

**DOI: 10.30977/VEIT.2021.19.0**

**ISSN: 2226-9266**



# **АВТОМОБІЛЬ І ЕЛЕКТРОНІКА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ**



**ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ  
ВИДАННЯ**

**ВИПУСК**

**19**

**ХАРКІВ**

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кафедра автомобільної електроніки

# Автомобіль і Електроніка. Сучасні Технології

Електронне наукове фахове видання  
(друкована версія)

19/2021

# Vehicle and Electronics. Innovative Technologies

Electronic scientific professional edition  
(printed version)

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2021.19.0

Харків 2021

Журнал засновано в 2011 р. кафедрою Автомобільної електроніки, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

**ISSN:** 2226-9266

**DOI:** 10.30977/VEIT.2021.19.0

Випуск сформовано 05.05.2021.

В журналі публікуються матеріали теоретичних та практичних досліджень присвячених перспективним напрямкам розвитку автомобільної електроніки, впровадженню та удосконаленню гібридних автомобілів та електромобілів, моделюванню транспортних процесів і систем, інформаційним технологіям й інтелектуальним системам на транспорті, сучасним технологіям діагностики систем і агрегатів транспортних засобів, а також методичним дослідженням підготовки спеціалістів у сфері транспорту.

Журнал також включає матеріали доповідей учасників Всеукраїнської науково-методичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку вищої освіти в Україні».

**Затверджено:** Вченою радою університету від 25.03.2011, протокол № 8

Журнал включено до **Переліку електронних наукових фахових видань України, категорія «Б» за спеціальностями – 113, 121, 122, 133, 151, 274, 275**, наказом Міністерства освіти і науки України № 612 від 07.05.2019 та **141, 142**, наказом Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019.

**Спеціальності:** 113 - Прикладна математика  
 121 - Інженерія програмного забезпечення  
 122 - Комп'ютерні науки  
 133 - Галузеве машинобудування  
 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
 274 - Автомобільний транспорт  
 275 - Транспортні технології (за видами)  
 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
 142 - Енергетичне машинобудування

## Редакційна колегія

**Головний редактор:** Дзюбенко Олександр Андрійович, к.т.н., доц.

**Заступник головного редактора:** Аргун Щасяна Валіковна, д.т.н., проф.

**Відповідальний секретар:** Трунова Ірина Сергіївна, к.т.н., доц.

**Члени редколегії:** Абрамчук Ф. І. (д-р техн. наук, проф.), Алексієв О. П. (д-р техн. наук, проф.), Бажинов О. В. (д-р техн. наук, проф.), Батигін Ю. В. (д-р техн. наук, проф.), Богаєвський О. Б. (д-р техн. наук, проф.), Богомолов В. О. (д-р техн. наук, проф.), Вдовиченко В. О. (канд. техн. наук, доц.), Волков В. П. (д-р техн. наук, проф.), Воронков О. І. (д-р техн. наук, проф.), Врублевський О. М. (д-р техн. наук, проф.), Гнатов А. В. (д-р техн. наук, проф.), Гурко О. Г. (д-р техн. наук, проф.), Горбачов П. Ф. (д-р техн. наук, проф.), Двадненко В. Я. (д-р техн. наук, проф.), Далека В. Х. (д-р техн. наук, проф.), Клименко В. І. (д-р техн. наук, проф.), Клец Д. М. (д-р техн. наук, проф.), Колодязний В. М. (д-р фіз.-мат. наук, проф.), Корогодський В. А. (д-р техн. наук, проф.), Мигаль В. Д. (д-р техн. наук, проф.), Михалеви́ч М. Г. (канд. техн. наук, доц.), Наглюк І. С. (д-р техн. наук, проф.), Нагорний С. В. (д-р техн. наук, проф.), Ніконов О. Я. (д-р техн. наук, проф.), Подригало М. А. (д-р техн. наук, проф.), Полянський О. С. (д-р техн. наук, проф.), Сараєв О. В. (д-р техн. наук, проф.), Смирнов О. П. (д-р техн. наук, проф.), Солодов В. Г. (д-р техн. наук, проф.), Тропіна А. А. (д-р техн. наук, проф.), Чаплигін Є. О. (канд. техн. наук, доц.), Шуклінов С. М. (д-р техн. наук, проф.), Янютін Є. Г. (д-р техн. наук, проф.)

**Адреса редакції:** Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Автомобільний факультет, Кафедра автомобільної електроніки, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002,

**Тел.:** (057) 707-36-96;

**e-mail:** [ae.hnadu@gmail.com](mailto:ae.hnadu@gmail.com)

*Статті друкуються в авторській редакції. Редакція не несе відповідальності за орфографічні, стилістичні чи інші помилки, допущені автором публікації.*

## ЗМІСТ

### ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ. СИНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЕКОМОБІЛІВ

**О. А. Дзюбенко, М. Г. Михалевич** *Розробка електронної системи автоматизованого керування фрикційним зчепленням автотранспортного засобу*..... 6-19

### ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

**В. В. Тарасова, А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, А. О. Нечаус, Д. С. Шимук, О. В. Бикова** *Функціональна схема трансформаторно-випрямного блоку установки відцентрової очистки трансформаторної оливи*..... 20-27

**В. І. Клименко, Д. В. Капский, Д. М. Леонтьєв, О. В. Куріпка, А. А. Фролов** *Визначення тангенціальних властивостей одинарної пневматичної шини у режимі гальмування транспортного засобу*..... 28-34

**Г. С. Гудз, М. В. Глобчак, Р. А. Пельо, О. Й. Коцюмбас** *Порівняльна оцінка показників динамічності та паливоощадності АТЗ з роботизованою східчастою трансмісією за різних діаметрів циліндрів двигуна*..... 35-40

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ І ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

**Г. А. Плехова, О. В. Алісейко, З. А. Кочуєва** *Застосування моделей і критеріїв семантичної еквівалентності даних для підвищення ефективності функціонування економічних систем*..... 41-46

**С. І. Поваляев, О. В. Сараєв** *Математична модель оцінки стійкості руху автомобіля на перекидання*..... 47-52

### ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА І РЕМОНТУ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ. СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І ТЕХНІЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМОБІЛІВ

**О. Е. Хрулєв, І. Ю. Сараєва** *Експертні дослідження порушень умов експлуатації автомобільних двигунів при використанні їх в авіації (англ.)*..... 53-59

### ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, РОЗВИТОК МЕРЕЖІ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕКОМОБІЛІВ. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ

**В. О. Вдовиченко, І. Є. Іванов** *Структура адаптивної резонансної моделі управління якістю транспортного обслуговування міським громадським пасажирським транспортом*..... 60-73

### ІНШІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТУ ТА ПІДГОТОВКИ ВІДПОВІДНИХ СПЕЦІАЛІСТІВ

**В. В. Яловенко, С. В. Данець** *Оцінка параметрів руху транспортних засобів за даними реєстраторів при проведенні автотехнічних досліджень*..... 74-80

## CONTENT

### INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEM MANAGEMENT SYSTEMS. SYNERGETIC ECOMOBILE SYSTEMS

<b>Oleksandr Dziubenko, Mykola Mykhalevych</b> <i>Development of e-automated control system friction clutch of the vehicle</i> .....	6-19
--	------

