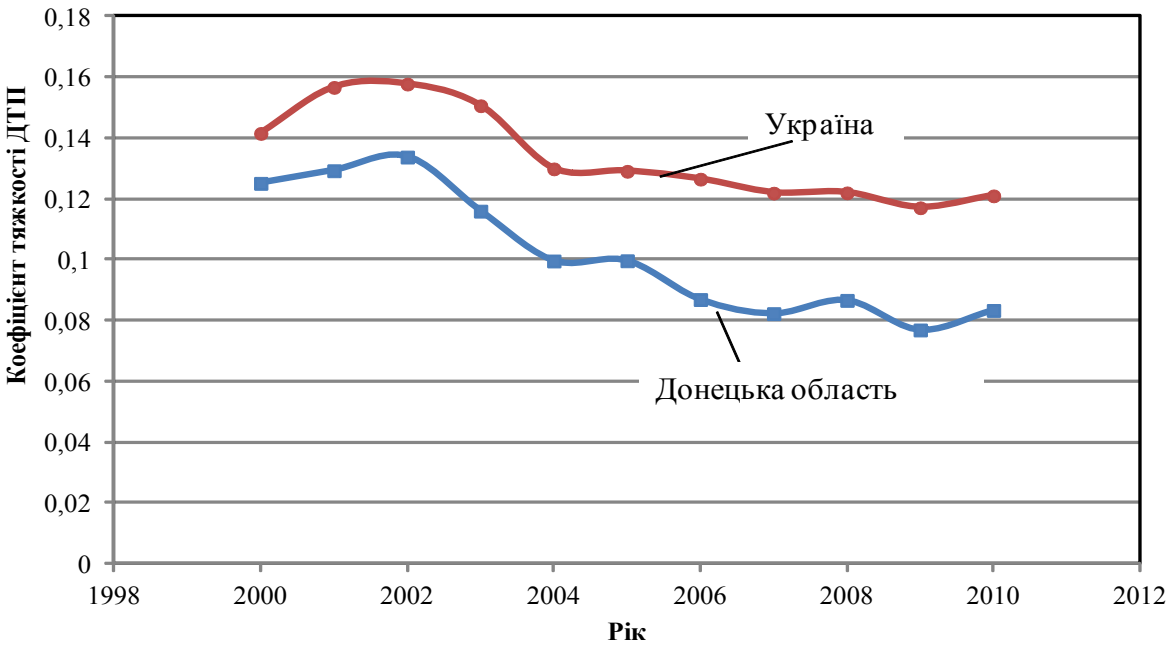


Рис. 1. Характеристика коефіцієнту тяжкості наслідків ДТП в Україні та Донецькій області за 2000–2010 роки

Проведений аналіз методів визначення рівня аварійності на ділянках транспортної мережі показав, що їх застосування не дозволяє кількісно оцінити можливу ймовірність виникнення ДТП з окремим учасником дорожнього руху. Існуючі методи оцінки рівня аварійності на перехрестях вулиць та доріг можуть, при певній доробці, дозволити визначити ймовірність виникнення ДТП окремого учасника руху.

Тому в роботі [9] була розроблена математична модель визначення ймовірності виникнення ДТП на ділянках транспортної мережі з окремим учасником руху

$$\vec{P}^{\,\partial}_{ДТП} = \frac{\left(\overleftarrow{F}^{0,75} + \vec{F}^{0,35}\right) \cdot \vec{F}^{1,25} \cdot l \cdot k_a \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H}, \quad (1)$$

де k_a — підсумковий коефіцієнт аварійності;

l — довжина ділянки дороги, км;

$\vec{F}, \overleftarrow{F}$ — відповідно інтенсивність руху попутного й зустрічного потоків транспортних засобів, авт./год.;

H — ширина проїзної частини, м.

Також була удосконалена математична модель визначення ймовірності виникнення ДТП в транспортних вузлах з окремим учасником руху

$$P_i = \frac{50 \cdot k_i \cdot M_i \cdot N_i}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\tau i} + M_{\tau i}}{N_i + M_i}, \quad (2)$$

де $N_{\tau i}, M_{\tau i}$ — інтенсивності потоків, що перетинаються в конфліктній точці при проїзді транспортного засобу через перехрестя, авт./добу.

Розроблені математичні моделі в подальшому використовуються в якості ваги дуги графа при знаходженні оптимального маршруту.

Відмінністю запропонованого критерію — ймовірність потрапляння в ДТП є його математичні властивості. Відомо, що в усіх алгоритмах пошуку оптимального маршруту використовується залежність

$$y_j = \min_{(i,j) \in мережі} \left[y_i + x_{ij} \right], \quad (3)$$

де j — пункт прибуття; i — пункт відправлення; x_{ij} — критерій оптимізації (відстань, час та ін.).

Якщо використовувати у якості критерію ймовірність, то необхідно дотримуватися умови

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \quad (4)$$

Тому в теорії ймовірностей для рішення подібних задач використовується наступна залежність [10]:

$$1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1 - p_n) \quad (5)$$

де $(1 - p)$ — ймовірність успішного результату.

Використовуючи залежності (1), (2) вираз (5) матиме вигляд:

$$\left[1 - \left(1 - \frac{\left(\overleftarrow{F}_1^{0,75} + \vec{F}_1^{0,35}\right) \cdot \vec{F}_1^{1,25} \cdot l_1 \cdot k_{a1} \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H_1} \right) \times \left(1 - \frac{50 \cdot k_2 \cdot M_2 \cdot N_2}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\tau 2} + M_{\tau 2}}{N_2 + M_2} \right) \times \right.$$

$$\left(1 - \frac{\left(\overleftarrow{F}_3^{0,75} + \vec{F}_3^{0,35}\right) \cdot \vec{F}_3^{1,25} \cdot l_3 \cdot k_{a3} \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H_3} \right) \times \left(1 - \frac{50 \cdot k_4 \cdot M_4 \cdot N_4}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\tau 4} + M_{\tau 4}}{N_4 + M_4} \right) \cdot \ldots\ldots \times \quad (6)$$

$$\left. \left(1 - \frac{\left(\overleftarrow{F}_n^{0,75} + \vec{F}_n^{0,35}\right) \cdot \vec{F}_n^{1,25} \cdot l_n \cdot k_{an} \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H_n} \right) \times \left(1 - \frac{50 \cdot k_{n+1} \cdot M_{n+1} \cdot N_{n+1}}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\tau n+1} + M_{\tau n+1}}{N_{n+1} + M_{n+1}} \right) \right]$$

Для рішення такого роду задач використовують алгоритми:
– Дейкстри;
– Беллмана-Форда;
– Флойда-Уоршелла.

Алгоритм Флойда-Уоршелла є більш загальним у порівнянні з алгоритмом Дейкстри, тому що він знаходить найкоротші шляхи між будь-якими двома вузлами мережі. У цьому алгоритмі мережа представлена у вигляді квадратної матриці з n рядками й n стовпцями. Елемент (i, j) дорівнює відстані d_{ij} від вузла i до вузла j, що має кінцеве значення, якщо існує дуга (i, j), і дорівнює нескінченності в противному випадку.

Рішення задачі цим алгоритмом полягає у послідовному визначенні цільової функції між елементами трикутного оператора за формулою:

$$d_{ij}^{m+1} = \min\left\{d_{ij}^{m}, d_{i(m+1)}^{m} + d_{(m+1)j}^{m}\right\}, \tag{7}$$

де m — етап виконання підрахунку.

Відповідно визначення найбезпечнішого маршруту із пункту i до пункту j матиме вигляд:

$$P_{ij}^{m+1} = \min\left\{P_{ij}^{m}, \left(1-(1-P_{i(m+1)}^{m})(1-P_{(m+1)j}^{m})\right)\right\}. \tag{8}$$

Таким чином, використовуючи отримані залежності (5), (6), (8) та алгоритм Флойда-Уоршелла було розроблено алгоритм визначення найбезпечнішого маршруту із пункту i до пункту j.

Висновки

Обґрунтовані залежності ймовірності виникнення ДТП з окремим учасником руху на ділянках мережі й на перехрестях дозволили запропонувати підхід до визначення оптимального шляху, використовуючи критерій — мінімум ймовірності потрапляння в ДТП, що дозволяє побудувати найбезпечніший маршрут перевезення небезпечних вантажів із пункту відправлення до пункту призначення.

Список літератури

1. Закон України Про дорожній рух.

2. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 1991.— 183 с.

3. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. 5-е издание, перераб и доп.— М.: Транспорт, 2001,— 247с.

4. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов.— М.: Транспорт, 1993.— 271 с.

5. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка.— К.: Знання України, 2007.— 452 с.

6. Поліщук В. П., Дзюба О. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навч. посіб.— К.: Знання України, 2008.— 175 с.

7. http://www.ukrstat.gov.ua/

8. http://www.donetskstat.gov.ua/statinform/transport5.php

9. Доля В. К., Енглезі І. П., Пахно О. Є. Щодо визначення впливу параметрів транспортних потоків та дорожніх умов на ймовірність виникнення ДТП на ділянках дороги / Вісник Донецької академії автомобільного транспорту.— Донецьк: ДААТ,— 2011.— № 3.— С. 29–33.

10. Скороход А. В. Вероятность. Основные понятия. Структура. Методы. М.: ВИНИТИ, 1989.— 275 с.

Аннотация. *Проведен анализ методов определения уровня аварийности. Результатом исследований является разработанный алгоритм определения самого безопасного маршрута движения при перевозке опасных грузов.*

Abstract. *The analysis methods for determining the level of accidents. The result of research is developed algorithm to determine the safest route of the carriage of dangerous goods.*

Стаття надійшла до редакції 21.12.2011 р.

УДК 625.7

НЕФЁДОВА Я. И., к.т. н., доцент, ЛЯМЗИН А. А., к.т. н., доцент, МНАЦАКАНЯН М. С., аспирант, ДВНЗ « Приазовский государственный технический университет»

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ДОНЕЦКОГО РЕГИОНА

Проанализирована работа автотранспортных систем индустриальных центров Донецкого региона. С целью достижения эффективного управления автотранспортными потоками предложено использование нейросетевых технологий, позволяющих в режиме реального времени вырабатывать управляющие воздействия на основе оперативной информации.

Постановка проблемы

Трансформационные процессы в экономике Украины сопровождаются структурными изменениями во всех сферах хозяйствования, в том числе и на транспорте.

Так рост тарифов на железнодорожные перевозки способствовал увеличению объемов перевозок автотранспортом, что особенно ярко выражено в транспортной системе доставки грузов Донецкого региона, обрабатываемых в портах Мариупольского транспортного узла.

Увеличение объемов грузовых автоперевозок наряду с движением пассажирского транспорта приводит к возникновению «пробок» на отдельных «узких» участках дорог. Данная ситуация усугубится в связи с проведением Евро-2012, что обусловлено местом проведения футбольных матчей и размещением туристов.

Эффективность функционирования транспортной системы доставки грузов и движения пассажирского и личного транспорта в условиях динамики и неопределенности городской среды связана с высоким уровнем управления.

В связи с этим возникает проблема создания инновационной технологии организации движения транспортных средств, обеспечивающая устойчивость функционирования отдельных участков транспортной сети на основе оперативной информации.

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ последних исследований и публикаций показал, что большая часть работ посвящена организации реверсивного движения, выделению полос для приоритетного движения, разработке и внедрению транспортных пересечений нового типа, интеллектуальных транспортных систем, телеавтоматических систем управления движением транспорта и «умных» светофоров [1, 2].

В тоже время управление транспортной системой индустриального центра характеризуется высокой степенью неопределенности, обусловленной турбулентностью транспортных потоков и, как следствие, необходимостью использования методов искусственного интеллекта при выработке управляющих воздействий [3].

Цель статьи

Целью проводимых исследований является разработка способа координированного управления транспортными потоками крупного промышленного центра на основе оперативной информации в условиях неопределенности внешней среды.

Цель достигается использованием методов искусственного интеллекта, основанных на нейросетевых технологиях, позволяющих рационализировать процесс управления транспортными потоками индустриального центра в режиме реального времени на основании оперативной информации о текущей ситуации на городских автодорогах.

Основной раздел

Проведенный анализ городских транспортных систем двух крупнейших индустриальных центров Донецкого региона (рис. 1) позволил выделить наиболее загруженные участки городских транспортных магистралей.

Донецкий и Мариупольский промышленные узлы связаны между собой единственной магистралью, на которую приходится основной поток как пассажирских, так и грузовых перевозок. Очевидно, что именно на подводящих к данной магистрали автодорогах возникает наибольшее количество заторов.

Основным грузопотоком, проходящим через Мариупольский промышленный узел, является металлопродукция таких производителей, как: Донецкий металлургический завод, комбинат им. Ильича и комбинат «Азовсталь».

Исследование автотранспортной системы г. Донецк — г. Мариуполь позволило выделить «узкие» места (рис. 2), на которых требуются новые методы управления движением транспортных средств.

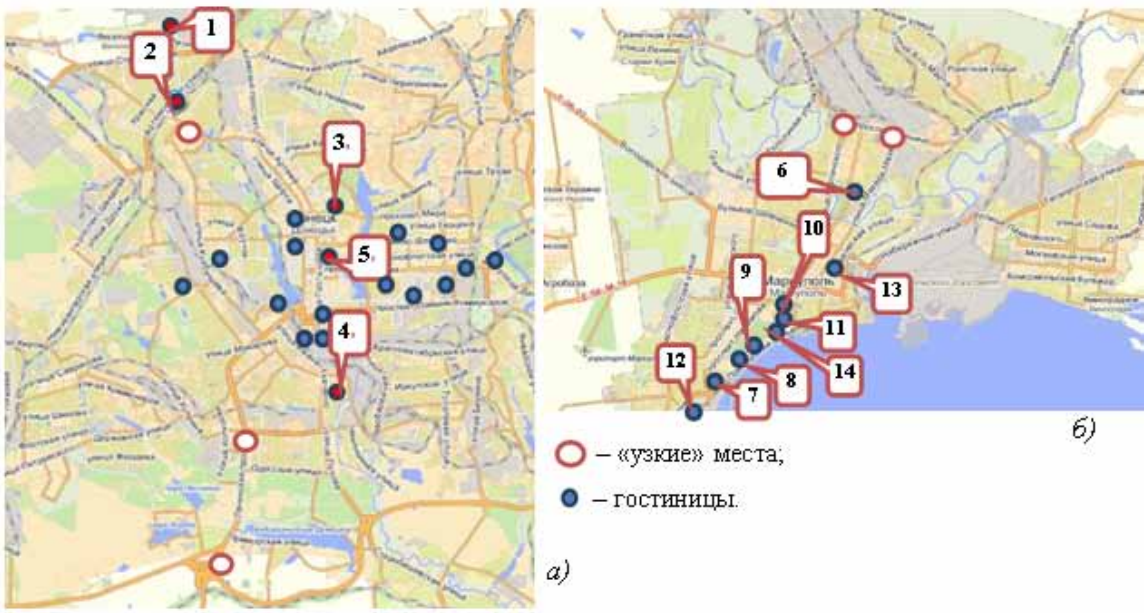


Рис. 1. Схемы расположения «узких» мест в крупнейших индустриальных центрах Донецкого региона: а) г. Донецк, б) г. Мариуполь

1 — аэропорт; 2 — ж/д вокзал; 3 — Донбасс-арена; 4 — ДМЗ; 5 — автовокзал; 6 — гостиница «Дружба»; 7 — гостиница «Меридиан»; 8 — гостиница «Чайка»; 9 — гостиница «Европейская; 10 — общежития ДВНЗ «ПГТУ»; 11 — профилакторий «Здоровье»; 12 — гостиница ФК «Ильичевец»; 13 — гостиница «Спартак»; 14 — гостиница «Турист»

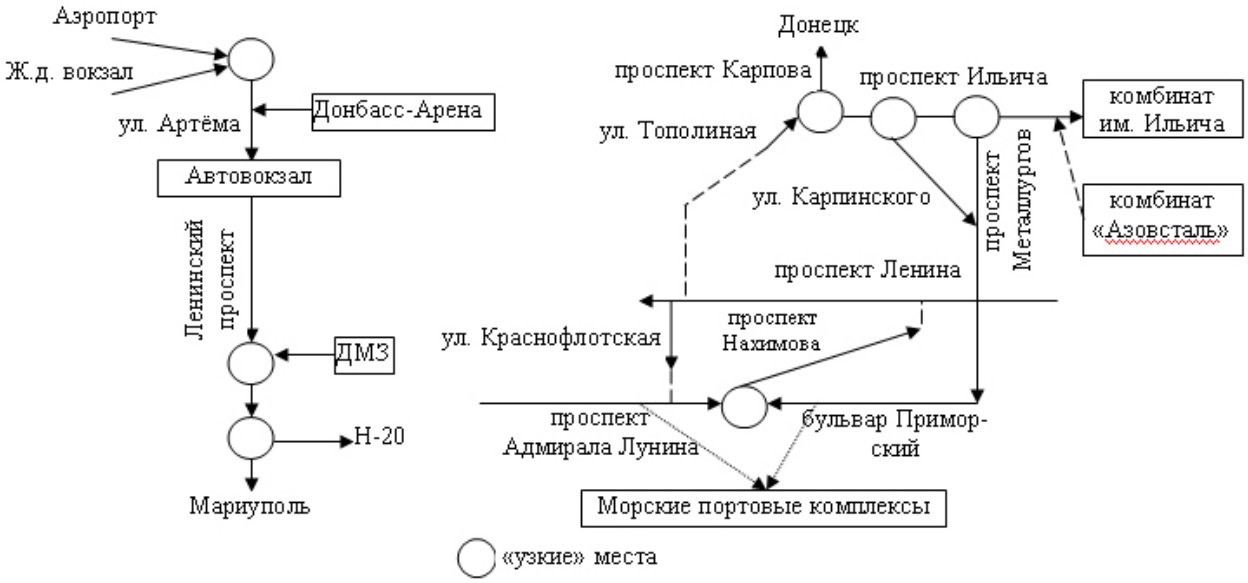


Рис. 2. Схема потоков автотранспортных средств крупнейших индустриальных центров Донецкого региона

Управление движением автотранспортных средств на «узких» участках пути содержит неопределенные критерии.

С целью достижения эффективного управления транспортными потоками в «узких» местах транспортной системы г. Донецк — г. Мариуполь предлагается использование нейронных сетей, реализующих нечеткие продукционные модели координированного управления движением автотранспортных средств [4].

Формально нечеткие продукционные модели, основанные на механизме нечеткого логического вывода представим в виде гибридных многослойных нейронных сетей с прямым распространением сигнала [4, 5], элементы каждого слоя которой реализуют отдельный этап нечеткого вывода в нечеткой продукционной модели:

– первый слой нейронов выполняет функцию введения нечеткости;

– скрытые слои отображают совокупность нечетких правил и реализуют алгоритм нечеткого логического вывода;

– последний слой выполняет функцию приведения к четкости выходной переменной.

Механизм нечетких логических выводов имеет в своей основе базу знаний, сформированную на основе правил вида [5]:

$$ЕСЛИ\ x_1\ есть\ A_{i1}\ И\ \ldots\ И\ x_j\ есть\ A_{ij}\ И\ \ldots\ И\ x_n\ есть\ A_{in}, ТО\ y\ есть\ B_i\ , \qquad (1)$$

где n — количество нечетких правил вывода выходной переменной при заданных нечетких значениях входных переменных, например, интенсивность движения грузовых, пассажирских и личных транспортных средств;

A_{ij}, B_i — нечеткие множества, характеризующие значения терм-множеств лингвистических переменных. Например, лингвистическая переменная «интенсивность движения» имеет терм-множества «низкая, средняя, довольно высокая, высокая, очень высокая»;

$x_i,\ldots,x_n$ — входные переменные, могут быть выражены как качественно, так и количественно, т. е. интенсивность движения может быть выражена как количество транспортных средств, проходящих за определенный период времени через рассматриваемое «узкое» место, так и качественно, в виде лингвистической переменной;

y — выходная переменная. Отражает конкретный сигнал светофора.

Предлагаемая технология реализуется за счет установки на светофорные объекты, установленные в «узких» местах и прилегающих перекрестках, микроЭВМ [6], снабженных программами, реализующими нейронные сети. Все светофорные объекты на координируемом участке связаны между собой информационной сетью и управляются центром координирования дорожным движением, оборудованным также ЭВМ. В качестве координационных центров выступают МРЭО и стационарные посты ГАИ.

Управляющие сигналы светофорных объектов передает координационный центр на основании измерений интенсивности движения транспортных средств на входе и выходе каждого транспортного потока на перекрестках управляемого участка движения.

Нейронная сеть, связывающая все светофорные объекты на управляемом участке обучается на основе практической выборки ситуаций, учитывающих гибкую смену режимов светофора в режиме реального времени, резервирование, возможные сбои в работе, аварийные ситуации на дороге, различные предпочтения по видам транспортных средств, сравнения полученных параметров транспортных потоков с назначенными желаемыми показателями интенсивности движения транспортных средств, и при наличии отклонений осуществляет передачу управляющих сигналов на светофорные объекты координируемого участка движения.

Выводы

1. Управление потоками автотранспорта в крупных промышленных центрах характеризуется турбулентностью и неопределенностью городской среды, что обуславливает необходимость использования методов искусственного интеллекта при организации движения в режиме реального времени.

2. С целью выработки эффективных управляющих воздействий предложено использование нейронных сетей, реализующих нечеткие продукционные модели координированного управления движением автотранспортных средств.

3. В городских автотранспортных системах использование представленной технологии управления транспортными потоками позволяет повысить эффективность управления движением транспортных средств в режиме реального времени на основании оперативной информации о текущем состоянии на дорогах.

Список литературы

1. Cuzinov Dr. A. Новый тип пересечений в одном уровне с непрерывным транспортным потоком по главной из пересекающихся дорог [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.2dxt.de/contru.html

2. Мероприятия по улучшению дорожно-транспортной ситуации [Электронный ресурс] — режим доступа: http://www.gucodd.ru/about/activity/projects

3. Губенко В. К. Адаптация транспорта металлопотоков к изменяющейся экономической среде/Губенко В. К., Николаенко И. В., Тарасенко А. В.— Донецк: Вебер, 2009.— 236 с.— (Монография/НАН Украины, Институт экономики промышленности).

4. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети/Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С.— М.: Горячая линия — Телеком, 2007.— 284 с.

5. Нефёдова Я. И. Логистическое управление транспортной системой «металлургическое предприятие — порт» в режиме реального времени / Я. И. Нефёдова // Вісник Приазовського державного технічного університету. — 2011. — № 21. — С. 204–207.

6. Нейросетевой способ межрайонного координированного управления транспортными потоками [Электронный ресурс] / Н. П. Абовский, В. Б. Бабанин, Л. Г. Смолянинова, В. И. Жуков, П. В. Островский // Пат. 2 169 946 — Режим доступа: http: / www.kgasa.ru / nis / nis / izobr-deate / 2 169 946.htm.

Анотація. *Проаналізована робота автотранспортних систем індустріальних центрів Донецького регіону. З метою досягнення ефективного управління автотранспортними потоками запропоноване використання нейросітьових технологій, що дозволяють у режимі реального часу виробляти керуючі впливи на основі оперативної інформації.*

Abstract. *Work of the motor transport systems of industrial focis of the Donetsk region is analysed. With the purpose of achievement of effective management of motor transport streams the use of technologies of artifical neuron network, allowing real-time to produce managing influences on the basis of operative information is offered.*

Стаття надійшла до редакції 30.01.2012 р.

УДК 656.13 (711.73)

ПОВЗУН А. И., к.т. н., доцент, КОНОНЫХИН С. В., к.т. н., доцент,
Донецкая академия автомобильного транспорта;
РУДЕНКОВ Е. В., начальник отдела эксплуатации службы организации дорожного движения коммунального предприятия «Дорожное ремонтно-строительное управление» города Донецка

ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРИОРИТЕТНОГО ПРОЕЗДА МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ

Рассмотрен мировой опыт использования систем обеспечения приоритетного проезда маршрутного пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках. Обоснована рациональность внедрения подобных систем в Украине.

Введение

Большое значение для улучшения транспортного обслуживания населения в городах Украины и решения проблемы заторов, имеет организация приоритетного проезда маршрутного пассажирского транспорта (МПТ) на регулируемых перекрестках. В связи с этим представляют интерес различные автоматизированные системы управления уличным движением, обеспечивающие приоритет движения маршрутного пассажирского транспорта. Впервые такая система была организована в г. Хельсинки. В последние годы системы управления уличным движением, обеспечивающие приоритетный проезд маршрутного пассажирского транспорта получили распространение в большинстве стран Западной Европы, США и Японии. При этом приоритетный проезд обеспечивается не только маршрутному пассажирскому транспорту, но и приравненным к ним транспортным средствам. Так, в США, Германии, Великобритании, Франции и ряде других высокоразвитых стран к автобусам приравниваются легковые автомобили с 3–4 пассажирами.

Постановка проблемы

В Украине автоматизированные системы, обеспечивающие приоритетные условия проезда маршрутного пассажирского транспорта (МПТ), практически не применяются. Потребность в таких системах обусловливается быстрым ростом парка легковых автомобилей, затрудняющих движение маршрутного пассажирского транспорта, особенно в утренние и вечерние часы пик. Поэтому зарубежный опыт организации приоритетного движения маршрутного пассажирского транспорта в городах представляет большой интерес для украинских специалистов.

Цель статьи

Обоснование целесообразности внедрения автоматизированных систем управления дорожным движением обеспечивающих приоритет движения МПТ в городах Украины.

Основная часть

Дж. Якобсон и Ю. Шеффи (Массачусетский технологический институт, США) показали, что для обеспечения приоритетного проезда маршрутного пассажирского транспорта на регулируемых пересечениях должно выполняться соотношение [1]:

$$TE + TS \le NG - 2TA, \quad (1)$$

где TE — максимально допустимое увеличение продолжительности зеленого сигнала светофора на перекрестке;

TS — минимально допустимая продолжительность красного сигнала светофора на перекрестке;

NG — продолжительность желтого и красного сигналов светофора на перекрестке;

TA — продолжительность желтого сигнала светофора на перекрестке.

При этом общая продолжительность цикла управления равна TC.

Все основные ситуации, возникающие при управлении уличным движением на перекрестке, поясним на примере (рис. 1).

В основном (базовом) случае (рис. 1а) право приоритетного проезда автобусов и легковых автомобилей с пассажирами не предоставляется. В случае, представленном на рис. 1б, приоритетный проезд автобусов и легковых автомобилей с пассажирами обеспечивается за счет увеличения продолжительности зеленого сигнала в соответствующем направлении движения, а на рис. 1в приоритетный проезд автобусов и легковых автомобилей с пассажирами обеспечивается за счет уменьшения продолжительности красного сигнала до минимально допустимой величины. В случае, представленном на рис. 1г, приоритетный проезд автобусов и легковых автомобилей с пассажирами обеспечивается за счет уменьшения продолжительности красного сигнала в установленных пределах (меньше, чем в случае представленном на рис. 1в).

Обнаружение приближавшегося к перекрестку маршрутного пассажирского транспорта осуществляется специальными радиорелейными системами разных конструкций. При этом возможны различные варианты прибытия автобуса под зеленый и не зеленый сигналы светофора, которые определяют стратегию управления. Подходу маршрутного пассажирского транспорта под не зеленый сигнал соответствует соотношение:

$$NG - TS - 2TA > TE, \quad (2)$$

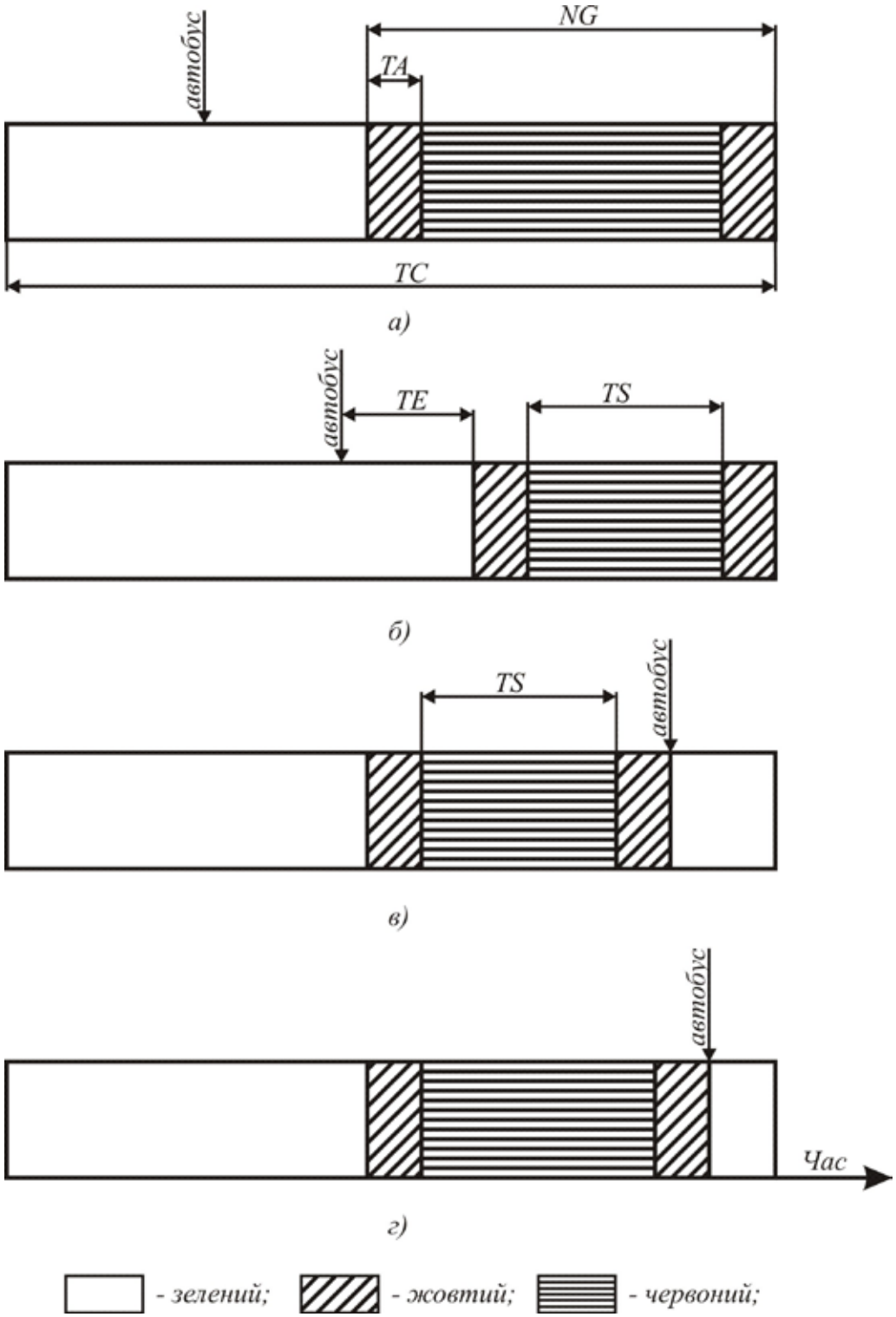


Рис. 1 — Основные ситуации регулирования уличного движения

Вероятность подхода автобуса под не зеленый сигнал светофора определяется формулами:

$$P(NG) = \begin{cases} \dfrac{(TC - NG - TE + TA)}{TC}, & NG = const \\ \dfrac{2}{TC}, & (NG - TE) \le NG - TA \\ \dfrac{1}{TC}, & (TS + 2TA) < NG \\ \dfrac{(TA + TS)}{TC}, & NG = TS + 2TA \end{cases} \quad (3)$$

Распределение вероятностей P (NG) представлено на рис. 2.

Проведенное Дж. Якобсоном и Ю. Шеффи исследование позволило установить оптимальные продолжительности зеленого и не зеленого сигналов светофора для различных транспортных ситуаций. В результате исследования показали, что организация приоритетного проезда МПТ на городских перекрестках позволяет сократить время задержек в пути на 8,7%…17,2%. В условиях старых городов с большим количеством перекрестков эта величина возрастает до 20%—30%.

Обеспечение приоритетного проезда маршрутного пассажирского транспорта на перекрестках городов Украины позволит значительно сократить время поездок. При этом следует иметь в виду, что сокращение количества разгонов и торможений автобусов снижает расход топлива и уменьшает вредные выбросы в атмосферу.

При рассмотрении соотношения затраты – результат, точечные инвестиции в светофорные устройства оказываются выгоднее, чем капитальные вложения в полосы, специально отводимые маршрутному пассажирскому транспорту. Оптимум, разумеется, достигается за счет комбинации обоих видов мероприятий.

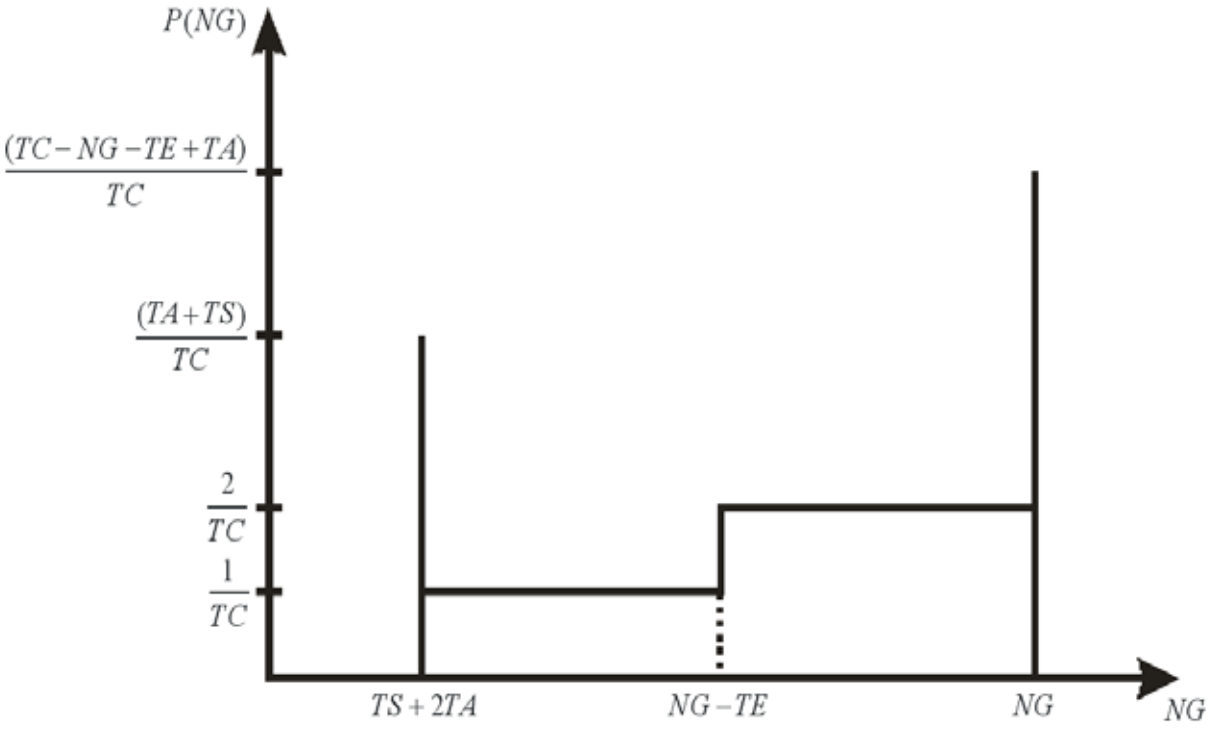


Рис. 2 – Распределение вероятностей подхода автобусов под не зеленый сигнал светофора.

Таким образом, эффективное установление приоритетных условий движения для общественного транспорта, прежде всего, может достигаться путем вмешательства в работу светофорных устройств. При этом немецкими учеными предлагается обращать особое внимание на следующие принципы [2]:

1. Для регулирования движения в пользу маршрутного пассажирского транспорта каждая его единица должна быть оснащена необходимыми техническими средствами, и ее движение по магистрали должно отслеживаться.

2. В процессе управления движением транспорта в зависимости от интенсивности движения на каждом перекрестке должны учитываться вид и эффективность ускорения движения маршрутного пассажирского транспорта, а также возможные необходимые компенсации кратковременных помех автомобильному движению.

3. На наиболее важных для автомобильного движения светофорных объектах должно также предлагаться управление в зависимости от интенсивности движения транспорта, чтобы достичь, таким образом, лучшего распределения времени рабочего цикла светофора в соответствии с потребностью.

Стандартное расположение регистрационного пункта общественного пассажирского транспорта при подъезде к светофорному объекту представлено на рис. 3.

Так в Мюнхене, в соответствии с данными принципами, работает система управления движением с приоритетом общественного транспорта с 1994 года и эффективность внедрения выразилась в следующих показателях (для трамваев): прирост скорости движения составил 22%, улучшение соблюдения графика движения – 38%, увеличение экономической эффективности – 15%, увеличение числа пассажиров – 7…16% на маршрут, экономия эксплуатационных затрат – 4,2 млн. EUR/год [3].

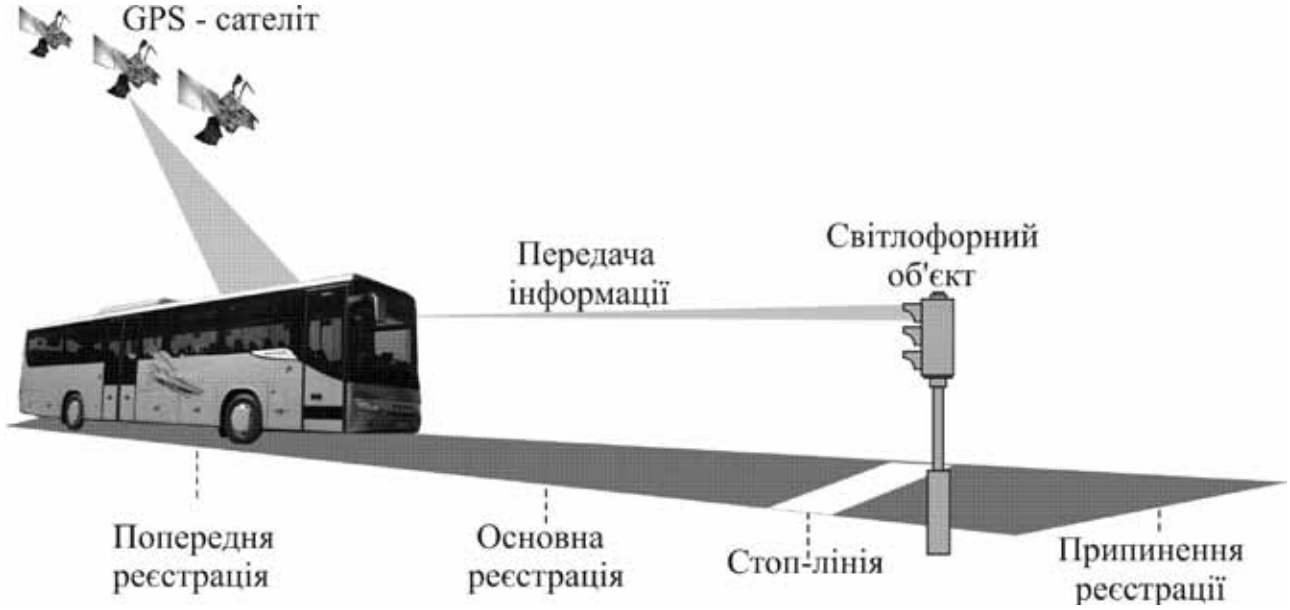


Рис. 3 – Стандартное расположение регистрационного пункта общественного пассажирского транспорта при подъезде к светофорному объекту.

В Санкт-Петербурге проект подобной системы был разработан только в 2005 году и в настоящий момент проходит опытную эксплуатацию на Суворовском проспекте.

Необходимость внедрения автоматизированных систем обеспечения приоритетного движения МПТ в Украине можно обосновать, сопоставив габаритные размеры и провозную способность эксплуатируемого подвижного состава автобусов и легковых автомобилей.

Проведем сравнительный анализ легкового автомобиля Chevrolet Aveo и автобуса Богдан-А091. Результаты анализа представлены в виде таблицы 1 [4, 5].

Таблица 1

Сравнительный анализ габаритных размеров и провозной способности легкового автомобиля Chevrolet Aveo и автобуса Богдан-А091

Технические характеристики	Богдан-А091	Chevrolet Aveo	Соотношение характеристик Богдан-А091 к Chevrolet Aveo
Габаритная длина, м	7,205	4,325	1,67
Габаритная ширина, м	2,37	1,71	1,39
Площадь, $м^2$	17,08	7,4	2,31
Пассажировместимость, чел.	45	4	11,25

Таким образом, внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением предоставляющих приоритет движению маршрутного пассажирского транспорта в городах Украины, является не только целесообразным, но и необходимым условием дальнейшего развития транспортной инфраструктуры нашей страны. Зарубежный опыт внедрения подобных систем может использоваться в Украине, в частности модель Дж. Якобсона и Ю. Шеффи.

Список литературы

1. Jacobson J., Sheffi Y. Analytical model of traffic delays under bus signal premption: theory and application. -Transp. Res., 1981, v. 15 B, 11° 2. - p. 127-138.

2. Humberg, Bosserhoff: Steuerungsverfahren zur Priorisierung von Strassenbahn und Bus an Lichtsignalanlagen in Gruner Welle. In: Tagungsbericht HEUREKA 93 Optimierung in Transport und Verkehr, Koln 1993.

3. Konig: Problem oder Problemloser? Die Rolle des OPNV in der aktuellen Umweltdebatte. In: Der Nahverkehr, Heft 10 / 2005, S. 8x12.

4. [Электронный ресурс]: http://gortransport.kharkov.ua/ps_models/14/.

5. [Электронный ресурс]: http://market.autoua.net/catalog/cars/chevrolet/.

Анотація. *Розглянутий світовий досвід використання систем забезпечення пріоритетного проїзду маршрутного пасажирського транспорту на регульованих перехрестях. Обґрунтована раціональність впровадження подібних систем в Україні.*

Abstract. *World experience of use of systems of maintenance of priority journey of routing passenger transport at adjustable crossroads is considered. Rationality of introduction of similar systems in Ukraine is proved.*

Стаття надійшла до редакції 30.01.2012 р.

УДК 656.13.05

ПОПОВ С.Ю., аспірант
АДІ ДВНЗ «ДонНТУ» м. Горлівка

СИНТЕЗ МІКРОСКОПІЧНИХ ТА ІНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАЄМОДІЇ ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ З ТРАНСПОРТНИМ ПОТОКОМ НА ДОРОГАХ ДРУГОЇ КАТЕГОРІЇ

Проведений аналіз та відповідний синтез щодо загальних умов руху пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці на дорогах другої категорії. Сформульована група характеристик на макроскопічному, мікроскопічному та інженерно-психологічному рівнях взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на ділянці дороги другої категорії.

Постановка наукової проблеми

За даними Світової Організації охорони здоров'я в результаті ДТП щорічно гине 1,2 млн. осіб і 50 млн. отримують поранення [1]. На території України за статистичними даними протягом 2007 року було скоєно 277480 ДТП в них 9481 особа загинули та 77893 осіб-травмовано [1]. З загальної кількості вказаних ДТП – 172 особи загинули та 1559 осіб травмованих приходиться на пасажирський маршрутний транспорт. Рух пасажирського маршрутного транспорту можна поділити на рух міськими дорогами та рух на заміських дорогах. За межами міст транспортні засоби здійснюють рух дорогами I та II категорії, що складає 16 км та 8600 км відповідно [1]. Дороги I категорії зустрічаються тільки 16 км [1]. Рух маршрутного транспорту на заміських дорогах здійснюється здебільшого дорогами II категорії та не супроводжується значною кількістю конфліктних зон, як у містах, у вигляді пішохідних переходів, пересічень в одному рівні, зон руху велосипедистів та ін.

З'ясовано, що кількість ДТП з пасажирськими маршрутними транспортними засобами на дорогах другої категорії складає 8 % від загальної кількості ДТП на вказаних дорогах. Доля маршрутного транспорту в транспортному потоці, який рухається ділянкою дороги другої категорії, складає 9 % [1]. Для такої кількості пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці відсоток ДТП є дуже значним. Кількість постраждалих та загиблих на одне ДТП суттєво відрізняється в більшу сторону від ДТП з іншими типами рухомого складу автомобільного транспорту, ДТП зі вказаними транспортними засобами на дорогах другої технічної категорії мають максимальну тяжкість, яка за сучасними дослідженнями викликана значними швидкостями руху. Вищенаведене вказує на актуальність обраного напрямку наукового дослідження.

Аналіз останніх досліджень

Автором були проаналізовані сучасні вимоги до складення паспортів маршрутів та до розрахункових методик організації руху транспорту на маршруті [2]. Встановлено, що безпека руху пасажирського маршрутного транспорту враховується тільки при організації маршруту та вноситься у паспорт маршруту. Наведена в паспорті маршруту інформація стосується наявних залізничних переїздів та місць концентрації ДТП, які зображені на схемі маршруту та показані у вигляді переліку.

Методики розрахунку ступеня небезпеки або методики організації маршруту, яка враховувала би рівень безпеки, зараз не існує. Тому, для організації руху пасажирського маршрутного транспорту дорогою другої категорії слід розробити відповідну методику, яка буде дозволяти

враховувати при проектуванні маршруту безпеку руху на підставі синтезованих характеристик дорожнього руху.

Основна частина

Розглянемо взаємодію транспортних потоків на мікрорівні у вигляді сумісного руху транспортних засобів потоку з пасажирськими маршрутними транспортними засобами на ділянці дороги визначеної довжини.

Необхідність застосування мікроскопічного підходу зв'язана з наявністю у транспортному потоці пасажирських маршрутних транспортних засобів маневрів зупинки на відповідному пункті, вказане явище має мікроскопічний рівень, що потребує застосування відповідного підходу.

В теорії транспортних потоків взаємодію транспортних засобів у межах ділянки дороги визначеної довжини прийнято характеризувати за допомогою характеристик рівномірності руху транспортних засобів [3…6].

Класичними характеристиками взаємодії транспортних засобів у певній сукупності прийнято вважати [6]:

– шум швидкості;
– шум прискорення;
– шум «енергії».

Математичний запис зазначених характеристик прийнято розкривати у наступному вигляді [6]:

$$\begin{cases} \sigma_v^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - v_{cp}\right)^2, \\ \sigma_a^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i - a_{cp}\right)^2, \\ \sigma_k^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i v_i - \left(a_i v_i\right)_{cp}\right)^2, \end{cases} \quad (1)$$

де σ_v – середнє квадратичне відхилення швидкостей руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, м/с;

σ_a – середнє квадратичне відхилення прискорення руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, м/с^2;

σ_k – середнє квадратичне відхилення „кінетичної енергії" транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, м^2/с^3;

n – кількість транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, од.;

v_i – миттєва швидкість і-го транспортного засобу, що знаходився на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с;

a_i – миттєве прискорення і-го транспортного засобу, що знаходився на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с^2;

V_{cp} – середнє арифметичне значення швидкостей транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с;

a_{cp} – середнє арифметичне значення прискорень транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с.

Взаємодію синтезованих транспортного потоку та транспортного потоку пасажирського маршрутного транспорту на мікрорівні взаємодії окремих транспортних засобів пропонується розкрити шляхом введення у залежності (1) замість середніх арифметичних значень величин

їх значення для пасажирських маршрутних транспортних засобів, потік яких прагне до стаціонарного.

З урахуванням вказаного запишемо наступні формули:

$$\begin{cases} \sigma_v^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - v_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot v_{m_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_a^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i - a_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot a_{m_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_k^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i v_i - \left(a_i v_i\right)_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i v_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot a_{m_i} \cdot v_{m_i}\right)\right)^2, \end{cases} \quad (2)$$

де σ_v – середнє квадратичне відхилення швидкостей руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення швидкості руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м/с;

σ_a – середнє квадратичне відхилення прискорення руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення прискорення руху транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м/с^2;

σ_k – середнє квадратичне відхилення «кінетичної енергії» транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення «кінетичної енергії» транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м^2/с^3;

n – кількість транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, од.;

m – кількість маршрутів, що пролягають через досліджувану ділянку дороги, од.;

V_m – середнє арифметичне значення швидкостей пасажирських маршрутних транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с;

a_m – середнє арифметичне значення прискорень пасажирських маршрутних транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с.

v_{m_i} – миттєва швидкість і-го пасажирського маршрутного транспортного засобу, що знаходився на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с;

a_{m_i} – миттєве прискорення і-го пасажирського маршрутного транспортного засобу, що знаходився на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, м/с^2.

Надалі розглянемо взаємодію транспортних потоків на інженерно-психологічному рівні у вигляді сумісного руху транспортних засобів потоку з пасажирськими маршрутними транспортними засобами на ділянці дороги визначеної довжини. Взаємодія на вказаному рівні відбувається в межах дій водіїв відповідних транспортних засобів.

Одночасний рух в межах сукупності транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини призводить до появи додаткових обмежень та ускладнень:

– загальне ускладнення руху у зв'язку з появою додаткових транспортних засобів – пасажирських маршрутних, які мають інші характеристики зовнішньої інформативності;

– створення додаткових обмежень видимості та оглядовості для водіїв різних транспортних засобів;

– створення додаткових обмежень у виборі швидкості руху та відповідної траєкторії руху.

Вказані ускладнення насамперед призводять до додаткової втоми водіїв, яка відбивається у збільшенні відповідного часу реакції.

Пропонується на інженерно-психологічному рівні аналізу транспортних потоків у якості характеристики взаємодії синтезованих транспортних потоків прийняти значення часу реакції водія в межах визначеної ділянки дороги або в межах відповідного маршруту.

Зміну часу реакції водіїв при взаємодії транспортних потоків будемо розглядати за формулою:

$$\sigma_{t_p}^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{pi} - t_{pm}\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(t_{pi} - \left(\sum_{i=1}^{m} t_{pmi}\right)\right)^2, \quad (3)$$

де σ_{t_p} – середнє квадратичне відхилення часу реакції водіїв транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення часу реакції водіїв пасажирських маршрутних транспортних засобів, с;

n – кількість транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, од.;

t_{pi} – час реакції водіїв транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с;

t_{pm_i} – час реакції водіїв пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с;

t_{pm} – середнє арифметичне значення часу реакції водіїв пасажирських маршрутних транспортних засобів, с.

Значення σ_{t_p} має теоретичну цінність, з практичної точки зору провести натурні дослідження неможливо, тому пропонується провести аналогією за дистанціями між транспортними засобами у відповідній сукупності транспортних засобів, які водії підтримують відповідно до особистих міркувань щодо часу реакції на можливі зміни в русі. Формулу для σ_{t_p} перепишемо у наступному вигляді:

$$\sigma_L^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(L_i - L_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(L_i - \left(\sum_{i=1}^{m} L_{mi}\right)\right)^2, \quad (4)$$

де σ_L – середнє квадратичне відхилення дистанцій транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення дистанцій пасажирських маршрутних транспортних засобів, с;

n – кількість транспортних засобів, що знаходилися на ділянці дороги визначеної довжини у момент часу проведення вимірювань, од.;

L_i – дистанції, котрі підтримують водії транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с;

L_{m_i} – дистанції, котрі підтримують водії пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с;

L_m – середнє арифметичне значення дистанцій, котрі підтримують водії пасажирських маршрутних транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини, с.

Таким чином, з урахуванням роботи [7], де сформульовані макроскопічні характеристики, теоретичною основою безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту на дорогах другої категорії приймаємо наступну групу значень, які на трьох рівнях аналізу транспортного потоку характеризують взаємодію транспортного потоку з транспортним потоком пасажирського маршрутного транспорту відносно фіксованої ділянки дороги визначеної довжини:

$$\begin{cases} \sigma_N^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(N_i - N_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(N_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot \frac{1}{I_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_{V_n}^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(V_{ni} - V_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(v_{ni} - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot v_{m_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_q^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(q_i - q_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(q_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot V_{m_i} \cdot I_i\right)\right)^2, \\ \sigma_v^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - v_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(v_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot v_{m_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_a^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i - a_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot a_{m_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_k^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i V_i - \left(a_i V_i\right)_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(a_i V_i - \left(\sum_{i=1}^{m}\delta_i \cdot a_{m_i} \cdot V_{m_i}\right)\right)^2, \\ \sigma_L^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(L_i - L_m\right)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(L_i - \left(\sum_{i=1}^{m}L_{mi}\right)\right)^2. \end{cases} \quad (5)$$

Висновки

Таким чином, згідно проведеного аналізу та відповідного синтезу щодо загальних умов руху пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці на дорогах другої категорії з'ясовано наступне:

– рух транспортного потоку на дорогах другої категорії пов'язаний зі значними швидкостями та інтенсивностями, тому безпека цього руху є одним з головних питань;

– синтезовані мікроскопічні характеристики взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на дорогах другої категорії;

– синтезовані інженерно-психологічні характеристики взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на дорогах другої категорії;

– сформульована група характеристик на макроскопічному, мікроскопічному та інженерно-психологічному рівнях взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на ділянці дороги другої категорії.

Надалі необхідно дослідити синтезовані характеристики на предмет можливості оцінки ними безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту в транспортному потоці на дорогах другої категорії.

Список літератури

1. Столяров А.Л. Нові підходи щодо покращення безпеки дорожнього руху // Автошляховик України. – 2007. – №6. – С. 16-18.