### WAYS TO IMPROVE THE ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ENVIRONMENTAL INDICATORS OF MOTOR VEHICLES. ENERGY SAVING TECHNOLOGIES

<b>Valentina Tarasova, Andrii Hnatov, Shchasiana Arhun, Andrii Nechaus, Dmytro Shymuk, Olena Bykova</b> <i>Functional scheme of the transformer-rectifier unit of the centrifugal oil cleaning installation</i> .....	20-27
<b>Valeriy Klimenko, Denis Kapski , Dmytro Leontiev, Oleksandr Kuripka, Andrii Frolov</b> <i>Determination of tangential properties of a single pneumatic tire in the vehicle braking mode of a vehicle</i> .....	28-34
<b>Hustav Hudz, Mykhailo Hlobchak, Roman Pelo, Oleg Kotsjumbas</b> <i>Comparative evaluation of dynamics and fuel efficiency indicators of the car with robotic stepped transmission under condition of different diameters of engine cylinders</i> .....	35-40

### MODELING APPLIED TASKS IN AUTOMOBILE INDUSTRY AND TRANSPORT SYSTEMS

<b>Ganna Pliekhova, Olena Alisejko, Zoia Kochuieva</b> <i>Application of semantic models and criteria equivalence of data to increase efficiency functioning of economic systems</i> .....	41-46
<b>Serhii Povaliaiev, Olexii Saraiev</b> <i>Mathematical model for estimation the stability of the vehicle's motion on overturning</i> .....	47-52

### EQUIPMENT FOR MANUFACTURE AND REPAIR OF TRANSPORTATION. SERVICE AND TECHNICAL REVIEW OF CARS

<b>Alexander Khrulev, Iryna Saraieva</b> <i>Expert studies of violations of the operating conditions of automobile engines when using them in aviation</i> .....	53-59
--	-------

### TRANSPORT INFRASTRUCTURE, DEVELOPMENT OF THE NETWORK OF CHARGE STATIONS FOR ECOMOBILE. INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES ON TRANSPORT

<b>Volodymyr Vdovychenko, Igor Ivanov</b> <i>Structure of adaptive resonant model of managing the quality of city public passenger transportation</i> .....	60-73
---	-------

### ІНШІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ АВТОТРАНСПОРТУ ТА ПІДГОТОВКИ ВІДПОВІДНИХ СПЕЦІАЛІСТІВ

<b>Vladyslav Yalovenko, Serhii Danets</b> <i>Evaluating traffic parameters of vehicles according to registrars when conducting automotive research</i> .....	74-80
--	-------

## РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ФРИКЦІЙНИМ ЗЧЕПЛЕННЯМ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Дзюбенко О. А.<sup>1</sup>, Михалевич М. Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* В роботі проаналізовано основні закони та принципи автоматичного керування зчепленням. Наведені типові проблеми існуючих серійних зразків систем керування зчепленням. Запропоновано структурну схему системи автоматизованого керування зчепленням та алгоритм її роботи. Наведено вибір елементів системи. Наведено результати експериментів дослідного зразка.

*Ключові слова:* автоматизована система керування, керування зчепленням, датчик положення зчеплення, датчик положення педалі, ПДД-регулятор

### Вступ

Одна з найбільш актуальних проблем сучасного автомобілебудування, спрощення і полегшення керування автомобілем, особливо при керуванні автобусами та вантажними транспортними засобами. При тривалому перебуванні за кермом, особливо при міському режимі руху, частий вплив на органи керування трансмісією призводить до швидкої втоми водія, це приводить до появи помилок і відволікає від спостереження за ситуацією на дорозі. Що в свою чергу призводить до виникнення ДТП та інших аварійних ситуацій на дорогах.

Це також стосується і такої галузі автомобілебудування як військова техніка. Однією з заповнених вдалого виконання завдання екіпажем будь-якої бойової машини є якомога менше відволікання на процес керування транспортним засобом і зосередженість на виконанні завдання. Це можливо у разі забезпечення транспортним засобом відносно комфортних умов пересування, гарних динамічних властивостей та необхідного мінімуму органів керування.

Вирішення питання полегшення керування транспортним засобом може бути вирішена за рахунок автоматизації керування трансмісією. Як показує досвід створення автоматичних трансмісій, їх вдосконалення йде по двом напрямкам:

- оснащення автомобілів автоматичними спеціалізованими трансмісіями, які забезпечують високу комфортабельність (це, як правило, гідромеханічні трансмісії);
- автоматизація керування механічними трансмісіями, що складаються зі ступеневої коробки передач і фрикційного зчеплення.

В умовах браку коштів необхідно розглядати питання не тільки закупки чи створення абсолютно нових зразків транспортних засобів, а й розглядати питання відновлення та покращення технічних характеристик транспортних засобів, що вже є в експлуатації. Тож розробка системи автоматизованого керування зчепленням (САКЗ) є досить актуальним питанням підвищення якості експлуатації існуючого парку транспортних засобів.

### Аналіз літератури

Сучасні системи керування трансмісіями розглядаються фірмами виробниками як комплексні системи керування. В таких системах більше уваги приділяється коробці передач. Роботу підсистеми керування зчепленням висвітлюють не достатньо хоч вона керує першим елементом трансмісії. Такі виробники автомобільних компонентів як WABCO [1, 2], KNORR-BREMSE, ZF [3, 4, 5] віддають перевагу цілковитій автоматизації силового агрегату, що оснащено сухим фрикційним зчепленням та механічною коробкою передач. Такий підхід дозволяє виключити водія з процесу керування трансмісією.

Слід зазначити, що такий підхід має як переваги так і недоліки. Звичайно, в якості переваг зазначається економія палива, зберігання традиційної конструкції зчеплення та коробки передач, можливість інтелектуального керування трансмісією на основі даних про рельєф місцевості, форму дороги, затори та інше. Зазначається навіть деяке спрощення конструкції коробки передач за рахунок відмови від синхронізаторів та використання центральної синхронізації [6, 7]. Недоліком такої автоматизації є дуже висока вартість не стільки сис-

теми керування трансмісією, скільки програмного забезпечення та інфраструктурного обладнання для забезпечення зазначених інтелектуальних функцій. Крім того під час керування такою трансмісією, система керування неминуче перериває потік потужності на колеса під час перемикання передач (що обумовлено властивостями одно-поточної трансмісії) [8]. В цей момент водій відчуває дискомфорт від несподіваного втручання в процес керування автомобілем, який погіршується із збільшенням динаміки розгону [9]. Цей ефект є одним із домінуючих факторів, що впливають на негативне ставлення до такого типу трансмісій та посилення позицій двопоточних трансмісій.

Фірма WABCO створила систему «OptiDrive» яка забезпечує комплексне керування силовим агрегатом з механічною трансмісією. Вона складається з електропневматичного виконавчого пристрою керування зчепленням, електропневматичного виконавчого пристрою керування коробкою передач, електропневматичних пристроїв керування додатковими приладами, селектора режимів руху, електронного блоку керування та набору датчиків. Застосування електропневматичного виконавчого приводу коробкою передач має певні недоліки, на які звертали увагу в науковій літературі [10].