2. Гудков В.А. Пассажирские автомобильные перевозки / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. – 447 с.

3. Бабков В.Ф. Современные автомобильные магистрали / Бабков В.Ф. – [2-е изд.]. - М.: Транспорт, 1974. – 279 с.

4. ДСТУ 2935-94 Безпека дорожнього руху. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 16 с.

5. Закон України „Про автомобільні дороги" // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2005, N 51, С. 556.

6. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д.Дрю. – М: Транспорт, 1972. – 424 с.

7. Попов С.Ю. Синтез макроскопічних характеристик взаємодії пасажирського маршрутного транспорту з транспортним потоком на дорогах другої категорії / О.М. Дудніков, С.Ю. Попов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник / АДІ ДВНЗ "ДонНТУ". – Горлівка, 2012. – № 2(13). – С. 39-44.

Аннотация. *Проведенный анализ и соответствующий синтез относительно общих условий движения пассажирского маршрутного транспорта в транспортном потоке на дорогах второй категории. Сформулированная группа характеристик на макроскопическом, микроскопическом и инженерно-психологическом уровнях взаимодействия пассажирского маршрутного транспорта с транспортным потоком на участке дороги второй категории.*

Abstract. *The analysis and synthesis of the corresponding general conditions of passenger bus in the transport stream on the roads of the second category. Formulated group characteristics on macroscopic, microscopic and engineering-psychological level of interaction passenger bus with the flow of traffic on the road section of the second category.*

Стаття надійшла до редакції 13.02.2012 р.

УДК 656.021.2

ТОЛОК О.В., к.т.н., доц., Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ»;
КАЛІНІН О.В., ст. викладач, Донецька академія автомобільного транспорту;
МАСТЕПАН О.В., викладач, Горлівський автодорожній технікум ДВНЗ «ДонНТУ»

ПРОБЛЕМИ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИБІРКОВИХ ОБСТЕЖЕНЬ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТУ НА МЕРЕЖІ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

У статті на основі аналізу існуючого теоретичного забезпечення вибіркових обстежень інтенсивності руху транспорту на мережі міських вулиць і доріг виявлені напрямки вдосконалення вибіркового методу обстеження інтенсивності руху транспорту.

Вступ

Ця стаття є продовженням статті [1], яка опублікована в попередньому випуску цього наукового журналу.

В [1] встановлено, що напрямками вдосконалення вибіркового методу обстеження інтенсивності руху транспорту (ІРТ) на мережі міських вулиць і доріг є: формування концептуальних посилок, теоретичних допущень, понятійного апарата й умовних позначок, які сформують загальну «мову» для всіх правил і способів у складі вибіркового методу обстеження ІРТ; створення системи домовленостей щодо точності обстежень ІРТ із урахуванням завдань і стадій проектування ВДМ і організації дорожнього руху.

В основу вибіркового методу обстеження ІРТ у містах покладено формулу:

$$\bar{N}_{доб} = N_t \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_4 \cdot \kappa_5, \quad (1)$$

де $\overline{N}_{доб}$ - оцінка середньодобової річної ІРТ;

N_t – величина ІРТ за проміжок часу вибіркового обстеження t усередині години;

κ_1 – коефіцієнт, що враховує внутрішньогодинну нерівномірность руху;

$\kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$ – коефіцієнти нерівномірності руху за годинами доби, за днями тижня й за місяцями року відповідно;

κ_5 – коефіцієнт, що враховує обсяг дорожнього руху в період з 24^{00} до 6^{00}.

Ця формула дозволяє перейти від даних вибіркового обстеження ІРТ за t – хвилинний проміжок часу до годинної, а потім і до добової ІРТ на ділянці ВДМ.

Для виявлення проблем і напрямків удосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ проведемо аналіз складових формули (1).

Мета статті

На основі аналізу існуючого теоретичного забезпечення вибіркових обстежень ІРТ на мережі міських вулиць і доріг виявити необхідність і напрямки вдосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ.

Основна частина

При плануванні вибіркового обстеження ІРТ на ділянці ВДМ проектувальник повинен знати період часу t усередині години, протягом якого буде проводитися вимір ІРТ.

У різних наукових і нормативних джерелах рекомендуються для проведення вибіркових обстежень проміжки часу від 5 до 30 хв. Наприклад: Gilbert K. [2] – 6 хв.; Drew D [3] – 5 хв.; Вальц В.К. [2]: при інтенсивності руху до 800 авт./год – 30 хв, від 800 до 1200 – 12 хв, більше 1200 – 6 хв; Ваксман С.А. [2]: до 500 авт./год – 30 хв; від 500 до 1000 – 12 хв; більше 1000 – 6 хв; Рейцен Е.А. [4] – 20 хв; Шелков Ю.Д. [5] – 30 хв; у нормативі Республіки Білорусь [6] час вибіркового спостереження може визначатися по кількості смуг руху й становить у середньому: на основних магістральних вулицях і дорогах найзначніших, значних і великих міст – 3 - 4 хв, середніх і малих міст – 5 – 6 хв, на інших вулицях і дорогах міст – 10 – 12 хв.

Як бачимо, єдиної думки щодо величини t немає. Тому наукове обґрунтування правил визначення величини t є напрямком удосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ на мережі міських вулиць і доріг.

Нам представляється, що чисто теоретичний підхід до розв'язання цього питання неможливий і єдино можливим методом пошуку відповіді на це питання є статистичний метод. Суть цього методу полягає в суцільному обстеженні всіх одиниць спостереження в генеральних сукупностях, які являють собою проміжки часу в 1 годину [1], і в зіставленні результатів такого суцільного обстеження з результатами оцінки годинної ІРТ за даними вибірки.

У результаті обстежень ІРТ протягом 253 годин на перегонах магістральних вулиць у містах: Горлівці (156 годин), Донецьку (54 години), Запоріжжі (8 годин) і Іловайську (35 годин) одним з авторів цієї статті була отримана формула для визначення тривалості вибіркового обстеження інтенсивності руху транспорту на ділянці вулиці:

$$t = \frac{26{,}19 \cdot N + 9040{,}3}{N \cdot (\Delta_t - 1{,}32) - 622{,}12}, \ хв, \qquad (2)$$

де Δ_t – припустима помилка оцінки ІРТ, %;

N – очікувана величина ІРТ, що доводиться в середньому на смугу руху на ділянці ВДМ, авт./год.

Очікувану величину ІРТ (*N*) проектувальник установлює за результатами обстежень за попередні роки або шляхом проведення пілотних обстежень ІРТ, або з використанням аерофотознімків через короткі проміжки часу, або на підставі свого досвіду залежно від класу вулиці. Очікувана величина ІРТ може задаватися у вигляді інтервалу, наприклад, від 400 до 600 авт/год на смугу. У цьому випадку, тривалість вибіркового спостереження визначають за нижньою границею інтервалу.

Необхідно продовжити роботу зі сбору даних про ІРТ для уточнення складових формули (2).

Період часу вибіркового обстеження *t* характеризується не тільки величиною, але й розміщенням у годині. У більшості публікацій оцінку ІРТ за годину одержують шляхом перемноження даних про ІРТ за *t* – хвилинний період на коефіцієнт, кратний 60, тобто при 5 – хвилинній вибірці – на 12, 20 – хвилинній на 3 і т.д. При цьому не враховують внутрішньогодинну нерівномірність руху, що може привести до значних помилок [7].

Вплив розміщення *t* у годині на точність результатів оцінки ІРТ повинне бути враховане за допомогою коефіцієнта κ_1 у формулі (1). Наприклад, автори формули (1) рекомендують проводити вибіркові дослідження ІРТ на ділянках ВДМ у години з найменшими коефіцієнтами варіації (що вже обмежує можливість проведення вибіркових досліджень на мережі міських вулиць і доріг у найкоротший термін) у плині 20 хв [4]. При цьому в плині години виділяються три 20 – ти хвилинних проміжки часу, які автори формули (1) називають «затисненими годинними проміжками». Залежно від тенденції зміни ІРТ усередині години для вибіркових обстежень вибирається один із цих затиснених 20 – ти хвилинних проміжків часу. При тенденціях зміни ІРТ усередині години, що підвищується й що знижується, для вибіркових обстежень варто використовувати середні 20 *хв* із перевідним коефіцієнтом $\kappa_1 = 3$, що забезпечує 95 % - у точність розрахункових годинних величин ІРТ [4]. Виникає питання: а які 20 хвилин необхідно брати для вибіркових обстежень, якщо тенденція зміни ІРТ у годині з найменшими коефіцієнтами варіації інша, і з яким перевідним коефіцієнтом κ_1? На це питання автори методики й формули (1) відповіді не дають.

Виникає ще одне питання: які значення повинен приймати коефіцієнт κ_1 при оцінці годинної інтенсивності руху транспорту за результатами вибіркових обстежень за проміжок часу, відмінний від 20 хв? Пошук відповідей на ці питання є напрямком удосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ.

Що стосується визначення значень коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5 у формулі (1), то тут можна виділити дві проблеми теоретичного забезпечення вибіркового методу обстеження ІРТ.

Для визначення значень коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5 на ВДМ міста виділяються ділянки, що характеризуються значною концентрацією руху, режим якого відбиває специфіку режиму руху в місті в цілому. Результати обстеження ІРТ на таких ділянках поширюються на всі ділянки ВДМ міста. Перша проблема полягає в тому, що формальних правил визначення кількості таких ділянок і місць їхнього розміщення на ВДМ не існує. Є лише окремі рекомендації. Наприклад, в [9] рекомендується на ВДМ виділяти 3 – 5 характерних перетинів, при цьому не вказуються, де саме такі перетини вибирати. Тому вибір таких ділянок на ВДМ здійснюється суб'єктивно проектувальником на підставі особистого досвіду, знання ситуації й інтуїції.

Логічним буде твердження, що чим більше буде виділено ділянок ВДМ для визначення коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5, то значення цих коефіцієнтів може бути визначене точніше. Але при цьому необхідно враховувати й той факт, що тенденції ІРТ у різних районах міста можуть бути різними. Тому усереднення значень коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5 за всіма характерними ділянками може привести до істотних помилок при оцінці добової ІРТ на інших ділянках ВДМ. Наприклад, при обстеженнях ІРТ у м. Києві, територія міста розбивалася на 4 зони: центральна, дві серединних і периферійна. Для кожної із цих зон визначалися значення коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5 [9]. До речі, правила, якими керувалися при виділенні зон на території м. Києва, визначенні кількості характерних ділянок і місць їхнього розміщення в кожній із зон, у роботі [9] не наведені.

У цілому, можна констатувати, що дотепер відсутній єдиний метод, що дозволив би виділити райони на території міста з метою обстеження ІРТ на ВДМ і який би враховував специфіку міської території й мету збору інформації про ІРТ.

У практиці зустрічаються різні принципи розчленовування території міста на окремі райони або зони. Кожне місто з населенням більше 250 тис. жит. має адміністративно-територіальний поділ, що полегшує збір загальних статистичних даних у місті (кількість населення, площа, довжина ВДМ та ін.), а значить, і полегшує керування містом. Крім того, передбачається архітектурно-планувальне членування міста на планувальні райони, а також розбивка на транспортні райони й т.д. Загальних правил членування міст на зазначені частини не існує. Є лише окремі рекомендації. Наприклад, величину транспортних районів пропонується приймати для центральної зони міста (зони найбільшої щільності мережі) від 4 до 40 га, серединної – 40 – 100 і периферійної – більше 100 га [10]. Ще можна розглядати розчленування території міста на концентричні зони, на окремі сектори й т.д.

Проте, відносно обстежень ІРТ напрошується загальний підхід до розчленовування території міста на окремі райони. Критерієм такого розчленовування може бути мінімізація варіації коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5 на всіх ділянках ВДМ району. Зрозуміло, що чим більше територія району, тим варіація цих коефіцієнтів буде більше й для зменшення цієї варіації необхідно буде виділити більшу кількість характерних ділянок, де будуть проводитися суцільні контрольні обстеження ІРТ протягом періоду часу *T*.

Таким чином, ми можемо виділити наступні два напрямки вдосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ на мережі міських вулиць і доріг: розробка методу розчленування території міста на райони з метою збору інформації про ІРТ; розробка правил визначення кількості характерних ділянок і місць їхнього розміщення на ВДМ району міста. Що стосується першого з цих напрямків, то тут становить інтерес метод розчленовування території міста для цілей АСУДР [11]. Суть методу полягає в розчленовуванні території міста на окремі підрайони з мінімумом зовнішніх зв'язків. При цьому мінімізується кількість транспортних детекторів – вони ставляться тільки на входах у підрайон. У нашому випадку, ці входи можуть бути контрольними ділянками. На кожній контрольній ділянці з використанням детекторів транспорту буде збиратися інформація про ІРТ. Результати обробки інформації про ІРТ на кожній з контрольних ділянок можуть бути використані для визначення значень коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5 у двох суміжних районах міста.

Є ще одна проблема визначення значень коефіцієнтів κ_2, κ_3, κ_4 і κ_5: протягом якого періоду часу повинна збиратися інформація про ІРТ на характерних ділянках ВДМ і з якою періодичністю? Вирішення цієї проблеми дозволить зменшити витрати на збір і обробку інформації про ІРТ і є напрямком удосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ.

Наприклад, у США реалізована безперервна програма вибіркового обліку ІРТ через регуляторні проміжки часу. Для одержання значень коефіцієнтів переходу до добової ІРТ і середньодобової тижневої ІРТ рекомендується проводити контрольні підрахунки ІРТ щорічно протягом одного тижня, а для знаходження місячних коефіцієнтів нерівномірності підрахунок ІРТ треба проводити один раз на місяць протягом 24 годин (у будній день тижня) [12]. У роботі [4] рекомендується проводити обстеження ІРТ у характерних перетинах ВДМ протягом 18 год (з 6 до 24) протягом одного тижня кожний квартал.

Висновки

Підіб'ємо підсумок. З урахуванням результатів, що отримані в першій частині цієї роботи [1], напрямками вдосконалення вибіркового методу обстеження ІРТ на мережі міських вулиць і доріг є: 1) формування концептуальних посилок, теоретичних допущень, понятійного апарата й умовних позначок, які сформують загальну «мову» для всіх правил і способів у складі вибіркового методу обстеження ІРТ; 2) створення системи домовленостей щодо точності обстежень ІРТ із урахуванням завдань і стадій проектування ВДМ і організації дорожнього

руху; 3) удосконалення системи правил визначення проміжку часу *t* для проведення вибіркового обстеження ІРТ на ділянці ВДМ; 4) розробка методу розчленування території міста на райони з метою збору інформації про ІРТ; 5) розробка правил визначення кількості характерних ділянок і місць їхнього розміщення на ВДМ району міста; 6) удосконалення системи правил збору інформації про ІРТ на характерних ділянках ВДМ.

Список літератури

1. Толок О.В. Напрямки удосконалення вибіркового методу обстеження інтенсивності руху транспорту на мережі міських вулиць і доріг / О.В. Толок, О.В. Мастепан // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту – 2011. - №4 – С. 28 – 35.

2. Ваксман С.А. Выборочный метод обследования интенсивности уличного движения / С.А. Ваксман, С.С. Кислицын // Проблемы градостроительства на Урале и Сибири – Свердловск: Издание УПИ, 1969. – Вып. 169. – С. 83 – 89.

3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.

4. Рейцен Е.А. Надежность обследований интенсивности движения в городах / Е.А. Рейцен // Градостроительство. – К.: Будівельник, 1983. – Вып. 35. – С. 87– 90.

5. Организация дорожного движения в городах : методическое пособие / [Шелков Ю.Д., Степанов В.В., Клинковштейн В.Г. и др]; под ред. Ю.Д. Шелкова. – М.: НИЦ ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.

6. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог : пособие П2-99 к СНБ 3.03.02 – 97. – Издание официальное. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1999. – 44 с.

7. Куєвда Д.В. Внутрішньогодинна нерівномірність завантаження рухом транспорту ділянки вулиці / Д.В. Куєвда, О.В. Толок // Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі : Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених та студентів. – Донецьк: ЛАНДОН-ХХІ, 2011. – С. 200 – 202.

8. Руководство по проведению транспортных обследований в городах / Белорус. гос. н.-и. и проект. ин-т градостроительства Госстроя БССР, Центр. н.-и. и проект. ин.-т по градостроительству Госгражданстроя. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.

9. Рейцен Е .А. Проведение обследований интенсивности движения транспорта в городах Украины / Е.А. Рейцен // Проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XI межд. науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2005. – С. 109-112.

10. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень : ДБН 360-92 – К.: Держбуд України, 2002. – 50с. - (Державні будівельні норми).**

11. Рейцен Е.А. Моделирование транспортных потоков в городах / Е.А. Рейцен, Х. Каддах // Безпека дорожнього руху України. - К.: НДЦБДР. – 2000. – №1. – С. 41-46.

12. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер. с анг. / [Рэнкин В.У., Клафи П., С. Халберт и др.] – М.: Транспорт, 1981. – 424 с.

Аннотация. *В статье на основе анализа существующего теоретического обеспечения выборочных обследований интенсивности движения транспорта на сети городских улиц и дорог определены направления усовершенствования выборочного метода обследования интенсивности движения транспорта.*

Abstract. *In article on the basis of analysis of existing theoretical fundamentals of sample surveys of traffic on the network of city streets and roads are defined directions of improvement of the sampling method of the survey traffic.*

Стаття надійшла до редакції 20.12.2012

УДК 658.567.1: 658.587

НОВАКОВСКИ П., к.т.н., адъюнкт, СЛАДКОВСКИ А., д.т.н., профессор
Силезский технический университет

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ ВЫЯСНИТЬ СОСТАВ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ПРОЦЕССЕ ДЕМОНТАЖА

В статье представлен системный подход, связанный с обменом информацией о методах демонтажа и складирования полученных вторичных материалов. Такая система интегрирует деятельность, связанную с проектированием, логистикой и рециклингом различных технических объектов, таких как: автомобили, электронное оборудование, машины и оборудование промышленного транспорта и т.д. Системы проектирования позволяют не только генерировать модели деталей и узлов для их дальнейшего производства, но также систематизацию и обмен информацией для других потребностей, например, для рециклинга. После окончания эксплуатации любой машины или оборудования важным является сокращение сроков отдельных этапов демонтажа, а также максимальное использование вторичных ресурсов. Важную роль играет идентификация материалов, использованных в конструкции, а также материалов потенциально опасных.

Планирование демонтажа технических средств

После окончания этапа эксплуатации технические средства предназначаются для исключения из эксплуатации. Это относится в равной степени как к технике и устройствам, использующимся в домашнем хозяйстве (электротехническое оборудование и бытовая техника), так и к средствам транспорта, в частности, к автомобилям или другим средствам транспорта. После исключения из эксплуатации наступает процесс демонтажа и дальнейшего использования вторичных ресурсов. Таким образом, удается получить существенную экономическую прибыль, а также решить проблемы, связанные с охраной окружающей среды [3]. Принятое в Евросоюзе законодательство регулирует многие вопросы, связанные с операциями, которым подвергаются исключенные из эксплуатации технические средства, в частности, электротехническое оборудование или автомобили [1, 2].

При планировании процесса демонтажа следует учесть: предварительный анализ продукта, определить последовательность демонтажа, выбрать устройства и инструмент для выполнения операций демонтажа, а также дать оценку всего процесса с точки зрения его экономичности. Такой предварительный анализ служит также тому, чтобы определить последовательность работ, которые необходимо выполнить перед началом основных операций демонтажа. Целью данной подготовки является также выяснение характеристик продукта или процесса, которые были бы нужны для определения оптимальной последовательности демонтажа [9]:

- идентификация компонентов, предназначенных для демонтажа;
- определение основных узлов;
- выбор стратегии демонтажа.

Идентификация компонентов предназначенных для демонтажа связана с поиском деталей наиболее ценных с точки зрения утилизации, которые впоследствии являются главной целью процесса демонтажа. Определяется, какие детали и узлы могут быть демонтированы без нарушения целостности (они имеют более высокую стоимость) и далее использованы на вторичном рынке, или если деление какого-то узла на части является финансово или технологически неоправданным. Обнаружение таких деталей или узлов может осуществляться вручную или автоматически с помощью соответствующих алгоритмов. Во время проектирования ручным

методом дизайнер объединяет отдельные компоненты в группы. Критерии для членства в той или иной группе зависят от стратегии утилизации (захоронение на свалках, энергетическое использование материалов, переработка материалов (рециклинг), повторное использование деталей или узлов, удаление экологически опасных веществ и т.д.).

Каждый продукт может демонтироваться по-разному, при этом лишь немногие из деталей являются полезными с точки зрения утилизации. Чтобы создать последовательность разборки можно поступать одним из следующих способов:

– при помощи традиционных методов – что делает возможным запроектировать последовательность демонтажа;

– при помощи нетрадиционных авторских методов;

– при помощи остальных методов, среди которых могут сети Петри (C.A. Petri), экспертные системы, генетические алгоритмы и т.п.

Экономический эффект от демонтажа является одним из ключевых элементов для мастерских рециклинга. Для его получения следует учитывать:

– время демонтажа, т.е. оценочное время, полученное на основе норм демонтажа или измеренное непосредственно при выполнении процессов демонтажа;

– цены демонтажа, которая состоит из трудозатрат, транспорта материалов, устройств и инструмента для проведения демонтажных работ, инвестиционных средств, а также расхода энергии;

– цены рециклинга, в которой учитываются расходы, связанные с транспортом, складированием, переработкой и утилизацией;

– доходов от рециклинга, формирующихся на основе рыночной стоимости материалов и компонентов, предназначенных для повторного использования.

Целью указанных выше действий является нахождение оптимальной последовательности операций демонтажа, которая будет отвечать, по крайней мере, одному из условий: это будет минимальное время демонтажа, минимальная его стоимость и/или максимальный доход. С целью определения экономических показателей процесса рециклинга необходимо иметь информацию относительно состава и веса компонентов устройств или машин, рыночной стоимости материалов или деталей, а также информацию относительно стоимости складирования продуктов, их транспортировки и т.д.

Методология проектирования, ориентированная на последующий демонтаж и рециклинг

Существующие в настоящее время системы проектирования базируются на программах CAD, CAM, CAE, работающими с дополнительными модулями. Они позволяют генерировать геометрические модели деталей и узлов не только для их дальнейшего производства, но также предоставляют информацию, касающуюся конечного этапа, т.е. демонтажа и рециклинга [10].

В течение последних лет появилось несколько методологий проектирования, для которых одной из основных целей является охрана окружающей среды. Это относится в максимальной степени к переработке сырья, которое появляется в процессе демонтажа машин и устройств, а также обеспечивается защита от вредного воздействия опасных материалов на окружающую среду. Внедрены ограничения использования особо опасных материалов, таких, например, как ртуть, кадмий и др. С этой целью используются методы проектирования основанные на применении принципов DFD (Design for Disassembly), DFR (Design for Recycling) и DFE (Design for Environment) [4,11]. Первая методология основывается на принципах проектирования объекта с тем, чтобы в максимальный способ упростить его демонтаж, вторая старается учесть процессы, важные с точки зрения последующего рециклинга [5]. Последняя методология учитывает комплексное воздействие оборудования на окружающую среду и старается минимизировать это воздействие [13]. Общая схема жизненного цикла продукта представлена на рис. 1.

На стадии проектирования предварительно выбираются конструкционные материалы, которые поддаются окончательной верификации при подготовке технологии производства, после чего осуществляется выпуск продукции. Окончательная версия использованных материалов должна быть записана в технической документации. Основными элементами обмена информации об объекте на этапе проектирования должен быть состав его компонентов, а также дополнительная информация о способе демонтажа.



Рис. 1. Упрощенная схема жизненного цикла технического средства

Система обмена информацией в цепи поставок – от проектирования до рециклинга

Визуализация демонтажа является достаточно удобной и простой для подготовки при помощи приложений CAD [7]. Среди наиболее часто используемых методов презентации используются: устройство в разобранном виде (рис. 2), видео презентация демонтажа, запись в виде файла VRML, который является форматом, предназначенным для использования в интернет-просмотрщиках, для которых установлен дополнительный плагин [12].

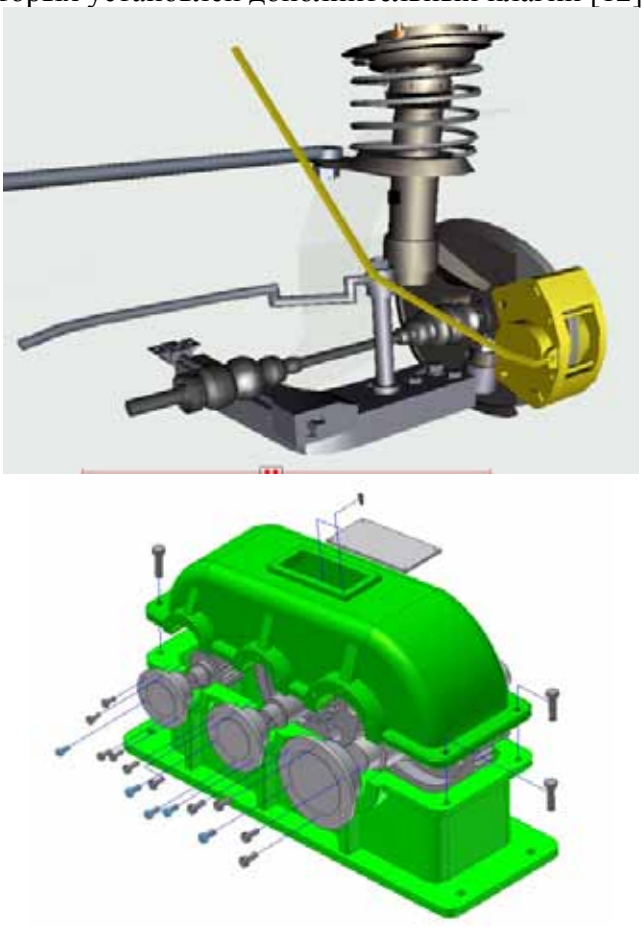


Рис. 2. Примеры визуализации демонтажа с использованием CAD (разобранный вид, изображение VRML при помощи интернет-просмотрщика)

На этапе проектирования генерируется спецификация компонентов BOM (Bill Of Materials). Это позволяет осуществить передачу данных для логистических нужд при комплектации заказов. Сырье, примененное в компонентах, может быть повторно использовано на этапе рециклинга, чтобы в дальнейшем служить материалом для производства новых изделий [4].

Основным условием эффективного демонтажа и использования вторичных ресурсов на этапе рециклинга является получение полных данных о составе материалов изделия от его производителя. Если суммировать массы отдельных сырьевых компонентов, можно получить информацию об их полном содержании в демонтируемом устройстве или машине. Общая схема информационных потоков и использования данных о продукте представлена на рис. 3. Исходя из этого, будет легче оценить эффективность и рентабельность демонтажа.