Електропневматичний виконавчий пристрій керування зчепленням фірми KNORR-BREMSE, використовується у якості складової комплексної системи керування трансмісією фірми ZF та інших виробників.

На відміну від фірм WABCO та KNORR-BREMSE, які виготовляють виконавчі пристрої керування зчепленням що монтуються зовні коробки передач та впливають на витискний підшипник через вилку вимикання зчеплення, спеціалісти фірми ZF пропонують виконавчий пристрій керування зчепленням інтегрувати в конструкцію коробки та зробити його співвісним із первинним валом коробки передач виключивши із ланцюга вилку зчеплення. Така конструкція має меншу кількість деталей, меншу довжину, більш компактна та захищена від зовнішніх впливів. Натомість система керування із таким виконавчим пристроєм має меншу гнучкість до зміни місця установки. Тому адаптувати її у конструкцію інших виробників більш складно з-за необхідності мати достатньо вільного місця в картері зчеплення. Оскільки поршень виконавчого пристрою впливає безпосередньо на натискну

пружину зчеплення, то його хід менший приблизно у півтора рази, а довжина всієї конструкції у два рази менша у порівнянні з виносними конструкціями. Недоліком конструкції із застосуванням співвісного виконавчого пристрою є спроможність працювати тільки із зчепленнями, що мають натискну пружину, яка вштовхується у напрямку двигуна під час вимикання зчеплення [11]. Такі пружини чинять більше навантаження на витискний підшипник ніж пружини, що витягуються у напрямку коробки передач під час вимикання зчеплення. Виносні конструкції спроможні працювати з обома типами зчеплень.

Всі автоматичні системи керування трансмісією мають ручний режим перемикання передач. Наявність цього режиму наочно підтверджує неспроможність будь якої автоматичної системи керування трансмісією задовольнити потреби водія у ситуаціях, що не передбачені під час створення системи керування. Під час керування автоматичною трансмісією в так званому ручному режимі насправді система керування стає автоматизованою системою керування трансмісією. Це означає, що система лише виконує команди водія щодо керування окремими агрегатами трансмісії.

Узагальнюючи переваги та недоліки двох типів трансмісії – гідромеханічної та роботизованої можна зробити висновок, що безумовна плавність руху яку забезпечує гідромеханічна трансмісія не завжди виправдана. У розрізі застосування гідромеханічної трансмісії у військовій техніці можна зазначити наступні властивості.

Переваги:

- забезпечує перемикання передач без розриву потоку потужності, що сприяє кращій динаміці розгону;

- перемикання передач та рушання з місця відбувається плавно;

- відсутність педалі зчеплення.

Недоліки:

- підвищені витрати пального аж до 20% за рахунок прослизання у гідротрансформаторі;

- для зменшення витрат пального сучасні коробки нараховують до 10 передач тому конструкція гідромеханічної трансмісії значно ускладнюється, здорожується та має значно більшу вагу у порівнянні з механічною;

- багатодискові фрикційні муфти, що працюють у маслі та використовуються для перемикання передач мають схильність до перегріву. Тому автоматичні коробки мають захист від перегріву фрикціонів. У першому випадку перегрів фрикціонів може вивести всю

трансмisiю з ладу у другому випадку суттєво погіршуються динамічні властивості транспортного засобу та ефективність виконання завдання.

- гідротрансформатор гідромеханічної трансмісії має муфту вільного ходу яка також може виходити з ладу при значних навантаженнях, як наслідок гідротрансформатор стає гідромуфтою та катастрофічно знижуються динамічні властивості транспортного засобу;

- спеціальне масло у системі керування гідромеханічною трансмісією потребує своєчасної заміни.

Натомість використання роботизованої трансмісії дозволяє застосовувати коробки передач які відрізняються:

- простотою конструкції;
- легкістю;
- не високою вартістю;
- невибагливістю у обслуговуванні.

Крім того водій матиме змогу на свій розсуд втручатися у процес керування автоматичною трансмісією у частині керування зчепленням (наприклад під час необхідності забезпечити «розкачку» транспортного засобу у разі його застрягання).

Додатковою перевагою автоматичної системи, що забезпечує функціонування механічної трансмісії є можливість досить швидкого адаптування любого транспортного засобу, навіть того що вже знаходиться в експлуатації. Таким чином завдяки встановленню автоматичної системи керування механічною трансмісією може бути модернізовано існуючий рухомий склад.

### Мета та постановка задачі

Ідеєю проекту є створення дослідного зразку автоматичної системи керування механіч-

ною трансмісією підвищеної надійності і ефективності для вантажних, спеціальних та військових автомобілів та створення теоретичних основ їх проектування.

Автоматична система керування трансмісією повинна не лише зменшувати навантаження на водія, але й бути простою під час виготовлення та експлуатації, а також підвищувати живучість автомобіля та зберігати особовий склад. Застосування електричного зв'язку командного елементу та виконавчих механізмів дозволить доволі просто забезпечити герметичність кабіни. Такі властивості вкрай необхідні військовій та спеціальній техніці під час подолання водних перешкод чи при руху у задимлених чи запилених районах. Крім того автоматична трансмісія (яка керує традиційною механічною коробкою передач та сухим фрикційним зчепленням) у подальшому може бути використана як складова комплексної системи керування безпілотним автомобілем, що дозволить зберегти особовий склад завдяки скороченню необхідної кількості водіїв для керування колоною транспортних засобів (наприклад для керування колоною достатньо водія головної машини та його напарника). Таким чином цей проект має перспективи подальшого розвитку.

Першим кроком, для реалізації запропонованої концепції є створення автоматизованої системи керування пневматичним зчепленням, яка описана в даній статті.

### Розробка структурної схеми САКЗ

Для автоматизованого керування зчепленням транспортного засобу було запропоновано систему структурну схему якої представлено на рис. 1.

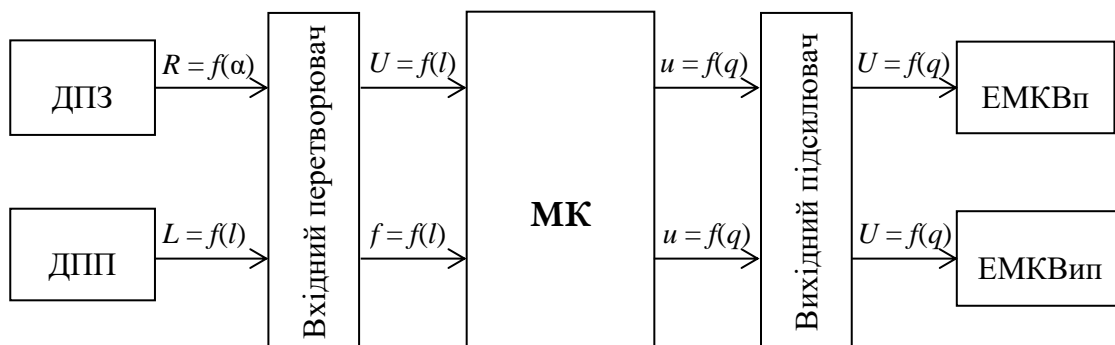


Рис. 1. Структурна схема САКЗ

Вона складається з мікроконтролера (МК), датчика положення зчеплення (ДПЗ), датчика

положення педалі (ДПП), датчика температури (ДТ), блоку перетворення та стабілізації



напруги живлення елементами системи, блоку вхідного перетворення та нормалізації сигналів, що надходять до мікроконтролера, вихідного підсилювача для керування електромагнітними клапанами, електромагнітних клапанів: впускного (ЕМКВп), впускного (ЕМКВи) і дільником ЕМКД.