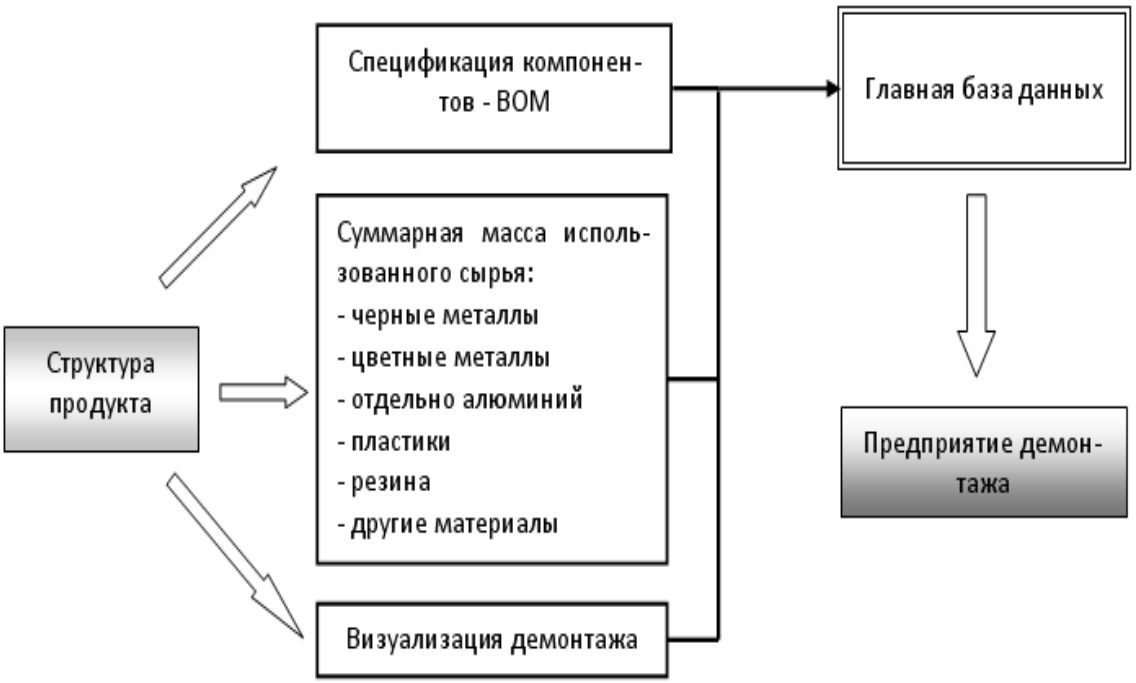


Рис. 3. Функциональная схема информационных потоков относительно способов демонтажа и состава материалов

В этом процессе важно, чтобы производитель отправлял информацию в базу данных о своих продуктах, в том числе об их различных версиях и модификациях, информацию о предлагаемых способах демонтажа в форме презентаций, а также информацию о составе материалов.

Современные системы обмена экономической информацией в глобальном масштабе основываются на структуре, разработанной в стандартах GS1 – Global System 1 [14]. К основным стандартам идентификации относятся штрих-коды и развивающаяся техника, основанная на системах радиочастотной идентификации RFID. В настоящее время появились системы, позволяющие идентифицировать детали по их видеоизображению. Такие системы должны быть основным способом идентификации объектов, предназначенных для демонтажа.

Данные об устройстве или машине могут быть переданы при помощи соответствующего файла, приписанного к данному объекту. Это позволит упростить его демонтаж, а также идентификацию использованных материалов непосредственно на основании соответствующей записи в указанном файле.

Основными методами, позволяющими использовать данные, подготовленные производителем, являются идентификация продукта с использованием линейного штрих-кода или кода 2D, считывание данных с идентификатора RFID, замонтированного внутри продукта, Интернет-соединение с сервером производителя или с другой страницей WWW, которая позволяет посредством вписывания названия или кода демонтируемого устройства или машины получить данные относительно рекомендованной последовательности демонтажа, наличии опасных для окружающей среды материалов, а также материалов, подлежащих рециклингу. Указанный подход представлен на схеме рис. 4.



Рис. 4. Концепция системы получения и интерпретации данных о демонтируемом объекте

Системы обмена информацией о демонтируемых машинах и устройствах находят свое применение в практике, причем этот подход наиболее развит для различного типа автомобилей [8].

Исследование примера для автомобильной промышленности

Автомобильная промышленность производит значительное количество автомобилей в глобальном масштабе, которые запроектированы на основе современной методологии, описанной в статье выше. После окончания эксплуатации автомобили являются существенным источником натурального сырья, которые в процессе рециклинга могут быть снова переработаны и использованы в новой цепи поставок. Был создан консорциум, который участвует в системе IDIS [15]. В его состав входят концерны автопрома, которые передают информацию о составе материалов отдельных деталей автомобилей, методах демонтажа их отдельных узлов и даже предоставляют необходимые для этого инструменты. Начиная с 1999 года эта система контролируется 25 наибольшими производителями автомобилей из Европы, США, Японии и Кореи, в том числе: BMW, Daihatsu, Daimler Chrysler, FIAT, Ford, General Motors, Daewoo, Honda, Hyundai, Isuzu, Iveco, Land Rover, Mazda, Mitsubishi Motors, MG Rover, Nissan, Peuegot, Citroen, Subaru, Volvo, Toyota, Renault, Volkswagen AG, Suzuki. Система IDIS опирается на базе данных поддерживаемой и постоянно обновляемой автомобильными концернами. Благодаря этому удается эффективно использовать или перерабатывать демонтированные части, получить вторичные материалы, а также утилизировать отходы, которые не пригодны для их повторного использования в соответствии с основами охраны окружающей среды. Пример окна программы IDISonline представлен на рис. 5.

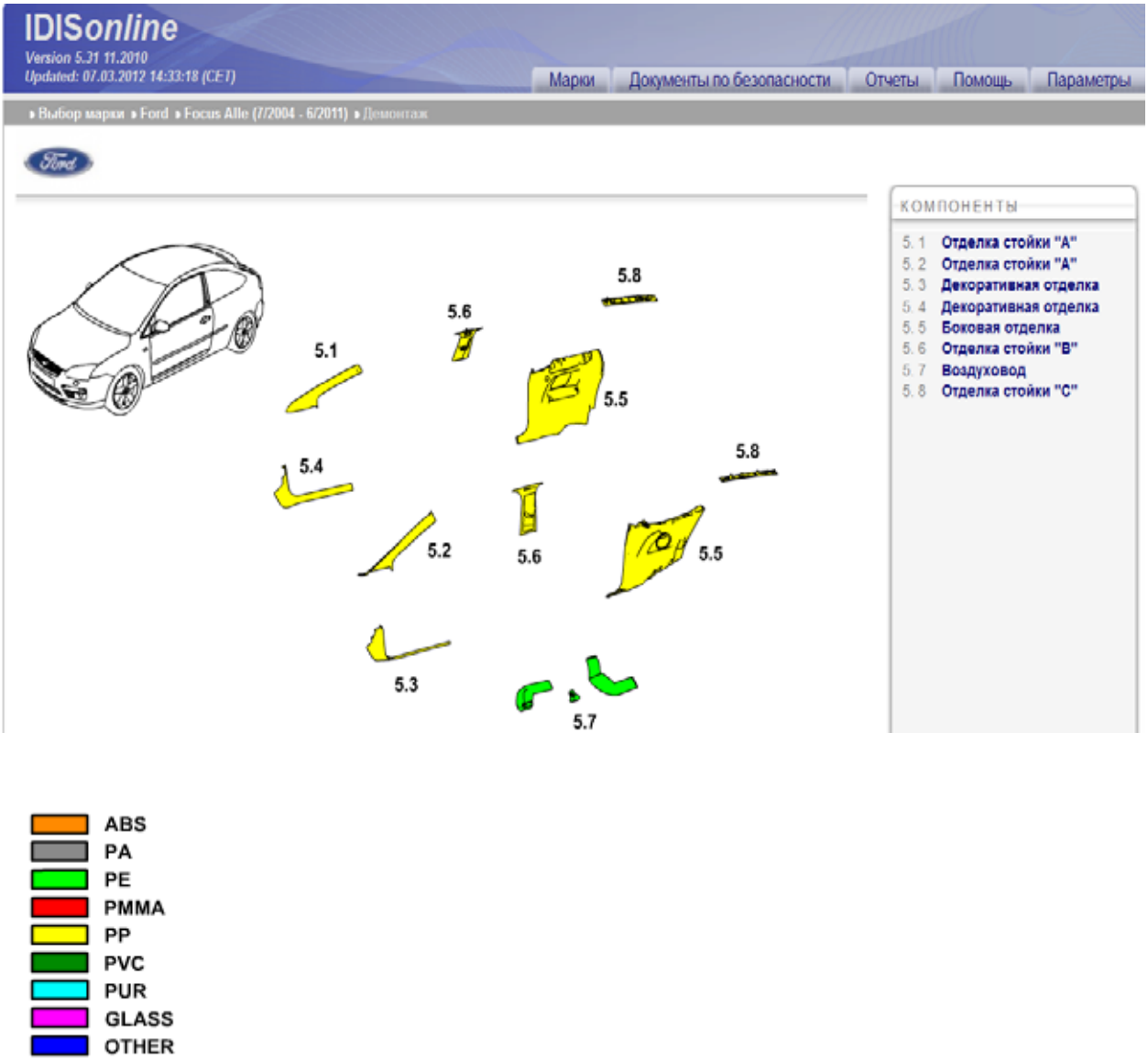


Рис. 5. Вид отдельных узлов, предназначенных для демонтажа в системе IDIS

После выбора детали для демонтажа система подает информацию о точной массе и материале, из которого эта деталь выполнена. Указывается также необходимый для демонтажа инструмент (рис. 6). Имея данные, полученные из системы, можно оценить массу вторичных материалов, которые можно получить в процессе демонтажа, и на этой основе оценить возможные доходы от их продажи [6]. Кроме указанной выше информации можно также получить информацию об опасных материалах, которые должны рассматриваться особым образом.

На основе данных содержащихся в базе данных IDIS, а также подсчета предполагаемого времени демонтажа полученных из мастерской рециклинга был проведен анализ для автомобиля модели OPEL Astra II. Были учтены цена сырья для оценки возможного дохода фирмы. Результаты представлены в табл. 1.

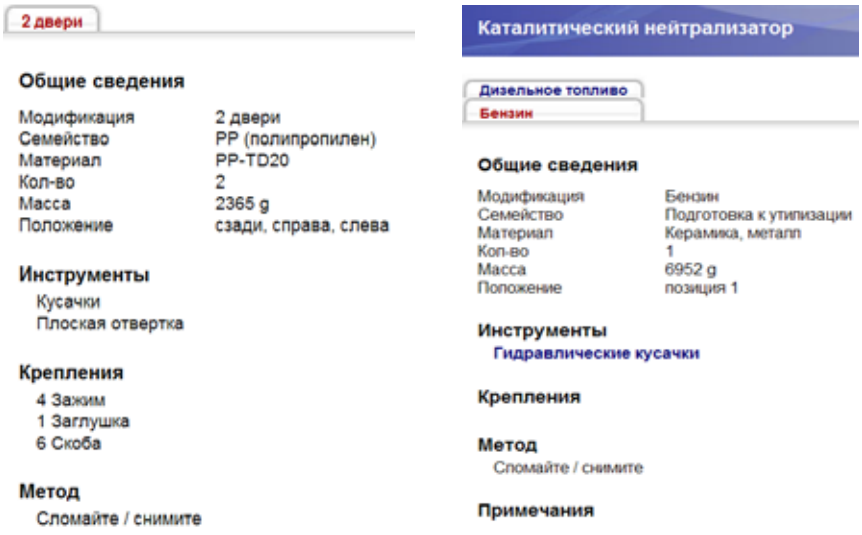


Рис. 6. Пример информирования о возможностях демонтажа компонентов, их материалах и массе

Таблица 1

Масса материалов и время демонтажа на примере автомобиля марки Opel

Название детали	Масса (кг)	Цена (злотых)	Время демонтажа (мин)
Аккумуляторы	12	21,12 zł	5
Масляные фильтры	0,09	0,18 zł	5
Катализаторы	4,2	105,00 zł	10
Цветные металлы	300	3 000,00 zł	70
Черные металлы	475	332,50 zł	80
Тормозные накладки	2	0,60 zł	15
Масла	10	15,00 zł	10
Шины	30	2,10 zł	20
Топливо	30	60,00 zł	10
Охлаждающая жидкость	5	0,00 zł	20
Тормозная жидкость	2	0,00 zł	20
Стекло	14	0,70 zł	45
Пластмассы	87,2	87,20 zł	80
Использованные электрические устройства	28	112,00 zł	60
	999,49	**3 736,40 zł**	**450**

Выводы

Разработчики различных изделий должны использовать инструменты и методологию DFR и DFD для соответствующего проектирования технических средств. Существенным фактом является подготовка и доступность визуализации методов демонтажа и размещение спецификации компонентов изделия в базе данных, которая должна быть доступна для фирм, занимающихся демонтажем и рециклингом.

Для обмена информацией следует использовать существующие организации, которые контролируют цепи поставок, такие как GS1, а также решения, которые используются в системе идентификации продуктов в глобальном масштабе (штрих-коды отдельных деталей, коды 2D, системы RFID и т.п.).

Предлагаемая система обмена информацией использует существующие подсистемы для обмена информацией о демонтаже и материальном составе компонентов изделия.

В качестве примера было приведено использование системы обмена информацией о методах демонтажа и использованном сырье для автомобиля.

Список литературы

1. 2003 No. 2635. Environmental Protection. The End-of-Life Vehicles Regulations 2003. http://www.legislation.gov.uk/uksi/2003/2635/made/data.pdf

2. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal of the European Union. 13.2.2003, L 37/19-23.

3. Gungor, A., Gupta, S.M. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: A survey. Computers and Industrial Engineering Vol. 36/4, 1999, p. 811-853.

4. Khoo K.M. Lee S. G., Lye S. W.: A Multi-Objective Methodology for Evaluating Product End-of-Life Options and Disassembly, International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2001) 18, Springer-Verlag, London, 2001.

5. Kuo, T.C. , Huang, S.H., Zhang, H.-C. Design for manufacture and design for 'X': Concepts, applications, and perspectives Computers and Industrial Engineering Vol .41, Issue 3, 2001, p. 241-260.

6. Nowakowski P.: Dismantling of end life vehicles in Poland. Problemy Transportu, t. 3, nr 3, 2008, s. 17-24.

7. Nowakowski P. Zastosowanie nowoczesnych systemów CAD do wizualizacji montażu i demontażu maszyn transportowych. Transport Przemysłowy, 2007, nr 4 (30), p. 52- 55.

8. Osiński J., Żach P.: Wybrane zagadnienia recyklingu samochodów. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2006.

9.Pnueli, Y., Zussman, E. Evaluating the end-of-life value of a product and improving it by redesign International Journal of Production Research Vol. 35, Issue 4, 1997, p. 921-942.

10. Santochi M., Dini G., Failli F.: Computer Aided Disassembly Planning: State of the Art and Perspectives. CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol. 51, Issue 2, 2002, p. 507–529.

11. Tsai C. Kuo: Enhancing disassembly and recycling planning using life-cycle analysis. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, nr 22, 2006, s. 420–428.

12. Weiss Z., Konieczny R., Kasica M., Kowalewski M.: Interaktywne projektowanie z zastosowaniem narzędzi VRML. III FORUM ProCAx, Mechanik, nr 11, 2004, s. 776-779.

13. Zhang, H.C., Kuo, T.C. Environmentally conscious design and manufacturing: Concepts, applications, and perspectives. American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE Vol. 94, 1997, p. 179-193.

14. Home GS1 - The global language of business. http://www.gs1.org

15. Welcome to IDIS web site. http://idis2.com

Анотація. *У статті представлений системний підхід, пов'язаний з обміном інформацією про методи демонтажу і складування отриманих вторинних матеріалів. Така система інтегрує діяльність, пов'язану з проектуванням, логістикою й рециклінгом різних технічних об'єктів, таких: як автомобілі, електронне обладнання, машини та обладнання промислового транспорту і т.д. Системи проектування дозволяють не тільки генерувати моделі деталей і вузлів для їх подальшого виробництва, але також систематизують та надають обмін інформацією для інших потреб, наприклад, для рециклінгу. Після закінчення експлуатації будь-якої машини або*

обладнання важливим є скорочення строків окремих етапів демонтажу, а також максимальне використання вторинних ресурсів. Важливу роль грає ідентифікація матеріалів, використаних в конструкції, а також матеріалів потенційно небезпечних.

Abstract. *This paper presents a systematic approach involving the exchange of information on methods of dismantling and storage of received recyclable materials. This system integrates the activities related to engineering, logistics and recycling of various technical objects such as cars, electronic equipment, industrial machinery and transport equipment, etc. System design can not only generate models of parts and components for further manufacture, but also to organize and exchange information for other needs, such as recycling. After the end of operation of any machinery or equipment is important to reduce the time separate stages of dismantling, as well as maximum utilization of secondary resources. The important role played by the identification of materials used in construction, as well as of potentially dangerous materials.*

Стаття надійшла до редакції 10.02.2012 р.

УДК 656.1:51.001.8

Л.С. АБРАМОВА, к.т.н доцент, В.В. ШИРИН, ассистент
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПОВЕДЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА В ЗАТОРОВОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ

Описана предложенная имитационная модель для проведения модельного эксперимента определения параметров заторового режима движения транспортного потока для его устранения. Представлены результаты модельного и натурного эксперимента на улично-дорожной сети города.

Постановка проблемы

Снижение эффективности пропускной способности улично-дорожной сети (УДС) является результатом увеличения загрузки ее элементов, когда транспортный затор, представляющий собой очередь автотранспортных средств (АТС) на перегоне сети, препятствует движению транспортного потока (ТП). Для повышения эффективности функционирования УДС известны мероприятия организации дорожного движения на перегонах УДС по предотвращению перехода ТП в заторовое состояние, которые можно разделить на два основных направления. Их классификация приведена на рисунке 1.

Первое направление основано на реализации потокораспределения на УДС. В этом случае проблема заторов решается перераспределением потока АТС с перегруженного участка на другие путем частичного или полного ограничения поступления АТС к участку УДС, на котором наблюдается затор. Существенным недостатком такой организации дорожного движения является то, что перераспределяемый ТП направляется по альтернативному маршруту следования АТС, в результате чего возрастает уровень загрузки других перегонов УДС. В случае недостаточного запаса пропускной способности этих перегонов возникают предпосылки для возникновения заторов и, соответственно, перераспределение ТП по УДС повлечет перемещение затора с

одного перегона на другой. Суть второго направления заключается в обеспечении пропускной способности на выходе участка УДС при согласовании параметров регулирования смежных перекрестков. Но такие мероприятия характеризуются сложностью реализации в условиях насыщенных ТП. Поэтому проблема устранения заторов актуальна и требует соответствующих решений.

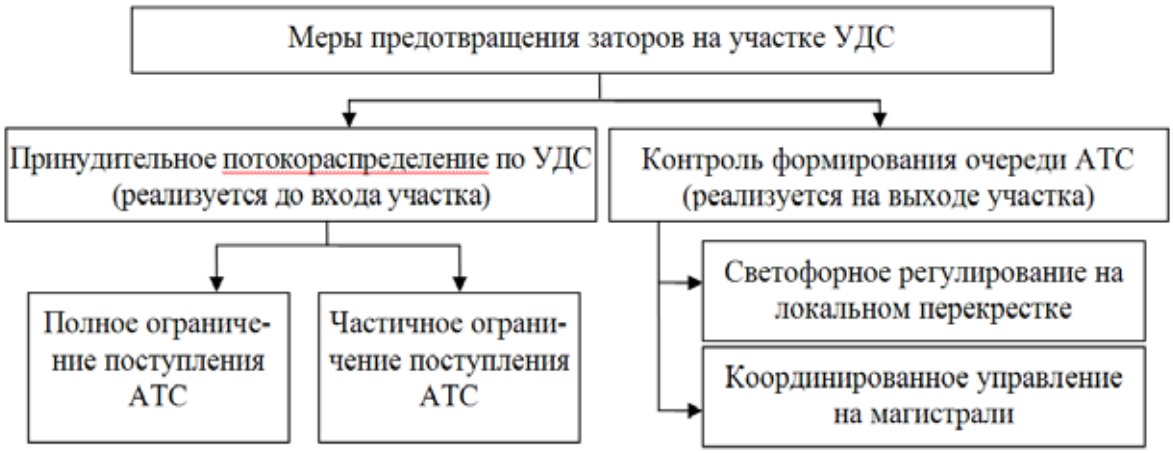


Рис.1. Способы организации дорожного движения для предотвращения транспортных заторов

Анализ последних исследований

Известны работы, в которых предложено разделение режимов движения в зависимости от плотности ТП [1]: свободное, умеренное, усложненное, старт-стопное («stop-and-go») движение. Режимам движения ТП соответствует определенное значение уровня загрузки дороги движением [2]. Влияние режимов движения ТП на образование заторов на перегонах УДС исследовано В.В. Семеновым [3], где определено, что направление исследования параметров движения ТП в заторе, является наиболее перспективным, но менее изученным.

Сложность применения диаграмм макромоделирования «интенсивность-плотность» и «интенсивность-скорость» заключается в том, что они являются характеристиками конкретного участка дороги и определенных дорожных условий. С изменением условий движения (суточные и сезонные колебания интенсивности и состава движения, погодных условий, состояния покрытия и других), изменяются значения дистанции и скорости движения и, следовательно, изменяется пропускная способность. В современной теории ТП сформированы две основные группы макромоделей: группа гидродинамических моделей ТП и группа кинетических моделей ТП.

В основе гидродинамических моделей ТП заложено представление ТП как одномерно сжимаемой жидкости, при условии сохранения потока, что позволяет исследовать взаимосвязь между плотностью и скоростью движения. К этой группе относятся: модель Лайтхила-Уизема (Уитема)-Ричардса (LWR) [4]; модель Танака [5]; модель Уизема [6]; модель Пейна [6] и ее обобщения (М. Раскаля, Д. Гринберга, Хелбинга-Эйлера-Навье-Стокса). Группа кинетических моделей ТП объединяет макромодели, которые основаны на применении кинетического уравнения Больцмана. Сложность вычислений и неоднозначность входных параметров, необходимых для формирования «определяющих уравнений» ограничивают практическое применение таких моделей. Подробный анализ приведенных макромоделей ТП представлен в работе [3].

Преимущество существующих макромоделей заключается в возможности исследования ударных волн в транспортном потоке. Однако, их особенностью является ряд существенных упрощений, на которых они основаны, а также сложность вычислений, что вызывает особенности их применения в алгоритмах управления автоматизированных систем управления дорожным движением. В результате проведенного анализа моделей поведения ТП на УДС были выявлены способы управления параметрами фронта ударной волны.

Микромоделирование ТП основано на исследовании динамического габарита АТС, который позволяет определить взаимное пространственное положение транспортных средств в потоке. Динамический габарит определяют как сумму длины АТС, дистанции безопасности и зазора до остановившегося впереди автомобиля (для легковых автомобилей этот зазор колеблется в пределах 1-3 метра), но эти параметры изменяются в условиях передвижения АТС в заторе. Класс микромоделей ТП формируют динамические модели и модель следования за лидером [7], а также микромодели ТП, основанные на теории клеточных автоматов [8]. Но все известные модели не учитывают современные динамические характеристики АТС.

Проведение экспериментальных исследований на реальной УДС для проверки разработанной методики устранения заторов на УДС путем изменения скоростного режима ТП на проблемных участках [9] ограничено по ряду причин, основными из которых являются высокие затраты на реализацию эксперимента и, что особенно важно, требованиями обеспечения безопасности дорожного движения. Поэтому, для исследования режимов движения АТС в условиях затора, имитационное моделирование более эффективно [10]. Оно позволяет рассматривать процесс функционирования сложной системы как смену состояний, описываемых основной фазовой переменной – плотностью транспортного потока. Основным достоинством имитационного моделирования является то, что оно позволяет исследовать системы различной сложности, в том числе системы, натурный эксперимент для которых не осуществим по этическим соображениям либо эксперимент связан с опасностью для жизни или требует значительных капиталовложений.

Примером известных пакетов имитационного моделирования в сфере организации движения транспортных потоков являются программные продукты VISSIM (PTV AG, Германия) [11], GET-RAM/AIMSUN [12], Paramics [13]. Существующие системы моделирования отображают реакцию транспортного потока на возмущающее воздействие (запрещающий сигнал светофора), которое является одной из причин образования ударных волн (УВ). При этом существующие системы имитационного моделирования позволяют управлять только параметрами фронта УВ, тогда как мы предлагаем изменять параметры «хвоста» УВ. Поэтому для модельного эксперимента необходимо разработать имитационную модель движения ТП в заторовом режиме движения, которая позволит определить параметры движения АТС на перегоне УДС.

Поэтому, для предотвращения перехода ТП в заторовое состояние нами предложена методика ограничения скорости на подходе к участку затора для уменьшения поступления АТС к хвосту ударной волны [9]. Для реализации предложенной методики определены скорость движения АТС на участке затора и параметры размещения технических средств регулирования дорожного движения. Для этого получена эмпирическая зависимость скорости движения АТС в плотном потоке от дистанции безопасности и скорости движения впереди идущего автомобиля, что позволяет описать поведение АТС в заторе.

Цель статьи

Для проверки эффективности разработанной методики устранения заторового режима движения на УДС города необходимо провести экспериментальные исследования. При этом необходимо разработать имитационную модель проведения модельного эксперимента формирования затора с определением показателей эффективности.

Основная часть

Математическую модель ТП в виде динамического массива однородных объектов представим в виде матрицы [15]:

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ \dot{x}_1 & \dot{x}_2 & \dot{x}_3 & \dots & \dot{x}_n \\ \ddot{x}_1 & \ddot{x}_2 & \ddot{x}_3 & \dots & \ddot{x}_n \\ j_1 & j_2 & j_3 & \dots & j_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

где n – количество автомобилей, которые находятся на участке УДС.

Каждый элемент матрицы A описывается четырьмя параметрами: ускорением $\dot{x}_n$, скоростью $\ddot{x}_n$, текущей координатой АТС x_n и показанием счетчика времени j_n, который описывает воздействие светофорного регулирования на движение АТС. Скорость движения АТС определяется на основании полученной модели (1). Размер данного массива в общей модели транспортного потока и может изменяться в процессе моделирования от 0 до n. Для моделирования процесса поступления АТС на перегон УДС, применяем генератор случайных чисел [14]. Процесс моделирования заключается в численном моделировании элементов матрицы A (1).

Исходными параметрами имитационного моделирования являются: 1) длина перегона УДС, м; 2) максимальная скорость транспортного потока V_{max}, км/ч; 3) максимальное ускорение при разгоне, a_{1max}, м/с^2; 4) максимальное ускорение при торможении, a_{2max}, м/с^2; 5) длительность цикла св0етофорного регулирования $T_ц$, с; 6) длительность запрещающего сигнала, $t_з$, с; 7) интенсивность движения транспортного потока, N, авт./ч; 8) максимальная плотность транспортного потока, q_{max}, авт./км.

На каждом шаге моделирования выполняются следующие действия:

– определяются текущие парметры светофорного регулирования и случайным образом генерируется АТС, которое поступает на перегон. Из общей модели исключается автомобиль в том случае, если координата его положения превышает длину участка моделирования;

– определяется факт присутствия препятствия при движении каждого автомобиля и определяется дистанция до него. Препятствием при движении считается либо светофор, либо впереди идущее АТС. Для каждого автомобиля в потоке эта процедура производится на каждом шаге моделирования;

– на основании определения дистанции до ближайшего препятствия и скорости его движения, определяется скорость движения текущего АТС по полученной модели (2).

$$V = -0{,}0132d^2 + 0{,}5836d - 0{,}919 + \left(\frac{V_0}{8}\right)^2 \cdot \left(0{,}0132d^2 - 0{,}5836d + 9{,}213\right) \quad (2)$$

где V – скорость рассматриваемого АТС, м/с;

V_0 – скорость впереди идущего АТС, м/с;

d – дистанция до впереди идущего АТС, м.

На рисунке 2 представлена общая схема имитационной модели ТП для проведения эксперимента.



Рис. 2. Схема имитационной модели параметров движения АТС на перегоне регулируемого пересечения

В имитационной модели выполняются следующие операции:

– в блоке генерации АТС проверяется условие генерации нового АТС и включения его в общую математическую модель ТП. Условие генерации АТС состоит в том, чтобы расстояние между последним сгенерированным АТС и началом координат оси движения должно быть равно либо больше величины дистанции между АТС в потоке. Новое АТС генерируется в начале координат случайным образом с нулевой скоростью и ускорением.

– в блоке определения положения АТС на перегоне УДС выполняется проверка нахождения АТС в пределах участка моделирования. Если текущая координата положения АТС превышает длину перегона УДС, то оно исключается из общей математической модели и для него процесс моделирования прекращается.

– в блоке определения состояния технических средств регулирования определяется длительность цикла светофорного регулирования и пропускная способность перегона в сечении стоп-линии. На каждом шаге моделирования выполняется проверка цикла светофорного регулирования.

– в блоке определения параметров изменения скоростного режима при превышении интенсивности ТП выполняется расчет параметров изменения скоростного режима на подходе к зоне затора в соответствии с разработанным алгоритмом [9].

– в блоке оценки параметров движения автомобиля оцениваются параметры последовательно движущихся автомобилей и учитывается ограничение скорости.

– в блоке принятия решения по изменению режима движения в зависимости от параметров движения принимается решение о возможности разгона, необходимости торможения или экстренного торможения АТС.

– в блоке определения новых параметров движения автомобиля на основании принятого решения путем интегрирования ускорения определяется новая скорость и положение автомобиля на участке моделирования [9].

Выходными параметрами имитационной модели являются: 1) плотность ТП, авт./км; 2) скорость движения АТС; 3) скорость движения каждого АТС в потоке, м/с; 4) количество накапливающихся АТС на подходе к перекрестку, ед; 5) параметры зоны изменения скоростного режима (место установки знаков, которые указывают скорость движения).

Программная реализация предложенного алгоритма выполнена в интегрированной среде разработки приложений Delphi 7.0. В процессе моделирования движения на участке УДС со светофорным регулированием, при отсутствии препятствий движению (включен разрешающий сигнал светофора), поступающие АТС распределяются по участку в соответствии заданной часовой интенсивностью (рисунок 3).

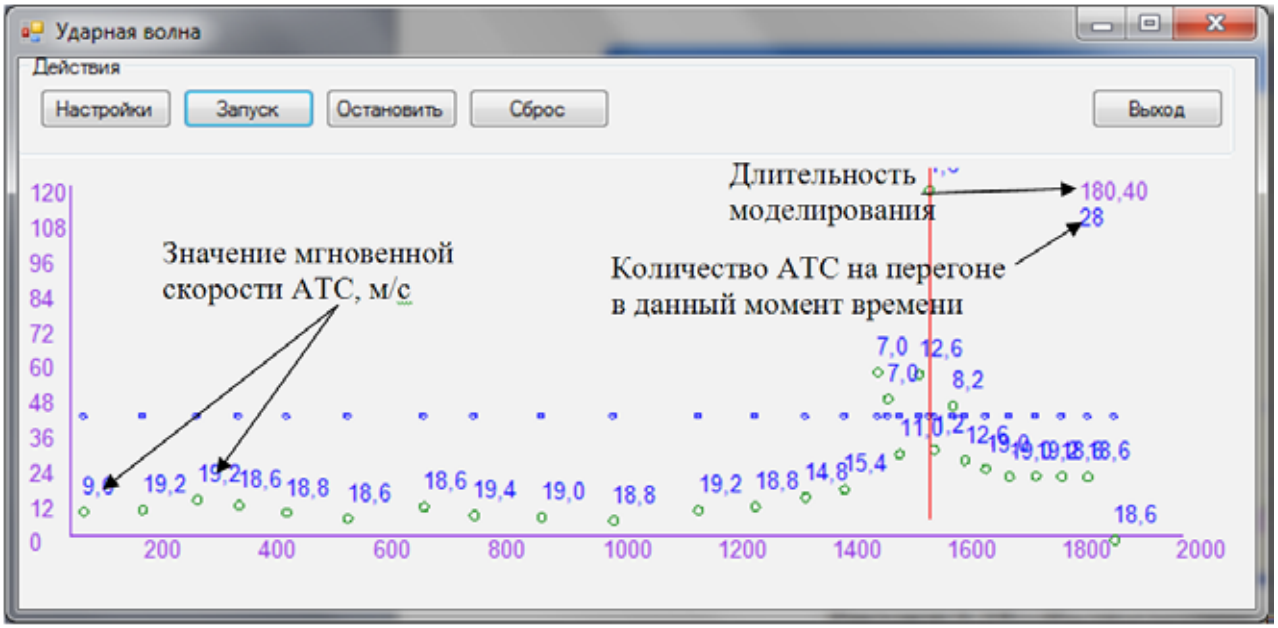


Рис. 3. Распределение АТС на участке УДС при отсутствии препятствий

В процессе моделирования вырабатывается возмущающий импульс – отображение запрещающего сигнала светофора, на время действия которого ближайшее к светофору АТС останавливается, если расстояние от координаты его местоположения до светофора меньше его тормозного пути. Зарождающийся процесс уплотнения транспортного потока в направлении противоположном его движению, образует УВ.

Определяем параметры движения АТС при изменении интенсивности ТП с помощью предложенной имитационной модели. Для этого в качестве входных параметров имитационной модели вводим данные, полученные во время натурного эксперимента на УДС г. Харькова (ул. Деревянко, на участке от пересечения с Белгородским Шоссе до пересечения с ул. Балакирева), который имеет следующие параметры: длина участка – 1460 м; ширина проезжей части – 14 м; тип дор. одежды, вид покрытия – капитальный, асфальтобетон; состояние покрытия – отличное; кривые в плане – отсутствуют; поперечные уклоны – в пределах градостроительных норм; продольные уклоны составляют: – в сторону Белгородского Шоссе – 70 ‰, – в сторону ул. Балакирева – 40 ‰. Данный перегон характеризуется неудовлетворительными условиями движения в часы «пик», что позволяет оценить параметры движения АТС в заторовом состоянии ТП. Работа светофорного объекта на пересечении ул. Деревянко – ул. Балакирева осуществляется по одной суточной программе. Разъезд на перекрестке – трехфазный; длительность фазы, разрешающей движение по ул. Деревянко – 20 с; длительность запрещающего сигнала на подходе – 40 с.

В ходе эксперимента зафиксировано время проезда участка при различной интенсивности потока, а также определены параметры ТП, при которых движение переходит в заторовое

состояние. Экспериментальные измерения интенсивности ТП на перегоне производились группой учетчиков в будние дни в утренний и вечерний часы «пик». В остальное время суток на исследуемом участке заторовое состояние ТП не наблюдалось. Параллельно производились экспериментальные заезды методом «плавающего автомобиля» по перегону. Результаты экспериментальных значений параметров движения по участку ул. Деревянко в г. Харькове представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты экспериментального определения времени проезда участка ул. Деревянко в г. Харьков

Период времени, ч	Интенсивность ТП на перегоне, авт./ч	Интенсивность ТП на полосе, авт./ч	Начало экспериментального заезда, ч:мин.	Момент пересечения стоп-линии, ч:мин.:с	Время проезда участка, мин.:с
8:00–9:00	1018	509	8:05:40	8:10:03	2:17
9:00–10:00	1050	525	9:10:35	9:13:03	2:28
10:00–11:00	893	446	10:07:45	10:09:47	2:02
16:00–17:00	714	357	16:12:05	16:12:05	1:33
17:00–18:00	1403	700	18:11:07	18:25:01	13:54
18:00–19:00	1090	545	18:03:55	18:08:06	4:11
19:00–20:00	704	352	19:04:11	19:05:47	1:36

Полученные результаты показывают зависимость времени проезда участка УДС от интенсивности ТП на нем. Так, на участке ул. Деревянко при интенсивности потока 357 авт./ч, время проезда составляет 1:33 мин.:с. При повышении интенсивности ТП до 700 авт./ч, время проезда увеличивается до 13:54 мин.:с. Увеличение интенсивности ТП при постоянном цикле регулирования приводит к накоплению АТС у стоп-линии, которые не разъезжаются за время разрешающего сигнала светофора, в результате чего образуется очередь АТС. Очевидно, что время проезда по участкам УДС является характеристикой условий движения и определяется параметрами ТП. Для модельного эксперимента принимаем параметры ТП, при которых наблюдается неудовлетворительные условия проезда перегона с формированием затора.

В процессе имитационного моделирования получены значения времени проезда по участку УДС. Результаты анализа значений времени проезда по участку, полученные с помощью экспериментальных исследований на реальной УДС и в результате имитационного моделирования представлены в таблице 2.

Полученные результаты подтвердили достоверность модельного эксперимента, поскольку среднее значение относительного отклонения времени проезда по исследуемому участку УДС не превышает 5%. Следовательно, предложенная методика изменения скоростного режима ТП на подходе к зоне затора на перегоне может быть проверена на разработанной имитационной модели.

Таблица 2

Результаты анализа времени проезда по участку УДС

Интенсивность ТП на перегоне, авт./ч	Время проезда участка (экспериментальные исследования), с	Время проезда участка (имитационная модель), с	Абсолютное отклонение, с	Относительное отклонение, %
1018	137	142	5	3,5
1050	148	144	4	2,8
893	122	116	6	5,2
714	93	97	4	4,1
1403	834	841	7	0,8
1090	251	276	25	9,1
704	96	102	6	5,9
Средние значения	240	245	5	4,5

Выводы

Разработана имитационная модель определения времени движения АТС на перегоне на основании полученных аналитических зависимостей скорости движения АТС от дистанции до впереди идущего автомобиля и его скорости для проведения модельного эксперимента, тогда как проведение натурного эксперимента на действующей УДС невозможно. Для этого экспериментальные данные времени проезда перегона (ул. Деревянко г. Харькова) были получены методом «плавающего автомобиля». Сравнительный анализ реального времени движения АТС по перегону и полученного в результате модельного эксперимента выявил среднее отклонение значений времени проезда, не более чем 5%.

Список литературы

1. Cremer M. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations / M. Cremer, J. Ludvig // Math. Comp Simul. – 1986. – V. 28 - P. 297-303.

2. Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог / Кероглу Л.А. – М.: Автотрансиздат, 1963. – 85 с.

3. Семенов В.В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков/ Семенов В.В. – М., 2006. – 32 С. – (препринт ИПМ № 46 / Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, Москва, 2006).

4. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads // Proc. R. Soc. London, Ser. A. 1955. V. 229. P. 281 345.

5. Иносе Х. Управление дорожным движением: пер. с англ. под. ред. М.Я. Блинкина / Х. Иносэ, Т. Хамада. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

6. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем. - М.: Мир, 1977. – 627 с.

7. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков; пер. с англ.- М.: Мир, 1966. – 286 с.

8. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automation model for freeway traffic / K. Nagel, M. Schreckenberg // J. Phys. I France. – 1992. – Vol. 2. – P. 2221-2229.

9. Абрамова Л.С. Формализация параметров движения автотранспортных средств при движении в плотном потоке / Л.С. Абрамова, В.В. Ширін // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту вип. 3 – Донецьк:ТОВ «Дончанка-інформ», 2011 С 4-11.

10. Завадский Ю. В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю. В. Завадский // М.: Транспорт, 1977. - 72 с.

11. Официальный сайт компании PTV AG http://www.ptv.de

12. Официальный сайт корпорации AGA Group http://www.againc.net/ru

13. Официальный сайт компании Quadstone Paramics http://www.paramics-online.com

14. Кнут Дональд Э. Искусство программирования / Дональд Э. Кнут. - М.: Вильямс ISBN 5-8459-0081-6 (рус.), ISBN 0-201-89684-2 (англ.), 2000. — 832 с. - (3-е изд., Т. 2 «Получисленные алгоритмы).

15. Абрамова Л..С. Моделирование параметров транспортных потоков / Абрамова Л..С., Рогов А.В. // Вестник НТУ ХПИ № 46 – Х.:ХПИ, 2008. – с. 9-15.

Анотація. *Описана імітаційна модель для проведення модельного експерименту визначення параметрів заторового режиму руху транспортного потоку для його усунення. Наведені результати модельного та натурного експерименту на вулично-дорожній мережі міста.*

Abstract. *Simulation model for conducting simulation model experiment for determination parameters of traffic flow congestion regime and elimination of congestion has been described. The results of simulation experiment and experiment in real city road network have been presented.*

Стаття надійшла до редакції 7.02.2012 р.

УДК 629.113

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

ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ КУЗОВА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА КУРСОВУ СТІЙКІСТЬ РУХУ

Досліджено питання щодо впливу перекосу осей на курсову стійкість руху легкового автомобіля. Представлена математична модель руху автомобіля, що дозволяє враховувати перекос осей. Побудовані фазові портрети та траєкторії руху центру мас.

Вступ

Одним з найважливіших елементів, що впливають на курсову стійкість руху, являється кузов легкового автомобіля. Найчастіше порушення геометрії кузова виникають внаслідок потрапляння автомобіля в ДТП, в результаті чого виникають деформації кузовних деталей [1]. Це призводить до появи перекосу осей, що буде суттєво впливати на показники стійкості руху. Безумовно, що необхідне виправлення деталей кузова, але після виправлення залишаються неточності в розташування контрольних точок [2]. Це свідчить про те, що можуть залишатися перекоси передньої та (або) задньої осей. Оскільки першість по кількості зіткнень автомобіля тримає його передня частина [1],то більш вірогідним є перекос передньої осі. На другому місці розташовані ушкодження задньої області, а найменше ушкоджень припадає на бічні частини.

Мета статті

Дослідження впливу перекосу осей легкового автомобіля на показники курсової стійкості руху.

Основна частина

При дослідженнях використано модель легкового автомобіля [2], що схематично представлена на рис. 1. Для спрощення розрахунків перекос осей враховується шляхом введення в рівняння руху кутів $\Delta\theta_{ij}$, що імітують перекос осі – передньої чи задньої. Тобто перекос осі представлено шляхом повороту коліс, що виникає внаслідок цього перекосу.

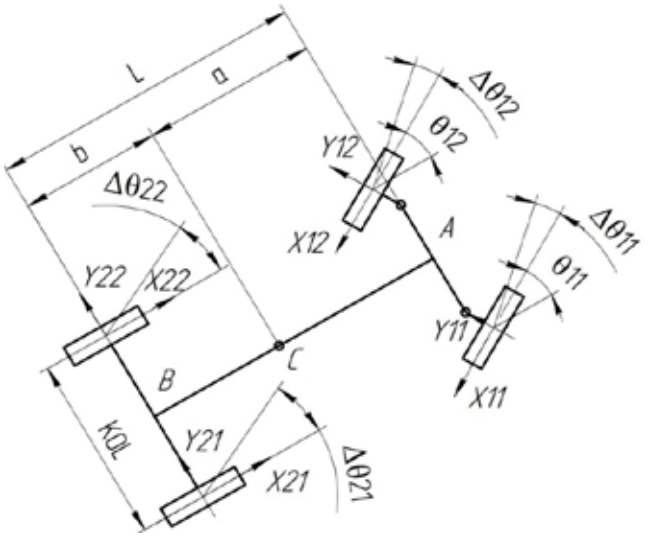


Рис. 1. Розрахункова схема легкового автомобіля

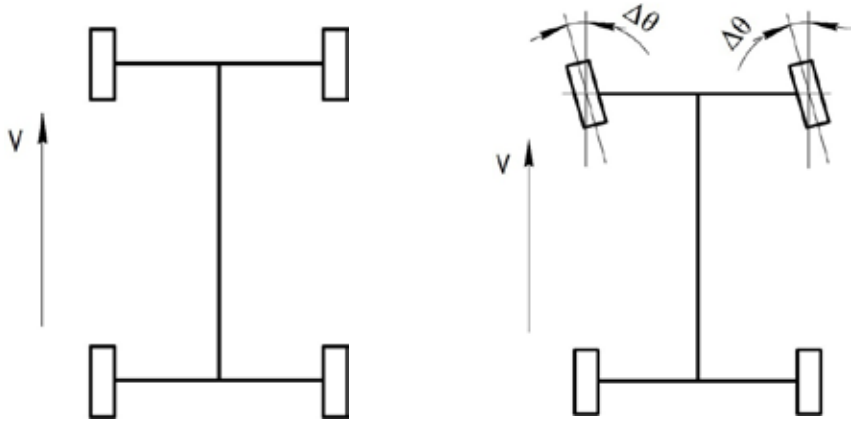
Рівняння руху мають вигляд

$$m(\dot{u} + \omega v) = Y11(\cos\theta 11 + \Delta\theta 11) + Y12\cos(\theta 12 + \Delta\theta 12) + Y21\cos(\Delta\theta 21) + Y22\cos(\Delta\theta 22);$$

$$J\dot{\omega} = aY11\cos(\theta 11 + \Delta\theta 11) + aY12\cos(\theta 12 + \Delta\theta 11) + bY21\cos(\Delta\theta 21) + bY22\cos(\Delta\theta 22).$$

При розрахунках прийнято наступні конструктивні параметри легкового автомобіля та його шин: маса – 1535 кг; база – 2,48 м; відстань від центру мас до передньої осі – 1,16 м; відстань від центру мас до задньої осі -1,32 м; колія – 1,43 м; коефіцієнт опору відведенню коліс передньої осі – 52 кН/рад; коефіцієнт опору відведенню коліс задньої осі 41 кН/рад.

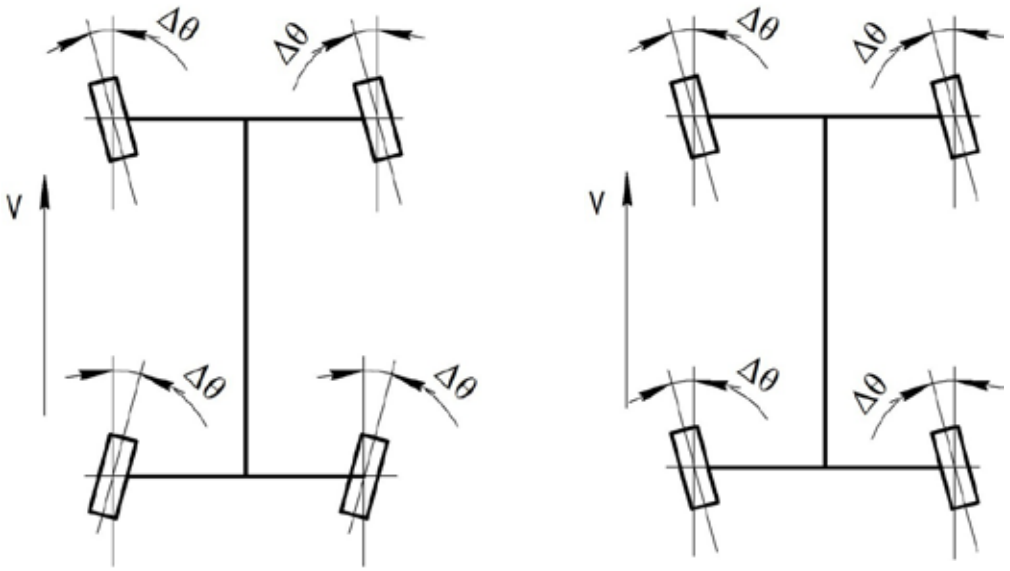
На рис. 2а представлена схема автомобіля без перекосу осей (еталонна), на рис. 2б – зображено перекос передньої осі.



а) б)

Рис. 2. Досліджувані схеми автомобіля

На рис. 3а зображено перекос передньої та задньої осей в різні боки, а на рис. 3б – перекос передньої та задньої осей в один бік.



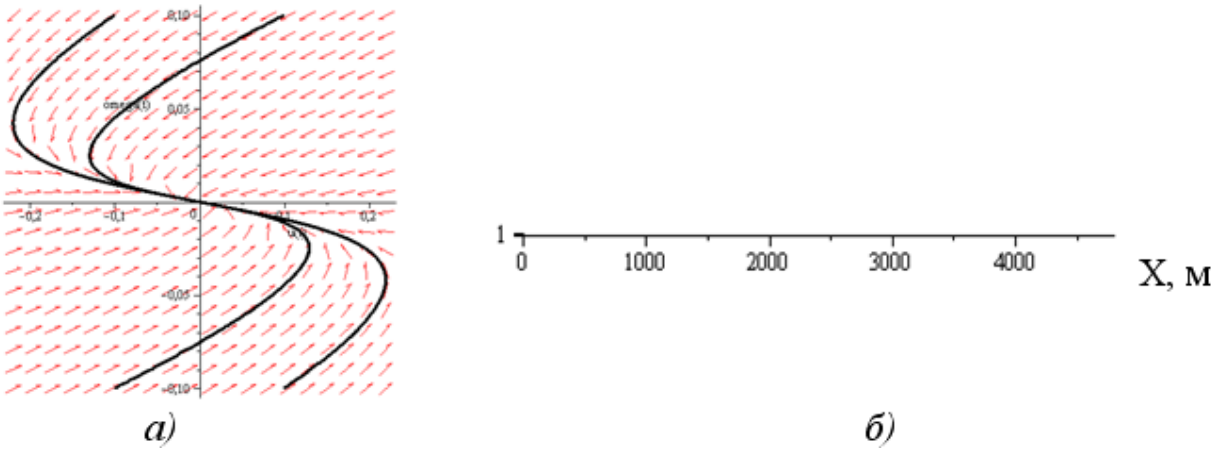
а) **б)**

Рис. 3. Досліджувані схеми автомобіля

Оскільки коефіцієнти опору відведенню не змінюється для всіх прийнятих схем дослідження, то критична швидкість прямолінійного руху (швидкість, за якою автомобіль втрачає курсову стійкість руху) є однаковою для усіх схем дослідження перекосу осей. При прийнятих конструктивних параметрах автомобіля критична швидкість складає 52,5 м/с.

Для дослідження впливу перекосу осей на курсову стійкість побудуємо фазові портрети, що являють собою залежність кутової швидкості автомобіля від бічної швидкості ω=u(t), та траєкторії руху ценру мас [3,4]. Фазові портрети та траєкторії руху характеризують стаціонарні рухи при наявності чи відсутності перекосів осей, що відповідають прямолінійному руху (кут повороту керованих коліс відсутній θ=0) та докритичним швидкостям руху.

На рис. 4 представлено фазовий портрет та траєкторія руху для випадку, коли перекоси осей відсутні (див. рис. 2а).

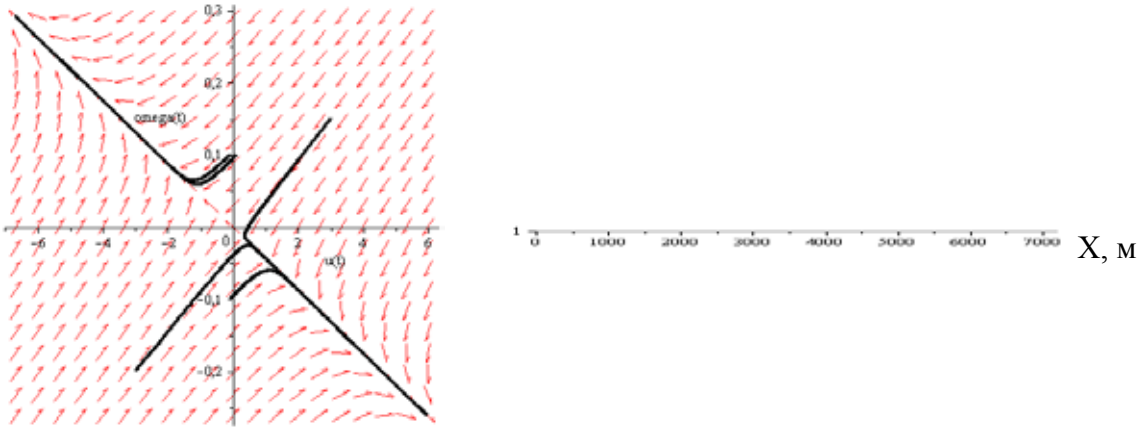


а) *б)*

Рис. 4. Фазовий портрет(а) та траєкторія руху (б) при v=30 м/с та θ=0

Як видно з рис. 4 автомобіль має стійкий у всій фазовій площині коловий стаціонарний стан – рухається по прямій. Будь-які збурення фазових змінних з часом за аперіодичним законом спадають.