Оскільки вплив керування водія на педаль зчеплення є величиною змінною, то математичний опис його в часі не може бути встановлено, так як джерелом сигналу служить зовнішнє явище, яке визначається умовами і режимом руху транспортного засобу, закон зміни якого заздалегідь невідомий. Тому САКЗ побудована за принципом статичної системи стеження - це система автоматичного керування, в якій закон зміни регульованої величини заздалегідь невідомий і величина управління відтворює задаючий вплив, що довільно змінюється. Статичні системи управляються значенням похибки: є похибка - є управління в системі, чим більше величина похибки - тим сильніше реакція системи.

Похибка визначається як різниця між поточним положенням педалі і штока зчеплення, значення яких встановлюється датчиками ДПП і ДПЗ. За величиною похибки розраховується сигнал керування електромагнітними клапанами: впускним при додатному значенні похибки і впускним - при від'ємному. Найбільш повно завданню слідкуючої системи з високою динамікою керування відповідає регулятор з ПІД законом [12].

ПІД-регулятор реалізує функцію керування представлену наступним виразом:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^{\tau} e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

де  $u(t)$  - управляючий вплив (час відкриття електромагнітного клапану);

$e(t)$  - помилка (різниця положення педалі і штока зчеплення);

$P, I, D$  - пропорційна, інтегральна і диференціальна складові відповідно;

$K_p, K_i, K_d$  - коефіцієнти ПІД регулятора.

Як відомо, коефіцієнти містять постійні часу: інтегральну і диференціальну. Вони повинні розраховуватися виходячи з моделі регульованого пристрою, використовуючи математичні методи, також існують емпіричні методи вимірювання постійних часу.

Так само дуже важливим моментом є період дискретизації, тому процес ПІД регулювання повинен викликатися в режимі реального часу через жорстко задані інтервали часу. І при зміні періоду поновлення сигналу помилки необхідно коригувати коефіцієнти ПІД.

Однак ресурсів мікроконтролера мало, що б реалізувати ПІД регулятор в такому вигляді. Тому в програмній реалізації переходять до дискретної реалізації: диференціювання потрібно замінити різницею, а інтегрування сумою, таким чином, отримаємо рівняння наступного виду:

$$\begin{cases} u(t) = P(t) + I(t) + D(t) \\ P(t) = K_p \times e(t) \\ I(t) = I(t-1) + K_i \times e(t) \\ D(t) = K_d \times [e(t) - e(t-1)] \end{cases} \quad (2)$$

де  $K_p, K_i, K_d$  - коефіцієнти дискретного ПІД регулятора;

$e(t-1)$  - помилка на попередній виборці;

$I(t-1)$  - інтегральна складова на попередній виборці.

Дане рівняння (2) називається рівнянням ПІД регулятора в кінцевих різницях.

Щоб регулятор не видавав нескінченно великих значень часу імпульсу, що перевищують значення періоду ШІМ, його максимальне значення потрібно обмежити. Також має сенс обмежувати і мінімальне значення сигналу керування.

### Вибір комплектуючих системи

**Мікроконтролер.** Вибір мікроконтролера являється важливим етапом, що визначає подальший розвиток і функціональне наповнення системи, а також її життєвий цикл. Оскільки система, що розробляється, має певну невизначеність подальшого розвитку, наприклад, для подальшого інтегрування САКЗ у транспортні засоби може знадобитись CAN-інтерфейс або збільшення кількості електромагнітних клапанів і т.д., варто обрати мікроконтролер з розширеним функціональним набором і підвищеною продуктивністю. Точне і швидке вирішення математичних операцій ПІД-регулятора потребує високої продуктивності та швидкодії, тому вибір мікроконтролера припадає на 32-розрядні процесори побудовані на ядрі ARM Cortex-M3 [13].

Дане ядро має багато переваг, але його основна перевага на сьогоднішній день - універсальність. За два роки Cortex-M3 став індустріальним стандартом. Про це свідчить кількість виробників, що приєдналися до даної архітектури. Всі основні виробники мікроконтролерів мають або розвивають рішення на основі цієї архітектури: STMicroelectronics, Texas Instrument, NXP, ATMEL, Analog Devices, Renesas і т.п. Компанія ST одна з перших випустила свої мікроконтролери Cortex-M3 (2007 р.) і швидко стала домінуючою на цьому ринку. Левова частка проданих в світі ядер Cortex-M3 припадає на ST: близько 80% в 2009 р., і близько 70% - в 2010. Це говорить про високу якість і привабливості рішень STMicroelectronics. Помітно і значне зростання продажів самих ядер Cortex-M3. У

2008 р. їх було продано близько чотирьох мільйонів, а потім три роки поспіль щорічне зростання становило 400...500%. Що означає, що проект на новому ядрі буде розвиватись і не буде змушений перерватись і розпочинатись знов внаслідок того, що обраний мікроконтролер застарілий і вже випускається промисловістю.

Сімейство STM32 побудовано на базі ядра ARM Cortex-M3, спеціально розробленого для вбудованих, недорогих додатків реального часу. Мають високе співвідношення продуктивність/споживання. Компанія STMicroelectronics безпосередньо брала участь в розробці цього ядра, тому однією з перших запропонувала рішення на базі Cortex-M3 (рис. 2).

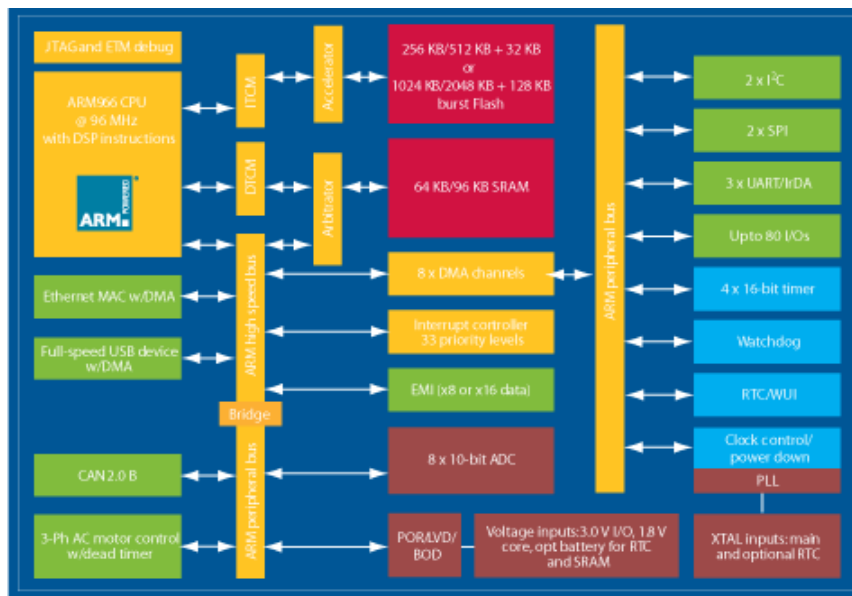


Рис. 2. Архітектура мікроконтролерів на базі Cortex-M3 [13]

Мікроконтролери сімейства STM32 знаходять застосування в таких застосуваннях, як промислові мережі, PLC, інвертори, системи аварійної сигналізації, системи двостороннього відеозв'язку, системи кондиціонування повітря, вимірювачі потужності, портативні пристрої, автомобільна електроніка, системи керування приводами, периферійні пристрої ПК, цифрові камери, GPS-пристрої.