Фазовий портрет ω=u(t) та траєкторія руху, що характеризують стаціонарні рухи при положеннях керованих коліс, що відповідають прямолінійному руху (θ=0) та закритичній швидкості автомобіля у випадку відсутності перекосу (див. рис. 2а) показані на рис. 5

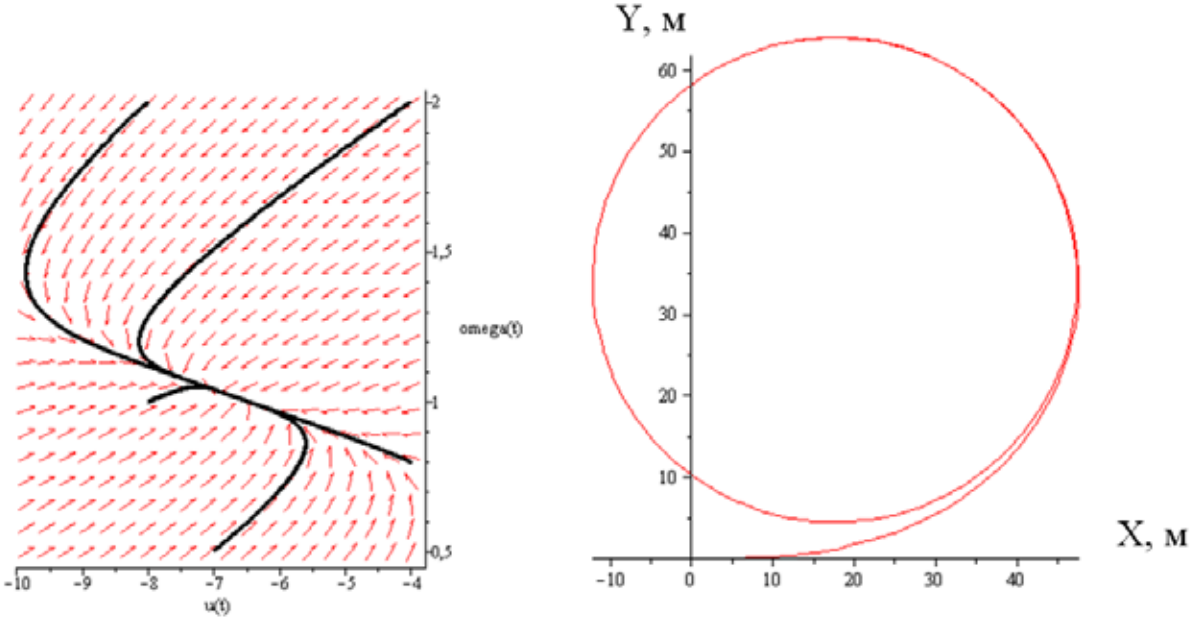


а) б)

Рис. 5. Фазовий портрет (а) та траєкторія руху (б) при v=60 м/с та θ=0

З рис. 5 видно, що якісно відрізняється фазовий простір для випадку руху із «закритичною» швидкістю – в цьому випадку будь-які збурення фазових змінних призводить не до їх спадання, а, навпаки, до зростання,що призводить до втрати КСР.

Розглянемо надалі рух автомобіля, що має перекос (див. рис. 2б) передньої осі 3˚ (швидкість 30 м/с, θ=0), для чого побудуємо фазовий портрет та траєкторію руху (рис. 6).

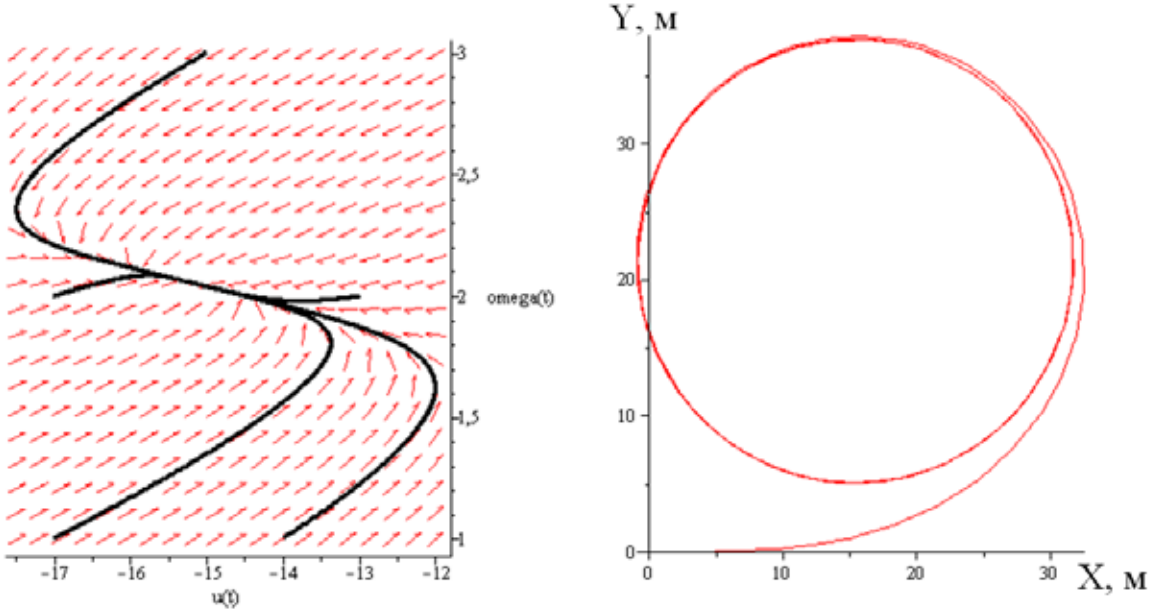


а) б)

Рис. 6. Фазовий портрет (а) та траєкторія руху (б) при v=30 м/с (перекос передньої осі 3˚)

Як видно з рис. 6 маємо стійкий рух – траєкторія являє собою коло, на яке автомобіль виходить після початку руху.

Розглянемо надалі рух автомобіля, що має перекос (див. рис. 3а) передньої осі 3˚, а задньої -3˚ (швидкість 30 м/с, θ=0), для чого побудуємо фазовий портрет та траєкторію руху (рис. 7).

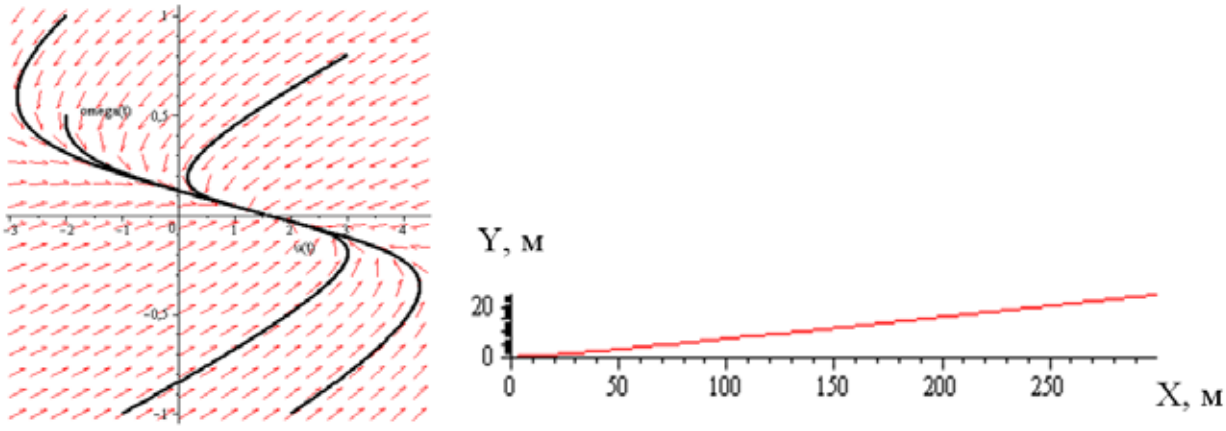


а) б)

Рис. 7. Фазовий портрет (а) та траєкторія руху (б) при v=30 м/с (перекос передньої осі 3˚, задньої осі -3˚)

Як видно з рис. 7 маємо стійкий рух – траєкторія являє обою коло, на яке автомобіль виходить після початку руху. Слід відзначити меншу величину радіуса траєкторії.

Розглянемо рух автомобіля, що має перекос (див. рис.3б) передньої та задньої осей 3˚(швидкість 30 м/с, θ=0), для чого побудуємо фазовий портрет та траєкторію руху (рис. 8).



а) б)

Рис. 8. Фазовий портрет (а) та траєкторія руху (б) при v=30 м/с (перекос передньої та задньої осей 3˚)

Як видно з рис. 8 автомобіль має нульове значення кутової швидкості при наявності ненульового значення бічної швидкості. Автомобіль має стійкий стаціонарний рух, але рухається зі зміщенням.

Для наявності отриманих результатів представимо результати графічного моделювання у вигляді таблиць. В табл. 1-4 наведені результати розрахунку параметрів стаціонарних рухів (u, ω, R) для різних варіантів перекосів, в усіх випадках швидкість автомобіля 30 м/с, кути повороту коліс дорівнюють нулю.

Таблиця 1

Результати розрахунку при перекосі передньої вісі

Величина перекосу		Радіус руху центру мас, R, м	Бічна швидкість, u, м/с	Кутова швидкість, ω, $с^{-1}$
град	рад			
1	0,017	89	-2,25	0,34
2	0,035	43	-4,64	0,70
3	0,052	29	-6,89	1,03
4	0,070	22	-9,28	1,39
5	0,087	17	-11,52	1,73

Таблиця 2

Результати розрахунку при перекосі передньої та задньої осей в різні боки

Величина перекосу		Радіус руху центру мас, R, м	Бічна швидкість, u, м/с	Кутова швидкість, ω, $с^{-1}$
град	рад			
1	0,017	44	-5,01	0,68
2	0,035	22	-10,3	1,39
3	0,052	14	-15,3	2,06
4	0,070	11	-20,5	2,81
5	0,087	8,8	-25,4	3,43

Таблиця 3

Результати розрахунку при перекосі передньої та задньої осей в один бік

Величина перекосу		Радіус руху центру мас, R, м	Бічна швидкість, u, м/с	Кутова швидкість, ω, $с^{-1}$
град	рад			
1	0,017	-	0,51	-
2	0,035	-	1,05	-
3	0,052	-	1,56	-
4	0,070	-	2,1	-
5	0,087	-	2,61	-

Висновки

Наявність перекосу негативно впливає на параметри руху автомобіля: при великих швидкостях може бути втрачена стійкість руху, на менших швидкостях чи невеликих перекосах порушується прямолінійний або криволінійний режим руху, що заданий водієм. Це призводить до більш інтенсивного зносу шин. Крім того, водій має постійно коректувати рух автомобіля, що спричинить менш комфортний режим керування автомобілем та більшу втомлюваність водія. Останнє також негативно впливає на безпеку руху. Слід зауважити, що процеси погіршення

курсової стійкості руху набувають більш інтенсивного характеру при збільшенні швидкості руху автомобіля.

Список літератури

1. Дамшен К. Ремонт автомобильных кузовов / К. Дамшен ; пер. с нем. В.С. Турова под ред. А.Ф. Синельникова. - М. : ООО «Книжное издательство «За рулем», 2007. — 240 с.

2. Костенко А.В. До питання про вплив геометрії кузова легкового автомобіля на стійкість та керованість / А.В. Костенко // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 4. – С. 58-65.

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

4. Костенко А.В. Прогнозування показників курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням розкиду жорсткісних характеристик шин : дис. … канд. техн. наук : 05.22.02 / Костенко Андрій Вікторович. – К., 2007. – 168 с.

Аннотация. *Исследован вопрос относительно влияния перекоса осей на курсовую устойчивость движения легкового автомобиля. Представлена математическая модель движения автомобиля, которая позволяет учитывать перекос осей. Построены фазовые портреты и траектории движения центра масс.*

Abstract. *The investigated question is about the influence on misalignment of axes on car course stability motion. The mathematical model of car motion allowing to take into account a misalignment of axes is presented. Phase portraits and motion paths of masses center are constructed.*

Стаття надійшла до редакції 11.01.2012 р.

УДК 621.43.01

ПОЛЯКОВ А.П., д.т.н., проф., НГАЯХИ АББЕ К.В., ГАЛУЩАК О.О., БИШКО М.О., ЗАВЕРУХА Ю.В
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДИЗЕЛЯ ПРИ ПЕРЕВЕДЕННІ ЙОГО НА РОБОТУ НА БІОДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО

Наведені результати дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники дизельного двигуна при переведенні його на роботу на біодизельне паливо та надані рекомендації щодо конструктивних на налагоджувальних змін у впускній, змащувальній системах та системі живлення.

Вступ

З кожним роком використовувати на автомобілях і тракторах традиційне дизельне паливо стає все дорожче. За прогнозами науковців, за існуючих темпів видобутку нафти її запасів достатньо буде всього на 30–40 років. Тому необхідно застосовувати альтернативні палива з відновлюваної сировини. Найбільш доцільним на данний час паливом для дизельних двигунів фахівці вважають біодизельне паливо. Іншим важливим чинником, що викликає підвищений інтерес до біодизельного палива, є його екологічність. Так, у продуктах згоряння біопалива на 8–10 % менше окису вуглецю, майже на 50% менше сажі й значно менше сірки (0,005% проти

0,2% у звичайного дизельного палива). І тільки через високий вміст кисню в біопаливі продукти його згоряння містять приблизно на 10% більше окису азоту порівняно з нафтовим дизельним паливом.

Для оцінки доцільності застосування біодизельного палива на основі пальмового масла як палива для дизельних двигунів, проведено розрахункове дослідження впливу на техніко-економічні та екологічні показники двигуна при переведенні його на роботу на біодизельне пальне.

Постановка проблеми

Провести оцінку впливу на техніко-економиічні та екологічні показники дизельного двигуна при переведенні його на роботу на біодизельне пальне.

Постановка завдань

Для вирішення поставленого завдання необхідно визначити залежності від частоти обертання колінчастого валу двигуна:

– тривалості згорання;
– циклової подачі палива;
– середнього ефективного тиску;
– питомої ефективної витрати палива;
– обертального моменту;
– періоду затримки займання палива.

Матеріали і результати дослідження

Розрахункове дослідження було проведено з використанням програми «Дизель-РК», яка призначена для математичного моделювання і комп'ютерної оптимізації робочих процесів двух- і чотиритактних ДВЗ як з турбонадувом, так і з приводними компресорами.

Об'єкт дослідження

Дослідження проводилось на двигуні КамАЗ-740, який широко використовується в різних моделях автомобіля КАМАЗ. Характеристики данного двигуна наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики двигуна

Тип	4-тактний, запаленням від стиску
Число циліндрів	8
Розміщення циліндрів	V-подібна, кут розвалу 90
Порядок роботи циліндрів	1 — 5 — 4 — 2 — 6 — 3 — 7 — 8
Діаметр циліндрів і хід поршня, мм	120 х 120
Робочий об'єм, л	10,85
Ступінь стискання	17
Гарантована максимальна потужність, к. с. (кВт)	210 (131)
Частота обертання колінчастого вала при гарантованій максимальній потужності, об/хв	2600
Максимальний крутний момент, кгс·м	65
Частота обертання при максимальному крутному моменті, об/хв	1600—1800
Частота обертання холостого ходу, об/хв	600
Максимальна частота обертання, об/хв	2930
Питома витрата палива г/(кВт·год): мінімальний максимальній	 224 242
Фази газорозподілу: відкриття впускного клапана закриття відкриття випускного клапана закриття	 13° до ВМТ. 49° після НМТ. 66° до НМТ. 10° після ВМТ.
Число клапанів на циліндр	один впускний і один випускний
Тиск масла в прогрітому двигуні, кгс/см^2, при: номінальній частоті обертання холостому ході, не менше	 4,0-5,5 1
Маса силового агрегату, кг	1120
Маса незаправленого двигуна, кг	750

В дослідженні прийнято в якості палива для дизеля біодизельне паливо на основі пальмового масла і дизельне паливо типу D2.

Характеристики цих палив наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики палив

Показники	Паливо	
	Біодизельне паливо (пальмове масло)	Дизельне паливо D2
Цетанове число	56,2	47-55
Середня теплота згорання МДж/кг	39070	45300-46700
Кінематична в'язкість 20ºС, мм²/с	4,50 (37,8 ºС)	1,9 – 3,8
Температура застигання ºС	8	-17 – -8
Температура помутніння палива ºС	6	-36 – -30
Найменша температура випаровування ºС	193	52 – 77

Розрахункове дослідження проводилось на 4 режимах роботи двигуна – 2600, 1800, 1300, 600 хв$^{-1}$, інші параметри залишилися незмінними при цих режимах.

Графічні залежності показників двигуна при роботі на дизельному паливі та біодизельному паливі на різних режимах роботи наведені на рис. 1-8.

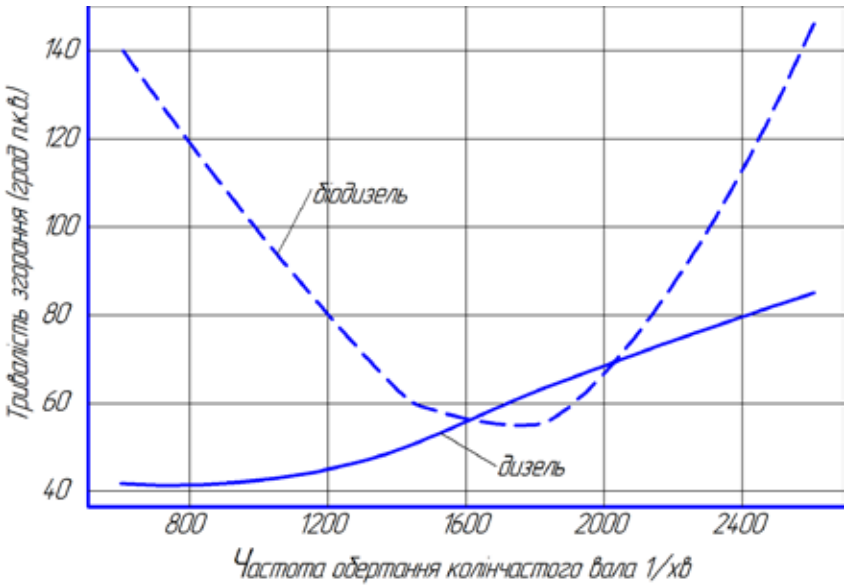


Рис. 1. Залежність тривалості згорання від частоти обертання колінчастого валу двигуна

Тривалість горіння палива при роботі двигуна на біодизельному паливі в діапазоні частот 1600…2000 хв$^{-1}$ практично дорівнює тривалості горіння палива при роботі двигуна на дизельному паливі, відхилення не перевищує 10%. На режимі холостого ходу тривалість горіння палива при роботі двигуна на біодизельному паливі майже в 3,5 рази більше ніж тривалість горіння палива при роботі на дизельному паливі, а при максимальній частоті обертання 2400 хв$^{-1}$ різниця досягає 75%.

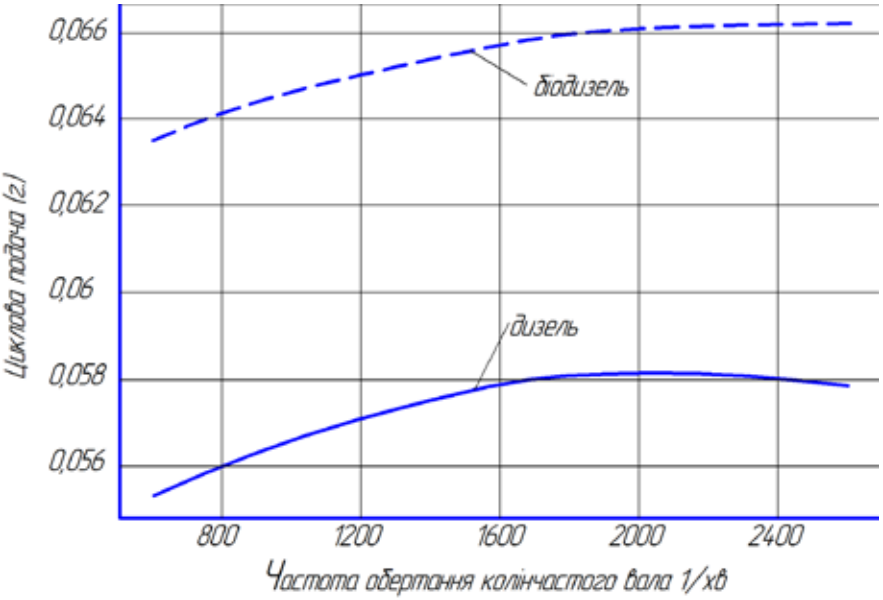


Рис. 2. Залежність циклової подачі палива від частоти обертання колінчастого валу двигуна

Циклова подача палива дизельного двигуна при роботі на біодизельному паливі на режимі холостого ходу на 12…15% більше ніж при роботі на дизельному паливі. Ця різниця тримається на всіх режимах роботи двигуна від холостого ходу до 2400 хв$^{-1}$, з подальшим зростанням частоти обертання різниця збільшується до 16%.

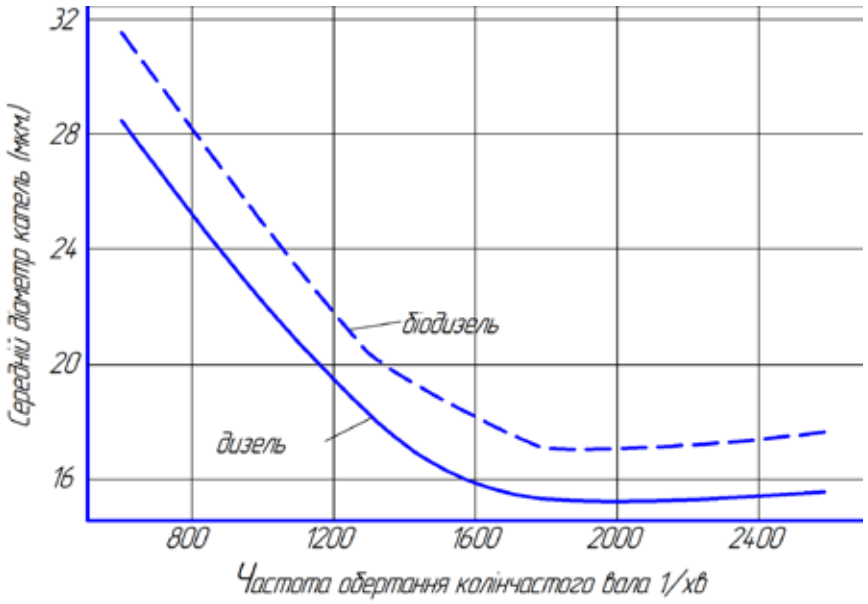


Рис. 3. Залежність середнього діаметру крапель від частоти обертання колінчастого валу двигуна

Як видно з графіку, середній діаметр крапель палива при роботі двигуна на біодизельному паливі по всьому частотному діапазону на 14…20% більше, ніж при роботі на дизельному паливі.

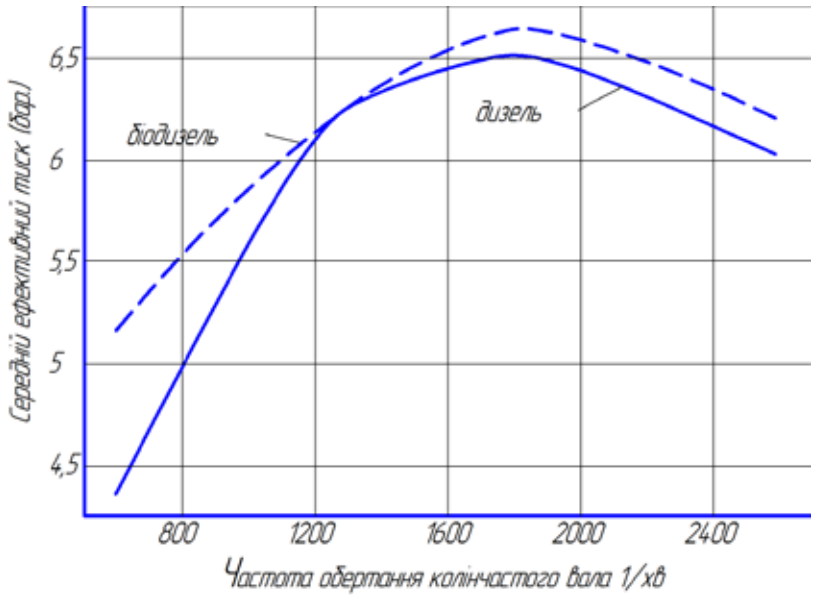


Рис. 4. Залежність середнього ефективного тиску від частоти обертання колінчастого валу двигуна

Середній ефективний тиск при роботі двигуна на біодизельному паливі на обертах від 500-800 хв$^{-1}$ більший на 10% ніж при роботі на дизельному паливі, на проміжку від 1200-1800 хв$^{-1}$ відхилення складає 2%. При максимальній частоті обертання середній ефективний тиск незначно збільшується на 3 %.

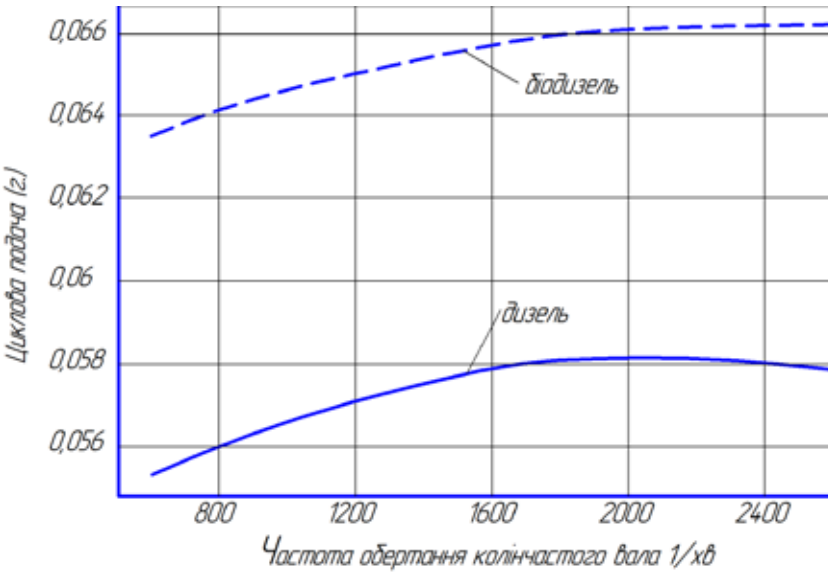


Рис. 5. Залежність емісії NO_x від частоти обертання колінчастого валу двигуна

Емісія NO_x при роботі дизельного двигуна на біодизельному паливі при збільшенні обертів, у порівнянні з роботою двигуна на дизельному паливі, значно зростає. На режимі холостого ходу емісія однакова як при роботі двигуна на біодизельному, так і при роботі на дизельному паливі, але при обертах 1800-1900 хв$^{-1}$ зростання досягає 83%. При збільшенні частоти обертів колінчастого валу з 2000 хв$^{-1}$ і до максимальної відмічається зниження емісії відпрацьованих газів майже на 30% від максимальної величини.

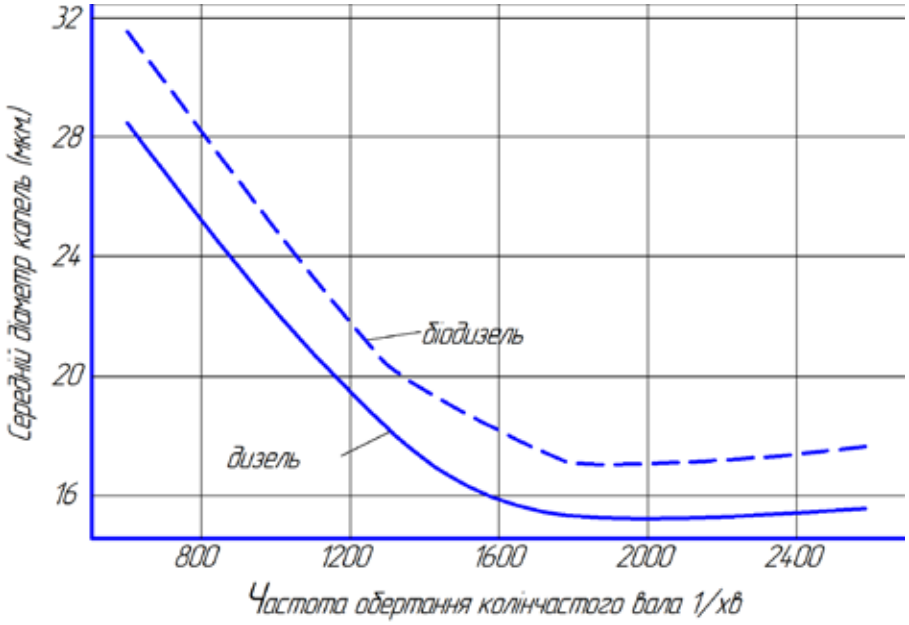


Рис. 6. Залежність питомої ефективної витрати палива від частоти обертання колінчастого валу двигуна

Питома ефективна витрата палива при роботі двигуна на біодизельному паливі на режимі холостого ходу менша, ніж при роботі на дизельному паливі, а при подальшому збільшенні частоти обертання колінчастого валу двигуна до 1700 хв$^{-1}$ питома ефективна витрата палива збільшується до 14%, при номінальній частоті обертання колінчастого валу двигуна – 2600 хв$^{-1}$ різниця досягає свого максимального значення і складає майже 18%.

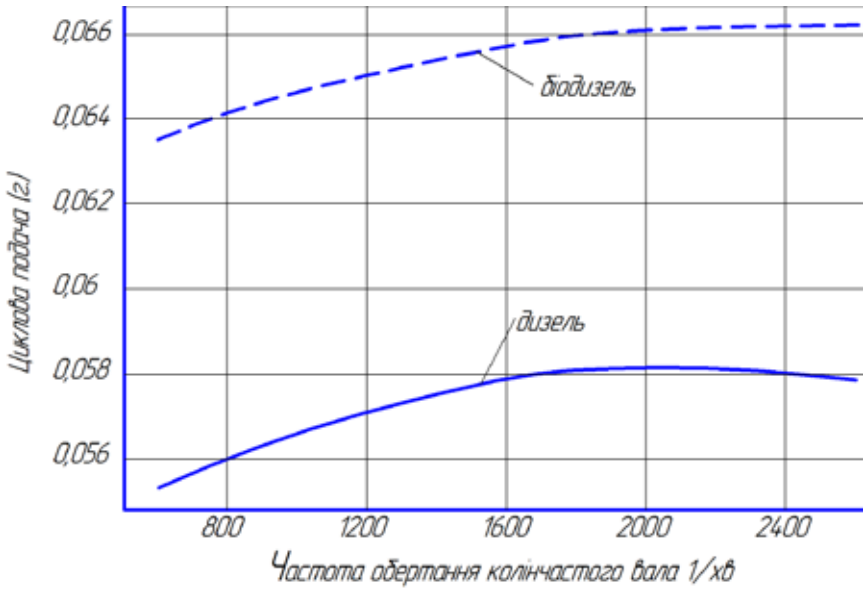


Рис. 7. Залежність обертального моменту від частоти обертання колінчастого валу двигуна

На робочому режимі роботи дизельного двигуна обертальний момент при роботі на біодизельному та дизельному паливах співпадають, при зниженні частоти обертання колінчастого

валу дизеля до 600 хв$^{-1}$ обертальний момент двигуна при роботі на біодизельному паливі збільшується на 17% у порівнянні з обертальним моментом при роботі на дизельному паливі. При обертах вищих 1500 хв$^{-1}$ різниця складає 2–3% менше дизельного палива.

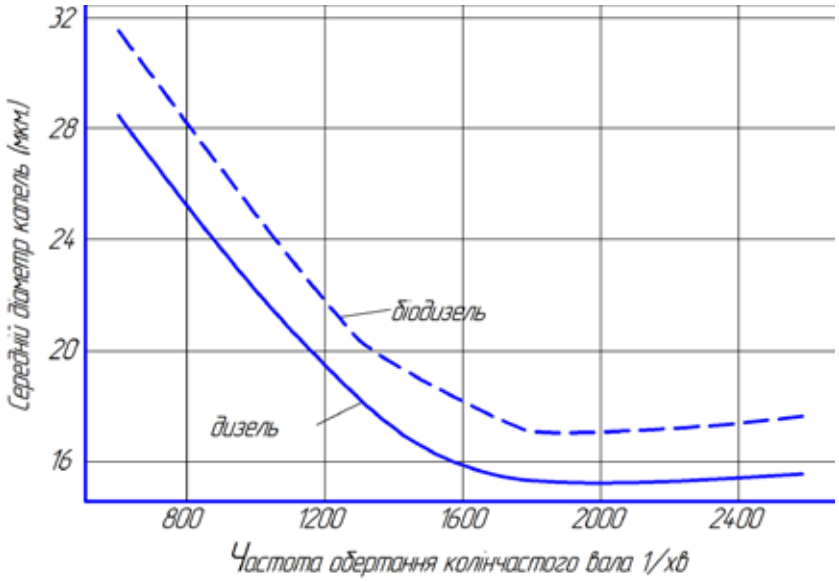


Рис. 8. Залежність періоду затримки займання палива від частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Період затримки займання при роботі на дизельному паливі в режимі холостого ходу складає 19%, в робочому режимі різниця досягає 37%, при збільшенні частоти обертання колінчастого валу двигуна ця різниця збільшується приблизно до 41%, у порівнянні з роботою дизельного двигуна на біодизельному паливі. На всіх частотах обертання колінчастого валу двигуна, період затримки займання пальної суміші в циліндрах двигуна при роботі двигуна на біодизельному паливі незначно зростає.

Висновки

В результаті проведеного розрахункового дослідження можна зробити висновок, щодо доцільності застосування в якості палива для дизельних двигунів біодизельних палив.

Але, враховуючи фізико-хімічні властивості біодизельних палив та їх вплив на робочі процеси дизельного двигуна для збереження і покращення техніко-економічних та екологічних показників двигунів при переведенні на роботу на біодизельне паливо, потрібно провести зміни в конструкції впускної, змащувальної систем і системи живлення, а саме:

– зміна розмірів розпилювача і параметрів форсунки (діаметра отворів), для забезпечення впорскування в потрібній якості і кількості біодизельного палива;

– встановлення пристрою для підігріву біодизельного палива, щоб позбавитися від проблеми його високої в'язкості;

– встановлення більш раннього кута випередження впорскування палива для забезпечення якісного і повного процесу згорання при переведенні дизельного двигуна на роботу на біодизельному паливі. Але ці питання потребують подальшого дослідження.

Список літератури

1. **Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя в 3-х т. – М.: Машиностроение, 1980. – 440 с.**
2. **Боголюбов С.К. Инженерная графика. - 3-е изд., испр. и дополн. – М.: Машиностроение, 2000. – 352 с.**
3. **Колчин Л.И. и др. Расчет автомобильных и тракторных двигателей- М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.**
4. **Кузнецов А.В., Рудобашта С.П., Сименко А.В. Основы теплотехники, топливо и смазочные материалы – М.: Колос, 2001. – 248 с.**
5. **Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей – М.: Колос, 1984. – 335 с.**
6. **Bosch. Системы управления дизельными двигателями.: Изд. За рулем, 2004. – 264 с.**
7. **Кутовой В.А. Впрыск топлива в дизелях. – М.: Машиностроение, 1981.**

Аннотация. *Приведены результаты исследования влияния на технико-экономические и экологические показатели дизельного двигателя при переводе его на работу на биодизельное топливо и даны рекомендации по конструктивным и наладочным изменениям в впускной, смазочной системах и системе питания.*

Summary. *The results of research on the impact of techno-economic and environmental performance of diesel engine transfer it to work on biodiesel and recommendations for structural adjustment to changes in intake, lubrication systems and power system.*

Стаття надійшла до редакції 02.02.2012 р.

УДК 620.178.15

Писанець О.О., к.т.н.
Донецька академія автомобільного транспорту

АНАЛІЗ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ ПРИ АКУСТИЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ

У статті розглядаються результати рішення задачі про визначення кінематичних характеристик структурно-неоднорідного матеріалу поршневого пальцю при тарованому ударному навантаженні. Експериментально і чисельно досліджено еволюцію нестаціонарного сигналу, який розповсюджується після удару. Порівняльний аналіз отриманих амплітудно-часових характеристик дозволяє зробити висновок про якість бічної поверхні деталі

Вступ

Оцінка якості структурно-неоднорідних деталей машин тісно пов’язана з рішенням задач нелінійної акустики структурно-неоднорідних середовищ, яка одночасно є розділом фізичної акустики, що швидко розбудовується, пов’язаного з вивченням середовищ неоднорідної мікроструктури й розробкою високочутливих методів неруйнуючого контролю. Зокрема, неоднорідний по товщині матеріал поршневого пальця (ПП) двигуна внутрішнього згоряння через присутність у ньому таких структурних особливостей, як мікротріщини й тріщиноподібні дефекти, межзерні границі й контакти [1], здобуває яскраво виражені нелінійні акустичні властивості. Незважаючи на актуальність, проблема правильного зняття акустичних

характеристик таких деталей при порушенні в них хвильових полів, їх цифрової обробки й порівняння отриманих даних з еталонними, досліджена порівняно мало [2,3].

Один з основних підходів до цієї проблеми пов'язаний з масштабним фізичним моделюванням складних віброактивних систем у натурних умовах і їх адекватному чисельному моделюванні з використанням кінцево-елементних схем. У процесі акустичного проектування створюється чисельна модель об'єкта-прототипу, що дозволяє детально досліджувати віброакустичні характеристики бездефектної деталі при різних варіантах застосування нестаціонарного навантаження. Потім створюється й експериментально апробується модель деталі-прототипу, що забезпечує одержання даних натурних вимірів і можливість перевірки рекомендацій чисельного моделювання. У результаті повинен бути досягнутий високий ступінь відповідності модельних характеристик з характеристиками деталі-прототипу реальної машини. Цим досягається створення еталонної бази даних відгуків на нестаціонарний вплив, порівняння з якої дозволяє судити про наявність дефекту.

У роботі [4] запропоновані методи аналізу стаціонарних і нестаціонарних сигналів у тимчасовій, частотній, частотно-тимчасовій і масштабно-тимчасових областях, адаптовані до застосування для рішення задач діагностики наявності тріщин у деталях машин. Серед розглянутих діагностичних ознак особливу увагу доцільно приділити безрозмірним параметрам віброакустичних сигналів – так званим «безрозмірним амплітудним дискримінантам» [5]. Справа в тому, що діагностичні ознаки, пов'язані з абсолютними значеннями характеристик вимірюваних сигналів найчастіше не є інваріантними й залежать від значного числа факторів, що змінюють їхні величини при незмінному стані об'єкта діагностики. Дискримінанті ж ознаки позбавлені цього недоліку. У роботі [5] проведене дослідження ефективності використання як ознак малої тріщини в деталях машин безрозмірних амплітудних дискримінант, обумовлених, як:

$$J_s = \overline{x_n} / \overline{x_m}\ , \quad s = 1,2,3,4. \tag{1}$$

У виразі (1) $\overline{x_n}$, $\overline{x_m}$ – середні значення амплітуди віброакустичного сигналу $x(t)$ з одномірною щільністю ймовірності його миттєвих значень $p(t)$, які визначаються як корінь ступеня n (або m) з моменту того ж порядку:

$$\overline{x_\alpha} = \left[\int_{-\infty}^{\infty} |x|^\alpha \, p(x) dx \right]^{1/\alpha}, \quad \alpha = n, m. \tag{2}$$

Для чотирьох різних комбінацій значень n і m у формулі (2) визначаються наступні безрозмірні амплітудні дискримінанти: коефіцієнт форми J_1 $(n = 2; m = 1)$, коефіцієнт ймовірності J_2 $(n \to \infty; m = 2)$, коефіцієнт імпульсності J_3 $(n \to \infty; m = 1)$ й коефіцієнт фона J_4 $(n \to \infty; m = 0{,}5)$.

У даній роботі зміна міцнисних параметрів деталі уздовж глибинної координати вимагає серйозної модифікації обчислювального процесу при комп'ютерному моделюванні. Коректне визначення комплексу механічних характеристик неоднорідних матеріалів дозволяє представити їх, як сукупність підобластей, кожна з яких характеризується своїм набором пружнопластичних властивостей. Знаючи в кожній області набір пружнопластичних характеристик і характер зміцнення, можна моделювати поведінку матеріалу з обліком геометрично й фізично нелінійних властивостей. У даній постановці проблема визначення динамічного поля переміщень і напруг у структурно-неоднорідні по товщині деталях машин, а також аналіз їх амплітудно-тимчасових характеристик (АТХ) у науковій періодиці не відбита.

Мета даної роботи – чисельне й експериментальне визначення поля переміщень, швидкостей і прискорень ПП із урахуванням його неоднорідності по товщині з наступною обробкою акустичних сигналів для діагностики якості бічної поверхні деталі. У якості джерела хвильового поля з відомими амплітудно-тимчасовою і амплітудно-частотною характеристиками прийнятий тарований ударний вплив. При виборі параметрів установки ударного навантаження розглядалися наступні умови: 1) енергія впливу повинна бути достатньою, для того, щоб хвильове поле досягалося границь області, що представляє інформаційний інтерес із необхідними для реєстрації вимірювальними засобами характеристиками; 2) спектр впливу повинен бути досить широкосмуговим з рівноважним розподілом амплітуд по всіх частотних складових; 3) вплив має бути тарованим і незалежним від стану поверхні деталі; 4) у зоні контакту не повинен спостерігатися активний розвиток пластичних деформацій і руйнувань матеріалу.

Вимір реакції деталі проводиться в контрольних точках на різних відстанях від області контакту на поверхні ПП у напрямку, паралельному його осі. По даним АТХ вертикальної складової прискорень проводиться обчислення АТХ швидкостей, переміщень, кількісних характеристик хвильового поля. На підставі аналізу безрозмірних амплітудних дискримінант, зіставних залежностей комплексу запропонованих параметрів у різних контрольних точках, виходячи з характеру зміни екстремумів спектральних характеристик, тривалості сигналів відгуків, а також коефіцієнтів загасання за значеннями амплітуд прискорень і переміщень оцінюється стан деталі з погляду наявності на ній дефектів.

Основна частина. Розглядається задача про динамічне навантаження поршневого пальця для чотиритактних двигунів. На рис.1 представлена геометрична модель ПП із одним з можливих варіантів розбивки на кінцеві елементи й граничними умовами. У декартовій системі координат вісь X направлена уздовж осі поршневого пальця (уздовж утворюючої), Y – по радіусу вгору. Один з торців закріплений у направленні осі X (рис.1). На палець зверху вертикально вниз посередині діє імпульс сили тривалістю 0,6 мс, що викликає максимальне зміщення у відповідному вузлі величиною 10 мкм.

Матеріал поршневого пальця – сталь 20Х, піддана цементації з подальшим гартуванням струмом високої частоти, *Enn=2,05e+11* Па*, nn=0,3*.

Інтегрування нелінійних рівнянь руху системи кінцевих елементів проводилося за схемою Ньюмарка, заснованої на припущенні про лінійну зміну прискорення в межах t, $t+\Delta t$

Первісний крок інтегрування вибирався рівним Δt *=0,25* мс. Подальше збільшення за часом у програмі вибиралося автоматично залежно від критеріїв збіжності, величини повного збільшення пластичної деформації на даному кроці, кількості ітерацій, необхідних для досягнення заданої точності.

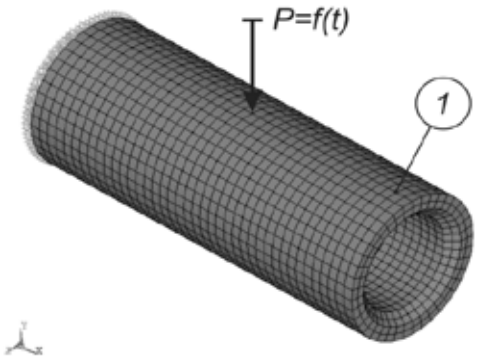


Рис.1. Кінцевоелементна модель імпульсної дії на поршневий палець (1 - місце зняття характеристик).

Результати чисельного вирішення динамічного завдання отримані у вигляді полів напруги, деформацій і переміщень елементів моделі, а також різних графіків кінематичних характеристик ПП.

Результати чисельного вирішення динамічного завдання отримані у вигляді полів напруги, деформацій і переміщень елементів моделі, а також різних графіків кінематичних характеристик ПП.

На рисунку 2 показані зміщення uy, вузлів поршневого пальця, що діють у глобальному напрямі Y в прийнятій системі координат. Видно, як іде поширення хвилі вздовж і поперек пальця.

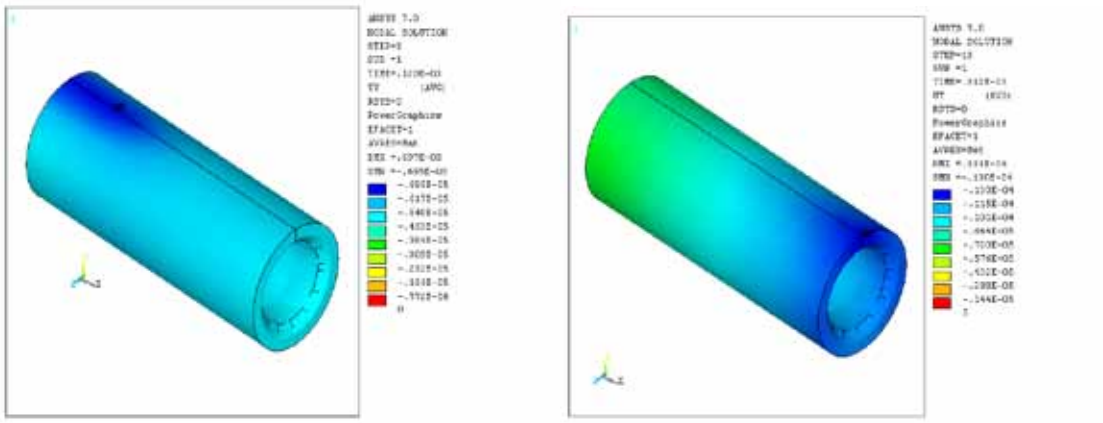


Рис. 2. Поля переміщень u_y в моменти часу *t=0,120* мс і *t=0,312* мс

Представлена модель була максимально близько побудована в натурі. Для реалізації консольного закріплення поршневого пальця використовували постійний магніт, прикріплений до масивного предмета. До деталі в точці 1 (рис. 1) був приклеєний п'єзокерамічний датчик, що дозволяє реєструвати в ній прискорення. Показання з датчика знімали й передавали в ЕОМ за допомогою аналогово-цифрового перетворювача й піддавали подальшій обробці (інтегруванню для одержання залежностей швидкості й переміщення від часу). Імпульсний вплив згідно з моделлю, представленою на рис. 1, робили за допомогою кульки масою 11 г, скинутого по спрямованої трубці підходящого діаметра вертикально вниз. У результаті експерименту були отримані амплітудно-тимчасові залежності для зсуву, швидкості й прискорення (рис.3) у точці 1.

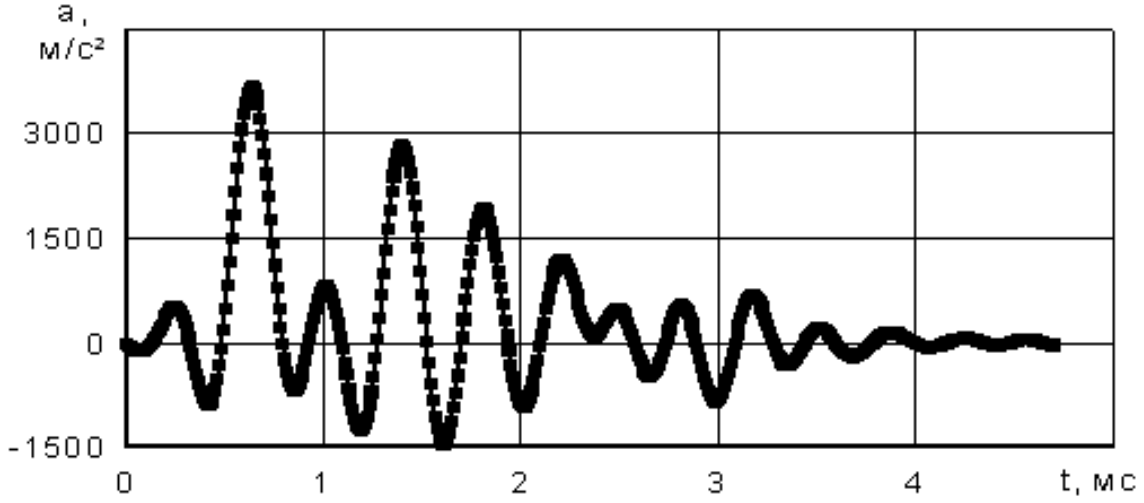


Рис. 3. Графік прискорення *a* у точці дослідження при імпульсному впливі, згідно експерименту

Отримані графіки кінематичних характеристик можна використовувати в якості еталонних для діагностики наявності дефектів на поверхні ПП при їхньому потоковому експрес-аналізі. Із цією метою досліджувалися бездефектний ПП, а також ПП із концентратором дефекту (тріщиною на вільному бічному торці). Тріщина в циліндрі має просторову форму (еліптичну), на поперечному зрізі вона нахилена під кутом приблизно 450. Вибір такої орієнтації дефекту пов'язаний з результатами проведених металографічних досліджень поверхні ПП на мікроскопі «Неофот – 21» [6].

Контрольні показання значень прискорень знімалися для бездефектної деталі й деталі з дефектом на різних відстанях від точки прикладення ударного впливу й від області розташування дефекту. Це дозволило визначити області вимірів, у яких діагностування наявності дефекту найбільш виразно.

На рис. 4 показані АТХ бездефектного ПП і ПП із дефектом, обмірювані поблизу області розташування дефекту (значення глобальної координати X відлічуються від закріпленого торця ПП).

Порівняльний аналіз розташування пунктирної й суцільної кривих на рис.4 практично виключає можливість діагностування наявності дефекту безпосередньо по взаємному розташуванню АТХ. Тим більше, за даними аналізу АТХ, знятих на достатньому видаленні від області розташування дефекту (при x=30 мм, 35 мм і т.д.), можна зробити висновок про ще більш близьке розташування пунктирної й суцільної кривої на АТХ. Звернемося тому до чисельної обробки одержуваних сигналів.

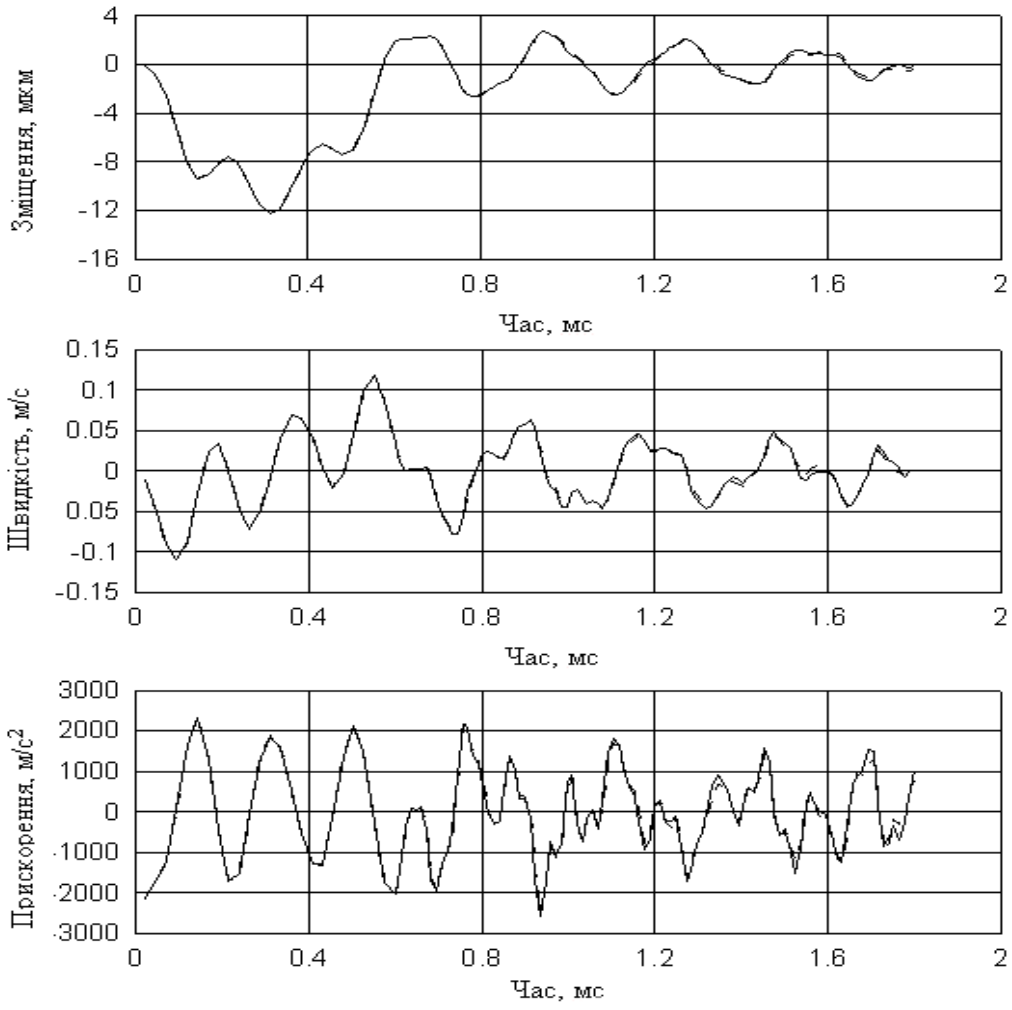


Рис. 4. Кінематичні характеристики ПП з координатою *x*=66 мм
(– – – – ПП із тріщиною, ———— бездефектний ПП)

Більшість сигналів, генерованих досліджуваною складною динамічною системою, є полімодальними сигналами, тому їх динамічний аналіз базується на розробці процедур, що дозволяють знижувати модальність складного сигналу шляхом виділення найбільш істотних мод, число яких визначає динамічну розмірність процесу. Для таких мод відповідно до формули (2) розраховувалися середні значення амплітуд прискорень на обраній ділянці аналізу тривалістю $\Delta t = 2$ мс. Це забезпечило $N = 1000$ точок відліку на зазначеному тимчасовому інтервалі. Для чотирьох комбінацій параметрів n і m у формулі (2), зазначених вище, маємо

$$\overline{x_\alpha} = \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \left| x_j \right|^\alpha \right]^{1/\alpha}, \quad \alpha = n, m. \tag{3}$$

Після цього обчислювалися безрозмірні амплітудні дискримінанти (1).