Сімейство STM32 складається з безлічі підсімейств, що відрізняються по продуктивності і складу периферійних пристроїв, але так як ці підсімейства сумісні за виводами, розро-

бник може легко замінювати одне на інше, масштабуючи свій пристрій в залежності від вимог. Свій вибір зупинимо на STM32F103 і STM32F101 (рис. 3).

STM32F103 має кілька суттєвих переваг, важливих для реалізації САКЗ (рис. 4). STM32F103C8T6 є 32-бітовим ARM Cortex-M3 мікро контролером середньої щільності в 48-вивідному корпусі LQFP. Володіє високопродуктивним ядром RISC з частотою 72МГц, швидкою пам'яттю, розширеними діапазонами I / O і периферії з підключенням до шин APB.

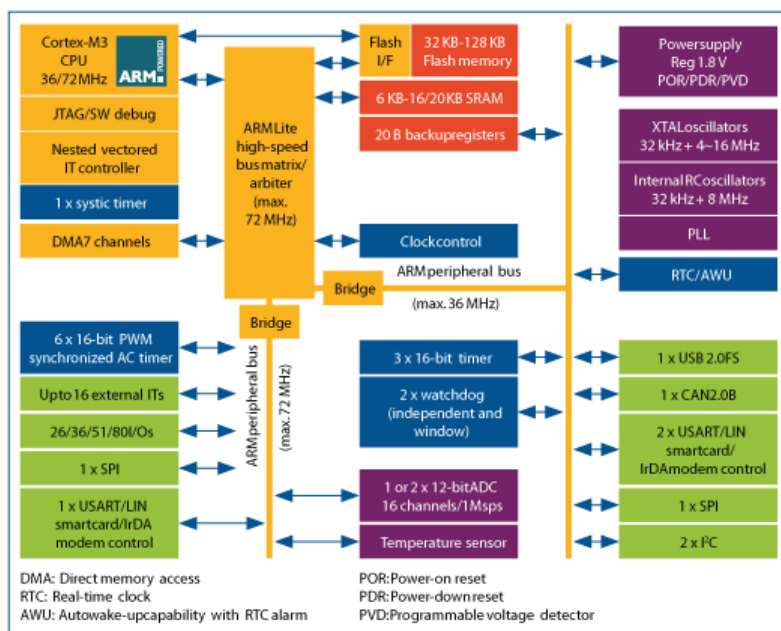


Рис. 3. Архітектура мікроконтролерів сімейства STM32 [13]

Таблиця 1 – Характеристики сімейства STM32

Найменування	Програмуєма Flash-пам'ять	Пам'ять програм, кбайт	ОЗП, кбайт	Таймери		Послідовний інтерфейс	Порти вводу/виводу	Корпус	U <sub>жив.</sub> В	
				12- або 16-біт IC/OC/PWM	інші					
STM32 (ARM Cortex-M3) – 32-розрядні мікроконтролери										
6 pins	STM32F101T6	•	32	6	2×16-біт (8/8/8)	2xWWDG, RTC, 24-розрядний зворотній лічильник	1xSPI/1xI <sup>2</sup> C/ 2xUSART*	26 (26)	QFN36	2...3,6
	STM32F101T8	•	64	10	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	26 (26)	QFN36	2...3,6
48 pins	STM32F101C6	•	32	6	2×16-біт (8/8/8)		1xSPI/1xI <sup>2</sup> C/ 2xUSART*	36 (36)	LQFP48	2...3,6
	STM32F101C8	•	64	10	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	36 (36)	LQFP48	2...3,6
	STM32F101CB	•	128	16	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	36 (36)	LQFP48	2...3,6
64 pins	STM32F101R6	•	32	6	2×16-біт (8/8/8)		1xSPI/1xI <sup>2</sup> C/ 2xUSART*	51 (51)	LQFP64	2...3,6
	STM32F101R8	•	64	10	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	51 (51)	LQFP64	2...3,6
	STM32F101RB	•	128	16	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	51 (51)	LQFP64	2...3,6
100 pins	STM32F101V8	•	64	10	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	80 (80)	LQFP100	2...3,6
	STM32F101VB	•	128	16	3×16-біт (12/12/12)		2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART*	80 (80)	LQFP100	2...3,6
36 pins	STM32F103T6	•	32	10	3×16-біт (12/12/14)	1xSPI/1xI <sup>2</sup> C/ 2xUSART7USB/ CAN	26 (26)	QFN36	2...3,6	
	STM32F103T8	•	64	20	4×16-біт (16/16/18)	2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART7USB/ CAN	26 (26)	QFN36	2...3,6	

48 pins	STM32F103C6	•	32	10	3×16-біт (12/12/14)	1xSPI/1xI <sup>2</sup> C/ 2xUSART7USB/ CAN	36 (36)	LQFP48	2...3,6
	STM32F103C8	•	64	20	4×16-біт (16/16/18)	2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART7USB/ CAN	36 (36)	LQFP48	2...3,6
	STM32F103CB	•	128	20	4×16-біт (16/16/18)	2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART7USB/ CAN	36 (36)	LQFP48	2...3,6
64 pins	STM32F103R6	•	32	10	3×16-біт (12/12/14)	1xSPI/1xI <sup>2</sup> C/ 2xUSART7USB/ CAN	51 (51)	LQFP64	2...3,6
	STM32F103R8	•	64	20	4×16-біт (16/16/18)	2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART7USB/ CAN	51 (51)	LQFP64	2...3,6
	STM32F103RB	•	128	20	4×16-біт (16/16/18)	2xSPI/2xI <sup>2</sup> C/ 3xUSART7USB/ CAN	51 (51)	LQFP64	2...3,6
* (IrDA/ISO7816/LIN master/slave)									

STM32F103C8T6 оснащений 12-бітовим АЦП, таймером, стандартним і розширеними інтерфейсами зв'язку. Режим енергозбереження дозволяє використовувати його в додатках малої потужності. Основні параметри мікроконтролера:

- діапазон робочої напруги від 2В до 3,6 В;
- Flash пам'ять 64Кб;
- 20Кб SRAM
- обчислювальний блок CRC, унікальний 96-бітний ID;

- два 12-бітних АЦП 1мкс (до 10 каналів);
- 7-канальний DMA контролер, 3 універсальних таймера і 1 таймер з розширеним управлінням;
- 37 швидких I / O портів;
- SWD і JTAG інтерфейси;
- інтерфейси: два SPI, два I2C, три USART, один USB, один CAN;
- діапазон робочої температури від -40 °С до 85 °С.