Для проведення порівняльного аналізу чутливості досліджуваних ознак до наявності дефекту дискримінанти були визначені для виділених на рис. 4 тимчасових інтервалів обмірюваного акустичного сигналу, що не зазнав попередньої обробки. У результаті проведеного аналізу діагностичної інформації визначені значення J_s, які по всій сукупності виділених вибірок для різних крапок зняття характеристик перебувають у наступних межах:

- $J_1 \in (1{,}412;\ 2{,}775)$, $J_2 \in (1{,}970;\ 4{,}437)$, $J_3 \in (2{,}612;\ \mathbf{9}{,}742)$, $J_4 \in (3{,}073;\ 29{,}036)$

для ПП без дефекту;

- $J_1 \in (1{,}009;\ 2{,}501)$, $J_2 \in (1{,}703;\ 4{,}104)$, $J_3 \in (2{,}392;\ \mathbf{7}{,}958)$, $J_4 \in (2{,}591;\ 20{,}461)$

для ПП із концентратором дефекту.

Слід зазначити, що максимальні значення ознак для виділеної частини сигналу спостерігаються при обробці інформації, яка характеризує нестаціонарні хвильові рухи поблизу вільного торця ПП, де саме й моделюється тріщина в дефектній деталі. При обробці даних, що відповідають АТХ у точках, близьких до закріпленої частини ПП, значення ознак прагнуть до мінімальних значень у зазначених діапазонах їх зміни. Така тенденція характерна для всіх ознак. Вплив дефекту проявляється в зміні (а саме в зменшенні) значення кожної ознаки. Крім того, чисельні експерименти показали, що характер зміни суттєво залежить як від режиму вібраційного порушення, так і від відстані d між точкою прикладення навантаження й областю розташування дефекту.

Чутливість виділених діагностичних ознак до наявності дефекту доцільно проаналізувати за значенням відносної швидкості зміни ознаки при переході від бездефектного стану об'єкта до дефектного [8]:

$$V(J_s) = \left| J_s - J_s^* \right| / J_s^* \tag{4}$$

Тут J_s^* і J_s – значення безрозмірних амплітудних дискримінант при відсутності й наявності дефекту відповідно.

Результати розрахунків відносних швидкостей зміни ознак у відсотках для різних відстаней d наведені у вигляді діаграм на рис. 6. При цьому дефект у всіх ПП моделювався в одних розмірах, орієнтації й місці розташування. У якості розрахункової моделі був обраний ПП КрАЗ – 6322.

Проведені дослідження показали, що найбільш чутливі до наявності дефекту коефіцієнти імпульсності J_3 й фона J_4. У трохи меншому ступені інформативний коефіцієнт ймовірності J_2.

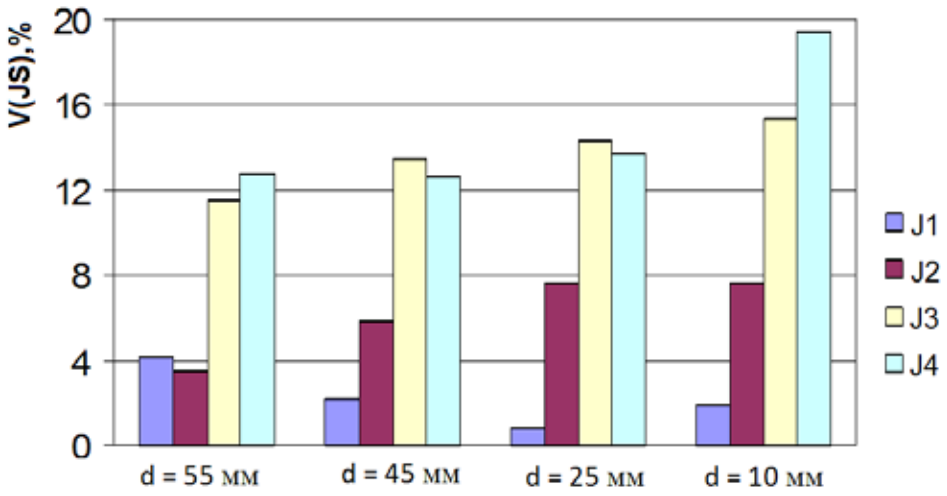


Рис. 5. Значення відносних швидкостей зміни ознак (d – відстань між областю прикладення навантаження й дефектом)

Проведені дослідження показали, що найбільш чутливі до наявності дефекту коефіцієнти імпульсності J_3 й фона J_4. У трохи меншому ступені інформативний коефіцієнт ймовірності J_2. Величини $V(J_s)$, при $s = 2,3,4$, що обчислюються по формулі (4), у достатній близькості від дефекту суттєво великі, що може служити ознакою наявності дефекту. Коефіцієнт форми J_1 містить у чисельнику середньоквадратичну амплітуду. Це збільшує залежність складових аналізованого нестаціонарного процесу, що мають більшу відносну коливальну енергію. Тому чутливість цієї ознаки до зміни складових з малою коливальною енергією, наявність яких і обумовлюється появою дефекту, досить низька.

Крім перерахованих параметрів інтерес у ході аналізу сигналів відгуків представляють різного роду інтегральні характеристики [6]. Відносно високий рівень втрат енергії хвильового поля (він саме й оцінюється за інтегральними оцінками) також свідчить про збільшення властивостей, що демпфірують, окремих елементів, що пов'язане з наявністю дефектів і ескалацією процесів руйнування (порушення субмікро - і субмакроструктури матеріалів). У цій якості після детального аналізу отриманої бази АТХ усіх кінематичних характеристик ПП були обрані інтеграли за значеннями амплітуд прискорень і квадратам амплітуд прискорень.

Інтегральна оцінка по амплітуді прискорень відображає величину абсолютних значень амплітуд для робочого інтервалу тривалістю Δt:

$$\overline{A} = \int_0^{\Delta t} \left| A(t) \right| dt \qquad (5)$$

Логічно, що цей показник не чутливий до частотної характеристики сигналу. Перевага або відсутність якої-небудь частотної складової може практично не вплинути на його значення. Аналогічною характеристикою є інтеграл по квадратах амплітуд прискорень:

$$\overline{A^2} = \int_0^{\Delta t} A^2(t)\, dt \qquad (6)$$

Зменшення інтегральних характеристик (5) і (6) при порівнянні досліджуваної деталі з бездефектної свідчить про наявність тріщини. Однак аналіз відносних швидкостей зміни цих показників указує, по-перше, на їхню незначну зміну порядку 7 - 8% і, по-друге, на досить сильну залежність від умов проведення випробувань, що не дозволяє обмежитися при акустодіагностики тільки цими параметрами.

Виводи й перспективи подальших досліджень. 1. Запропонований спосіб аналізу нестаціонарних сигналів відрізняється високою розв'язною здатністю в часі при збереженні достатнього частотного дозволу. Відмінною рисою аналізу є його незалежність від змін амплітудних характеристик сигналів, що дозволяє використовувати аналіз для контролю над первісними змінами на стадії їх зародження. Розглянуті в роботі приклади демонструють високу ефективність застосування даного підходу до рішення задач акустодіагностики структурно-неоднорідних деталей машинобудування. 2. Аналіз АТХ у різних контрольних точках на поверхні ПП дозволяє сказати, що найбільш інформативним є побудова графіків тимчасових залежностей прискорень. Відмінність у цих кривих для дефектної й бездефектної деталі починає проявлятися не відразу, а тільки після закінчення деякого часу (при розглянутих цей час становить не менш 2 мс). 3. Проведений аналіз дозволяє вказати, що з дискримінантних ознак тріщини найбільш переважно досліджувати відносні швидкості зміни коефіцієнтів фона, імпульсності й ймовірності. Використання ж тільки інтегральних характеристик АТХ не досить. 4. При потоковому експрес-аналізі структурно-неоднорідних деталей бажано проводити контрольні виміри кінематичних характеристик у різних точках, що дозволить судити не тільки про наявність дефекту, але й про його місце розташування. Якщо ж контрольна точка зняття характеристик перебуває на достатньому видаленні від зони розташування дефекту, то зміна дискримінантних ознак може бути незначним.

У якості перспектив подальших досліджень слід указати проведення попередньої обробки діагностичної інформації із застосуванням вейвлет-перетворення [6] для підвищення чутливості безрозмірних амплітудних дискримінант.

Список літератури

1. Вовк Л.П. Применение акустического метода свободных колебаний к диагностике технологически неоднородных деталей / Вовк Л.П. - Известия вузов. Северо-Кавк. регион. Технические науки. – 2004. – №3. – С. 55-58.

2. Вовк Л.П. Застосування акустичного методу вільних коливань до аналізу якості поршневих пальців / Вовк Л.П. - Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2004. – № 5. – С. 85-89.

3. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / [Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И.] – М.: Наука, 1984. – 119с.

4. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / Генкин М.Д., Соколова А.Г. – М.: Машиностроение, 1987. – 288с.

5. Бурау Н.І. Виділення діагностичних ознак початкових міцнісних дефектів в елементах машин і механізмів / Бурау Н.І., Сопілка Ю.В. – Наук. вісті НТУУ "КПІ". – 2002. – №5. – С. 54-58.

6. Вовк Л.П. Теоретические и экспериментальные методы определения механических характеристик неоднородных деталей машиностроения / Л.П. Вовк, А.А. Писанец – Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 213 с.

Аннотация. *В статье рассматриваются результаты решения задачи определения кинематических характеристик структурно-неоднородного материала поршневого пальца при тарированном ударном воздействии. Экспериментально и численно изучена эволюция нестационарного сигнала, который распространяется при ударе. Сравнительный анализ полученных амплитудно-временных характеристик позволяет сделать вывод о качестве боковой поверхности детали.*

Abstract. *In clause results of the decision of a problem of definition of kinematic characteristics of a structurally-non-uniform material of a piston finger are considered at calibration shock influence. Experimentally also evolution of a non-stationary signal which extends at impact is numerically studied. The comparative analysis of the received peak-time characteristics allows to draw a conclusion on quality of a lateral surface of a detail.*

Стаття надійшла до редакції 06.02.2012 р.

УДК 621.74

СУМЕЦ А.М., канд. техн. наук, доцент
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

К УСТАНОВЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО ДОПУСКА НА ИЗНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПАР ТРЕНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье рассматривается алгоритм расчета оптимального соотношения допусков на износ деталей трибосопряжений узлов и агрегатов автотракторной техники.

Постановка проблемы

Снижение надежности автомобильных агрегатов по причине изнашивания их деталей происходит в большинстве случаев постепенно, и износ обнаруживается только лишь при ремонте, потребность которого и была вызвана, собственно, износом конкретных деталей [1; 3; 4; 5; 7]. В отдельных же случаях износ деталей вызывает внезапный выход из строя агрегата в целом (либо автомобиля) и сказывается на показателях надежности последнего. Поэтому, при изготовлении автотракторной техники стремятся обеспечить оптимальный уровень надежности, затраты на поддержание которого, отнесенные к единице выпускаемой продукции, будут минимальными. Отсюда вытекает, что долговечность различных деталей одной и той же машины (автомобиля, трактора и др.) не должна быть одинакова. В общем случае детали машин и механизмов, исполняя разные функции и работая в различных условиях, не могут иметь строго одинаковых сроков службы. И это, прежде всего, обусловлено экономической целесообразностью соотношения значений долговечности деталей пар трения, которая определяется, в общем-то, известными группами факторов. К одной из этих групп относятся объективные факторы, а именно: затраты на проведение ремонтно-профилактических работ и приобретение запасных частей. К другой группе относятся факторы, определяемые конкретными условиями (возможностями) завода-производителя: наличием соответствующей производственно-технической базы для производства запасных частей и степенью соответствия изготовляемых деталей требованиям технических условий.

В процессе эксплуатации при проведении ремонтных воздействий в качестве критерия пригодности деталей к дальнейшей эксплуатации многих трибосопряжений (ТБС) узлов и агрегатов автотракторной техники принимается величина зазора, являющаяся субъективной оценкой степени износа поверхностей пар трения. Это относится к таким сопряжениям, как: зубчатая передача, подшипниковые узлы, вал-втулка и др. Поэтому, из выше указанного вытекает объективная необходимость установления оптимального соотношения допусков на износ каждого элемента пары трения (ТБС).

Анализ результатов последних исследований по изучаемому вопросу

Сегодня существует множество подходов, которые направлены на расчет предельного износа рабочих поверхностей деталей ТБС узлов и агрегатов автотракторной техники [3; 4 и др.]. Еще в XX веке зарубежные и советские ученые предложили много уникальных методик определения предельного износа деталей. В то время в СССР по результатам и лабораторных, и эксплуатационных исследований были разработаны государственные и отраслевые стандарты, в которых регламентировалось предельное состояние основных элементов машин.

Однако многие исследователи, решая указанную проблему, все-таки уходят к расчету суммарной величины допуска на износ сопряжения (Δ_{μ}). Так, например, в работе [8] величину

Δ_u рекомендуется определять на основе исполнительных размеров с установленными полями допусков из рабочих чертежей:

$$\Delta_u = S_{ПР} - \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2}, \quad (1)$$

где $S_{ПР}$ – предельный зазор изношенной пары трения;

S_{max}, S_{min} – соответственно, наибольший и наименьший зазор в сопряжении согласно рабочего чертежа.

Таким образом, в случае рассмотрения пар трения (ТБС) на износ которых оказывают влияние другие детали узла, агрегата (так называемый зависимый износ), значение Δ_u в большинстве случаев устанавливается в соответствии с методикой [8] либо по соответствующему государственному стандарту (ранее руководствовались ГОСТ 16320-70).

Однако, учитывая широкий спектр факторов, оказывающих достаточно разнообразное влияние на долговечность элементов ТБС узлов и агрегатов автотракторной техники, при решении задач установления их остаточного ресурса, прогнозирования потребности в запасных частях, формирования стратегии ТО и Р и т.п. возникает необходимость установления именно оптимального соотношения допусков на износ сопрягаемых деталей.

Цель статьи

Описать алгоритм расчета оптимального соотношения допусков на износ деталей трибосопряжений узлов и агрегатов автомобильной техники.

Основной раздел

Для решения поставленной цели разработан алгоритм расчета оптимального соотношения допусков на износ деталей ТБС узлов и агрегатов автотракторной техники, включающий в себя такие последовательно выполняемые шаги:

1) исходя из требований к условиям эксплуатации, устанавливается величина максимально допустимого зазора для данного сопряжения;

2) устанавливается (или определяется из технических условий на ремонт) суммарный допуск на износ рабочих поверхностей деталей ТБС;

3) на основе технико-экономического расчета определяется экономически выгодное соотношение значений долговечности сопрягаемых деталей ТБС;

4) установленный суммарный допуск на износ пары ТБС из условия технико-экономической целесообразности распределяется между сопряженными деталями;

5) определяется предельно-допустимый износ на рабочие поверхности сопряженных деталей (или предельно-допустимый размер рабочей поверхности каждой детали сопряжения);

6) из условий обеспечения точности контроля размеров деталей (или зазора) выбирается контрольно-измерительный инструмент.

Рассмотрим последовательно основные шаги предлагаемого алгоритма.

Величина максимально-допустимого зазора для изнашиваемых сопряженных деталей практически устанавливается в зависимости от конкретных условий эксплуатации транспортного средства известными методами. В качестве максимально-допустимой величины в большинстве случаев принимается такой зазор, превышение которого приводит к нарушению нормальной работы узла, агрегата, не соответствующей требованиям нормативной документации. На практике величина допустимого зазора в сопряжении устанавливается либо на основании проведенных многочисленных экспериментальных исследований, либо расчетно-аналитическим путем с использованием критерия технико-экономической целесообразности.

В данном случае суммарную величину допуска на износ Δ_u рабочих поверхностей сопряженных деталей можно определять по зависимости (1).

При распределении суммарного допуска на износ между сопряженными деталями обычно исходят из того, что наибольшим средним сроком службы должна обладать невосстанавливаемая деталь либо деталь, которая характеризуется большей стоимостью и значительной трудоемкостью разборочно-сборочных работ, что связано со значительными простоями автотракторной техники и т.п. С учетом этого оптимальное соотношение средних сроков службы, например, двух сопряженных деталей может быть с некоторым приближением установлено из соотношения:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_1 + З_1}{C_2 + З_2}, \tag{2}$$

где L_1, L_2 – ресурс сопряженных деталей ТБС;

C_1, C_2 – стоимость сопряженных деталей ТБС;

$З_1$, $З_2$ – общие затраты на восстановление работоспособности первой и второй детали трибосопряжения.

При условии рассмотрения узла, состоящего из n-го количества деталей, оптимальное соотношение средних сроков службы последних может быть выражено следующим соотношением:

$$L_1 : L_2 : \ldots : L_n = (C_1 + З_1) : (C_2 + З_2) : \ldots : (C_n + З_m). \tag{3}$$

Распределение допусков на износ между деталями ТБС проводится с учетом найденного соотношения средних сроков службы сопряженных деталей и средних интенсивностей их изнашивания исходя из следующего соотношения:

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{L_1 \cdot I_1}{L_2 \cdot I_2}, \tag{4}$$

где δ_1, δ_2 – части допуска на износ Δ_u, приходящиеся на долю первой и второй деталей трибосопряжения;

I_1, I_2 – средние интенсивности изнашивания первой и второй деталей трибосопряжения.

На стадии проектирования некоторых узлов трения соотношение (4) оказывается весьма эффективным при условии возможности определения или прогноза значений интенсивности изнашивания для заданных условий эксплуатации. Учитывая эти обстоятельства, целесообразно использовать предложенные в публикациях [9; 10] общие зависимости для определения средних значений I_1 и I_2, позволяющие анализировать и оценивать интенсивность изнашивания широкого круга деталей машин, исходя из условий абразивного воздействия внешней среды, физико-механических свойств трущихся материалов, кинематических и геометрических параметров сопряжений:

$$I_{1(2)} = 4 \cdot 10^2 \cdot \frac{Д \cdot K_{1(2)}}{M_{1(2)}}, \tag{5}$$

$$Д = \varepsilon^{2/3} \cdot R^{0,5} \cdot \sigma_{усл.}^{2,5-x} \cdot f_{п.а.}, \tag{6}$$

$$K_{1(2)} = \sqrt{\rho^* \cdot \frac{V_1 - V_2}{\alpha \cdot V_1 \cdot \beta \cdot V_2}} \cdot \sigma_K^x \cdot n_{1(2)}, \tag{7}$$

$$M_{1(2)} = \delta_{1(2)}^t \cdot HB_{1(2)}^{1,5} \cdot HB_{2(1)}^{1,0}. \tag{8}$$

В приведенных зависимостях первая группа факторов Д характеризует абразивное воздействие внешней среды и зависит от концентрации абразивных примесей (ε, %), их размера (R, мм), механической прочности абразивных частиц (σ, МПа) и безразмерного коэффициента, показывающего способ поступления абразива в зону трения:

$$f_{n.a.} = \Delta S_{П} / \Delta A_{a}, \quad (9)$$

где $\Delta S_{П}$ – фрагмент площади канала, через который поступает абразив в зазор, мм;

ΔA_{a} – фрагмент площади изнашиваемой поверхности, мм.

Вторая группа факторов $M_{1(2)}$ показывает влияние на износ физико-механических свойств материалов – твердости (НВ, МПа), пластичности (δ, %), конструктивно-фрикционной усталости (t).

Третья группа факторов $K_{1(2)}$ характеризует влияние на износ кинематических параметров сопряжения – величины проскальзывания ($V_1 - V_2$, м/с, где $V_1 - V_2$ – скорости скольжения поверхностей сопрягаемых деталей), геометрических характеристик (приведенный радиус кривизны поверхностей – ρ^*) и режима работы – нагрузка в контакте сопрягаемых поверхностей деталей (σ_K^x, МПа), частота вращения (n, мин$^{-1}$).

В приведенных зависимостях (5), (7) и (8) индексы 1 и 2 относятся к изнашиваемым поверхностям сопряженных деталей ТБС. Коэффициенты закрепления абразива α и β определяются согласно рекомендациям [7].

Зависимости (5)–(7) были доработаны авторами [2; 5] и могут быть использованы для проведения различных расчетов по наиболее представительным группам деталей автотракторной техники: зубчатым передачам, подшипникам качения и скольжения, шарнирным соединениям, деталям возвратно-поступательного движения.

Если суммарный допуск на износ необходимо распределить между тремя и более деталями узла, агрегата, воспользуемся соотношением:

$$\delta_1 : \delta_2 : \ldots : \delta_n = (L_1 \cdot I_1) : (L_2 \cdot I_2) : \ldots : (L_n \cdot I_n). \quad (10)$$

Следующий шаг описанного ранее алгоритма включает определение предельно-допустимой величины износа на рабочие поверхности сопряженных деталей ТБС узлов и агрегатов автотракторной техники. Другими словами, здесь выполняется расчет предельно-допустимого размера поверхности детали при ее износе в процессе эксплуатации.

Используя рекомендации [8], предельно-допустимый размер $d_{ПР}$ охватываемой детали при износе определяется по формуле:

$$d_{ПР} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} - \frac{\Delta_u \cdot \delta_1}{\delta_1 + \delta_2}, \quad (11)$$

где d_{max}, d_{min} – соответственно, наибольший и наименьший размеры охватываемой детали, которые определяются из рабочего чертежа.

Предельно-допустимый размер охватывающей детали при износе определится из выражения:

$$D_{ПР} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} - \frac{\Delta_u \cdot \delta_1}{\delta_1 + \delta_2}, \quad (12)$$

где D_{max}, D_{min} – соответственно, наибольший и наименьший размеры охватывающей детали, которые определяются из рабочего чертежа.

Заключительным этапом разработанного алгоритма является определение предельных значений размеров охватываемой и охватывающей деталей после износа и выбор измерительного инструмента. При этом следует заметить, что размеры проходной и непроходной стороны калибров, использующихся для дефектовки деталей на годные и негодные к дальнейшей эксплуатации, определяются с учетом того, что за последующий после контроля межремонтный

период величина зазора $S_{ПР}$ не должна превышать максимально допустимой. Поэтому наименьший допустимый размер охватываемой детали после износа определится из выражения

$$d_{\min K} = d_{ПР} - I_1 \cdot T, \tag{13}$$

а наименьший допустимый размер охватывающей детали может быть рассчитан по формуле:

$$D_{\max K} = D_{ПР} - I_2 \cdot T, \tag{14}$$

где Т – величина межремонтного периода.

Выводы

Проведенный анализ исполнительных размеров элементов пар трения агрегатов автотракторной техники и периодов их работы в процессе эксплуатации, а также количественная оценка их износа в период проведения ремонтно-восстановительных работ, позволяет сделать следующие выводы:

1) установление оптимального допуска на износ элементов пар трения (трибоспоряжений) по представленному алгоритму, например, по таким сопряжениям, как: зубчатые передачи, вал-втулка, подшипниковые узлы, позволит увеличить период их эксплуатации, что, естественно, снизит затраты на запасные части от 15% до 30%;

2) предложенный алгоритм может быть использован при контроле деталей в процессе ремонта при распределении их по группам на годные и негодные к дальнейшей эксплуатации.

Список литературы

1. Бажинов А.В. Прогнозирование остаточного ресурса автомобильного двигателя / А.В. Бажинов : монография. – Х. : ХГАДТУ, 2001. –95 с.

2. Дюмин И.Е. Метод расчета потребности в запасных частях на основе анализа закономерностей изнашивания для тяжелых условий эксплуатации / И.Е. Дюмин, А.М. Сумец, Г.Я. Ямпольский // Трение и износ. – 1989. –Т. 10. –№3. –С. 507–511.

3. Зорин В.А. Основы долговечности строительных и дорожных машин / В.А. Зорин. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.

4. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А.К. Рейш. –М. : Машиностроение, 1986. –184 с.

5. Сумец А.М. Прогнозирование потребности в запасных частях / А.М. Сумец : монография. –Х.: ОКО, 1997. – 182 с.

6. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей / М.М. Тененбаум. –М.: Машиностроение, 1966. – 242 с.

7. Трение, изнашивание и смазка: Справочник в 2-х кн. / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.

8. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – 344 с.

9. Ямпольский Г.Я. Исследование абразивного износа элементов пар трения качения / Г.Я Ямпольский, И.В. Крагельский. –М.: Наука, 1973. –62 с.

10. Ямпольский Г.Я. Абразивный износ трущихся сопряжений машин / Г.Я. Ямпольский // Трение и износ. – 1981. –Т.2. –№5. – С. 832–842.

Анотація. *У статті розглянуто алгоритм розрахунку оптимального співвідношення допусків на знос деталей трибосполучень вузлів і агрегатів автотракторної техніки.*

Abstract. *In the article the algorithm for calculating the optimum ratio of allowances for friction units wear components and assemblies of automotive vehicles.*

Стаття надійшла до редакції 17.02.2012 р.

АВТОРИ НОМЕРА

Абрамова Л.С., Харківський національний автомобільно-дорожний університет
Бишко М.О., Вінницький національний технічний університет
Вербицький В.Г., Донецька академія автомобільного транспорту
Галущак О.О., Вінницький національний технічний університет
Енглезі І.П., Донецька академія автомобільного транспорту
Заверуха Ю.В, Вінницький національний технічний університет
Загороднов М.І., Донецька академія автомобільного транспорту
Калінін О.В., Донецька академія автомобільного транспорту
Кононихін С.В., Донецька академія автомобільного транспорту
Костенко А.В., Донецька академія автомобільного транспорту
Лямзін А.О., Приазовський державний технічний університет
Мастепан О.В., Горлівський автодорожній технікум ДВНЗ «ДонНТУ»
Мнацаканян М.С., Приазовський державний технічний університет
Нгаяхи Аббе К.В., Вінницький національний технічний університет
Нефьодової Я.І., Приазовський державний технічний університет
Новаковський П., Сілезький технічний університет
Писанець О.О., Донецька академія автомобільного транспорту
Повзун О.І., Донецька академія автомобільного транспорту
Поляков А.П., Вінницький національний технічний університет
Попов С.Ю., АДІ ДВНЗ «ДонНТУ» м. Горлівка
Руденков Е.В. Комунальне підприємство «Дорожнє ремонтно-будівельне управління» міста Донецька
Сладковський О., Сілезький технічний університет
Слесорайтіте Є., Вільнюський університет (Литва)
Сумець О.М., Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка
Толок О.В., Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ»
Федоров Є.Є., Донецька академія автомобільного транспорту
Ширин В.В., Харківський національний автомобільно-дорожний університет

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.