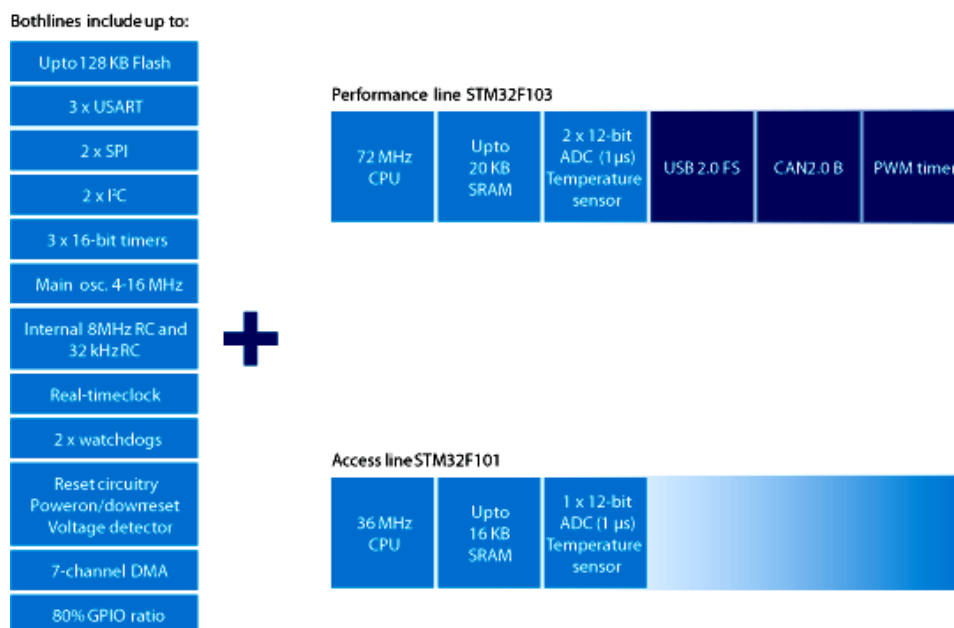


Рис. 4. Різниця між STM32F103 и STM32F101 [13]

Також слід зауважити, що одна з переваг ARM мікроконтролерів - великий вибір налагоджувальних засобів. У число компаній, що

пропонують інструментарій для ARM-мікроконтролерів STMicroelectronics, окрім неї самої, входять такі компанії як Keil, IAR, Hitex,

Nohau, GreenHills, Olimex і багато інших. Для початку роботи можна підібрати інструментарій, найбільш близький за своїми характеристиками до розроблювального пристрою.

**Датчик положення зчеплення.** Внаслідок перепаду тиску в камері пневматичного підсилювача, шток зчеплення виконує лінійне переміщення. Весь хід штоку складає 70 мм, робочий хід 25 мм. Для визначення поло-

ження штоку при його переміщенні можна використати резистивний (потенціометричний) датчик або індуктивний датчик з рухомих осердям. Однак фізичне розміщення датчиків поблизу штоку ускладнено і потребує переробки конструкції ППП, тому найбільш простим рішенням буде використати резистивний обертний датчик, що приводиться в дію від переміщення штока (рис. 5).

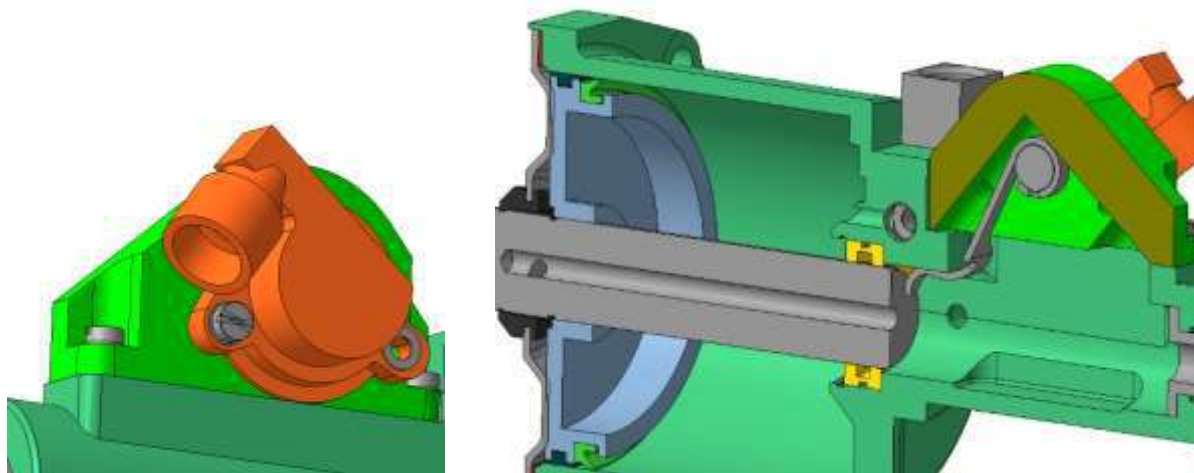


Рис. 5. Схема конструкції кріплення датчика положення штока виконавчого пристрою керування зчепленням

Резистивні датчики засновані на простому принципі дії [14], що призводить до конструкцій помірної вартості; вимірюваний сигнал може мати досить високий рівень і лінійність і не вимагати спеціальної електричної схеми обробки. Однак, такий датчик має внутрішнє тертя, яке впливає на його точність, будучи джерелом шумів і причиною зносу, що тягне за собою погіршення характеристик (лінійності, точності) і встановлює межу кількості вимірювань, яке датчик може витримати.

Найбільш повно по конструктивному виконанню і вимогам надійності відповідає датчик положення дросельної заслінки [15]. Існує два різновиди ДПДЗ: контактний і безконтактний. Дія контактного ДПДЗ заснована на принципі реостата, потенціометра і змінного резистора. Контактні елементи датчика розміщуються на спеціальних доріжках, число яких становить від двох до шести. Коли вони переміщуються, відбувається зміна напруги. Безконтактний датчик положення дросельної заслінки працює на використанні ефе-

кту Холла. На місці рухливих контактів датчика розташований еліпсний постійний магніт, а в корпусі знаходиться інтегральний датчик Холла. Він зчитує зміни магнітного поля при переміщенні магніту, і перетворює значення показань в електричний сигнал.

Схема підключення датчика положення зчеплення приведена на рис. 6. Датчик живиться від блоку САКЗ стабілізованою напругою 5 В, вихідний сигнал відповідно буде змінюватись в діапазоні від 0 до 5 В. Сигнал надходить до мікроконтролера на вхід АЦП для перетворення у відповідний по величині цифровий код. Оскільки МК живиться від 3,3 В, то перевищення значення цієї напруги на вході АЦП може вивести його з ладу, тому резистивний дільник на R2, R3 зменшує сигнал, що надходить до МК вдвічі. Схема повторювача напруги на операційному підсилювачі призначена для узгодження опорів датчика і вимірювальної схеми. Ланцюг R1, C1 – фільтр нижніх частот для усунення високочастотних завад.

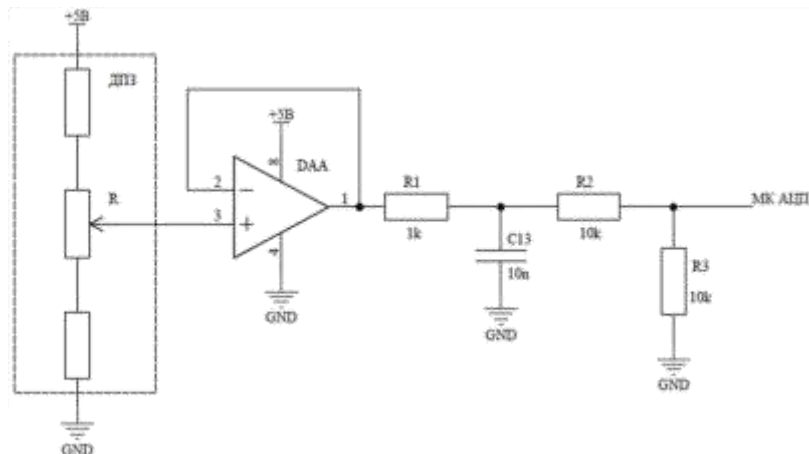


Рис. 6. Схема електрична принципова підключення ДПЗ

**Датчик положення педалі.** В якості датчика положення педалі зчеплення було обрано індуктивний датчик з рухомим осердям. Принцип дії індуктивних датчиків заснований на тому, що в переміщенні, яке передбачається виміряти, бере участь один з елементів магнітного контуру, який викликає тим самим зміну потоку через вимірювальну обмотку і відповідний електричний сигнал [14].

Якщо рухомих елементом є феромагнітне осердя, то його переміщення проявляється:

- в зміні коефіцієнта самоіндукції котушки (змінна індуктивність) (рис. 7, а);
- в зміні коефіцієнта зв'язку між первинною і вторинною обмотками трансформатора (диференційний трансформатор), що призводить до зміни вторинної напруги (рис. 7, б).

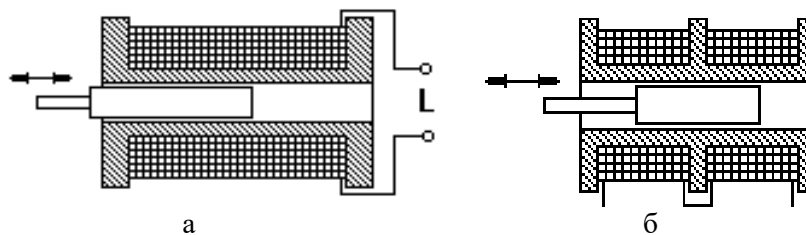


Рис. 7. Індуктивні датчики з рухомим осердям

У трансформаторі зі змінним зв'язком одна обмотка може обертається відносно іншої, закріпленої (одна з них грає роль джерела, а інша - приймача). Первинна обмотка утворює індуктор, а вторинна обмотка з наведеним струмом дає напругу в функції кута обертання (індуктивний потенціометр, резольвер).

Індуктивні датчики підключаються в ланцюг, що живиться джерелом синусоїдальної напруги з частотою декількох кГц і можуть вимірювати безпосередньо лінійне або кутове переміщення. Датчики цього типу, з одного боку, чутливі до зовнішніх електромагнітних полів, а з іншого - здатні самі їх індукувати. Тому необхідно їх екранувати.

Індуктивні датчики досить дорогі і складні в обробці сигналів, вимагають живлення стабільною синусоїдальною напругою, але зате

практично не залежать від атмосферних умов, придатні до використання в умовах надзвичайно агресивного середовища, мають високе значення часу напрацювання на відмову, дають дуже високу точність і лінійність.

За конструкцією в якості чутливого елементу ДПП було обрано котушку електромагнітного клапана в середині якої переміщується осердя із феромагнітної сталі. Довжина котушки складає 35 мм, що повністю відповідає ходу педалі при натисканні. Схема обробки сигналу датчика положення педалі наведено на рис. 8. Схема представляє собою релаксаційний LC генератор прямокутних імпульсів на інверторах. Ланцюг R1, VD1 обмежує амплітуду сигналу, що надходить до мікроконтролера на рівні 3,3 В.

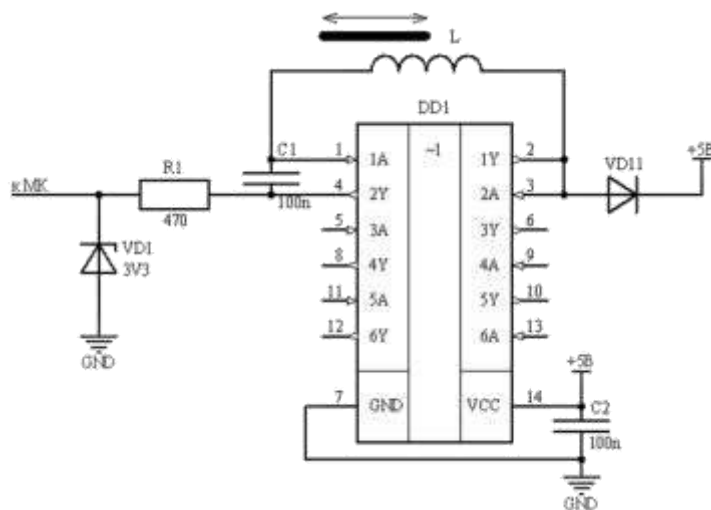


Рис. 8. Схема електрична принципова підключення ДПП

Частота сигналу, що виробляє генератор складає 12...30 кГц. Для підвищення точності і регулярності результатів вимірювання мікроконтролер визначає тривалість 25 періодів вхідного сигналу і усереднює результат. Таким чином, інформація про поточний стан педалі зчеплення оновлюється кожні 1,5...2 мс.

#### Алгоритм роботи системи та принципи керування електромагнітними клапанами

Алгоритм роботи системи керування зчепленням складається із декількох гілок. Основний цикл алгоритму забезпечує наступні дії:

- при включенні живлення робиться ініціалізація периферійних пристроїв (налаштування портів В/В, таймерів, АЦП, USB і тому подібне);

- відбувається відновлення значень калібрувань по датчиках педалі і зворотного зв'язку з незалежної пам'яті;

- вмикаються периферійні блоки мікроконтролера : АЦП, Т1, Т2, Т3, ЕХТІО

- вмикається діагностична лампочка на час проведення калібрування по положенню зчеплення. Якщо в процесі проведення калібрування були виявлені помилки самодіагностики, діагностична лампочка повинна блимати відповідно до їх кодів;

- вмикається автоматичне керування за помилкою позиціонування штоку керуючись сигналами з датчиків положення педалі і зчеплення;

- за поточним значенням напруги живлячої мережі визначити значення змінної  $pt\_delta$  для корекції тривалості пілотного імпульсу;

- очікування часу 0,2 с протягом якого, через кожні 5 мс, визначається величина поми-

лки і параметри ПД-регулятора щоб уникнути набуття великих негативних диференціальних значень його коефіцієнтів;

- якщо визначено, що педаль під час останнього натиснення знаходилась в положенні понад 30% максимального її ходу робиться перекалібрування системи по положенню датчика зворотного зв'язку.

Алгоритм визначення параметрів сигналу керування передбачає наступні дії:

- визначається розузгодження між поточним положенням педалі і положенням зчеплення (помилка керування)  $error = prps - crps$ ;

- якщо значення помилки в межах мінімально дозволеного порогу клапани вмикаються і керування не відбувається;

- якщо значення помилки не перевищує 5%, встановлюється мінімально можливий час пілотного імпульсу і мінімально можливий час відкритого стану клапана (для забезпечення стійкого регулювання під час забезпечення точності позиціонування);

- якщо значення помилки перевищує 80%, встановлюється максимальний час пілотного імпульсу і максимальний час відкритого стану клапана, який забезпечує швидкість переміщення штоку виконавчого пристрою керування зчепленням;

- якщо значення помилки знаходиться в діапазоні  $5 > error > 80 \%$ , час пілотного імпульсу визначається за лінійним законом з урахуванням корекції по напрузі бортової мережі, час відкритого стану клапана визначається за законом ПД-регулювання;

- якщо значення помилки позитивне, певні параметри керування застосовуються до впускного клапана, якщо негативне - до випускного.



Алгоритм калібрування по датчику зворотного зв'язку, який забезпечує інформацією про положення зчеплення необхідний для забезпечення адаптації відсоткового діапазону інтерпретації кодів АЦП, які приходять по каналу датчика зворотного зв'язку. Така адаптація необхідна під час експлуатації і передбачає адаптацію показань під час як швидкоплинних так і довготривалих процесів. До швидкоплинних процесів відноситься нагрів та розширення деталей зчеплення під час його буксування. Наслідком нагріву таких елементів як ведений диск на натискний диск зчеплення відбувається збільшення їх лінійних розмірів, що призводить до зміни начального положення штоку виконавчого пристрою електропневматичного підсилювача. Прикладом довготривалого процесу є зношування поверхонь тертя веденого та натискного дисків, внаслідок чого початкове положення штоку також змінюється. Для виконання адаптації алгоритм калібрування по датчику зворотного зв'язку передбачає наступні дії:

- задається максимальний час пілотного імпульсу, для надійного відкриття клапана і подається сигнал на відкриття випускного клапана на 2 с. За цей час пружина повинна перемістити зчеплення у повністю увімкнений стан, а шток електропневматичного підсилювача у початкове положення;

- зчитується значення АЦП з датчика положення зчеплення  $cps$  і приймається як максимальна точка ( $adc\_max$ ) в якій ДПС = 0%;

- від отриманого коду АЦП віднімається  $\sim 350$  одиниць, що відповідає 25 мм ходу штоку електропневматичного виконавчого механізму керування зчепленням. Ця точка приймається як мінімальна точка ( $adc\_min$ ) в якій ДПС = 100%;

- якщо в процесі калібрування (протягом 2х с.) виявлено повторне натиснення на педаль, випускний клапан закривається і калібрування припиняється.

Алгоритм обробки результату перетворення АЦП виконує наступні дії:

- зчитує результат перетворення АЦП;
- якщо буфер фільтру вже набрав 8 значень, тоді записати отриманий результат в кінець буфера, а найстаріший результат видалити (т.з. зміщення ряду даних в буфері). Якщо буфер фільтру ще не заповнений, почекати його заповнення (початкова гілка алгоритму обробки);

- набути середнього значення утримуваного буфера шляхом алгебраїчного підсумовування усього вмісту з наступним діленням на кількість значень в буфері;

- виразити значення кодів АЦП у процентному співвідношенні положення зчеплення;

- якщо значення змінної  $cps > 98\%$  вимкнути випускний клапан, що б не було перерегулювання при вимиканні зчеплення;

- якщо значення  $cps < 5\%$  вимкнути випускний клапан, що б не було перерегулювання при вмиканні зчеплення;

- якщо значення  $cps > 90\%$  увімкнути дільник коробки передач.

Підвищити швидкодію електромагнітного клапана вдалося за рахунок форсування відкриття шляхом постійного живлення обмотки електромагніту збільшеною напругою по відношенню до їх робочої напруги. Для запобігання перегріву обмотки під час витримки клапану в відкритому стані керування клапанами відбувається за методом: пілотний імпульс+ШИМ-утримання (рис. 9).

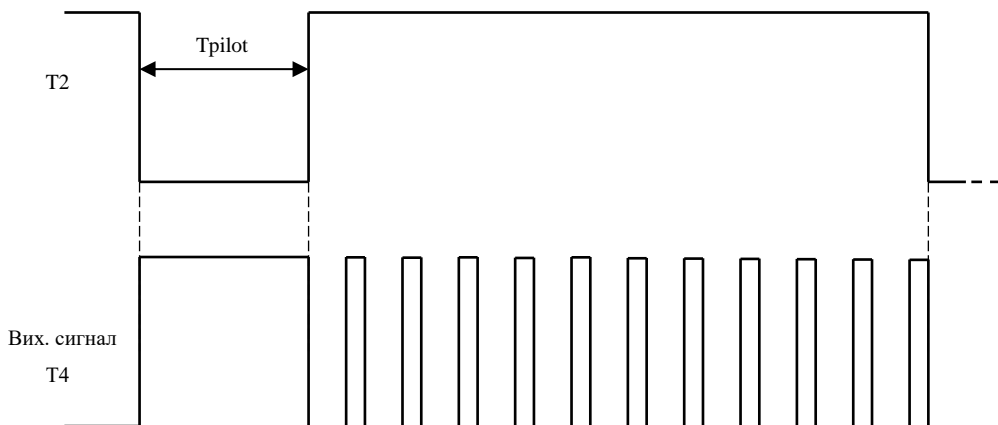


Рис. 9. Форма вихідного сигналу керування електромагнітним клапаном



Загальне керування на таймері T2 відбувається зміною періоду і ширини імпульсу, утримання - ШИМ на T4. Час пілотного імпульсу залежить від розузгодження і змінюється від 3 до 20 мс. Також задіяний зворотний зв'язок по напрузі живлення бортової мережі: до ширини пілотного імпульсу додається значення змінної  $pt\_delta$ , яка при  $U_b > 24$  В зменшує, а при  $U_b < 24$  В збільшує ширину пілотного імпульсу. Це необхідно для стабілізації роботи клапана під час зміни напруги бортової мережі.

Повний час відкритого стану клапана (період T2) визначається ПІД-регулятором, при крайніх значеннях помилки ( $5 > error > 80$ ) клапан працює при заданих мінімальному або максимальному часу відкриття. Для забезпечення необхідної швидкодії та точності позиціонування виконавчого механізму керування зчепленням.

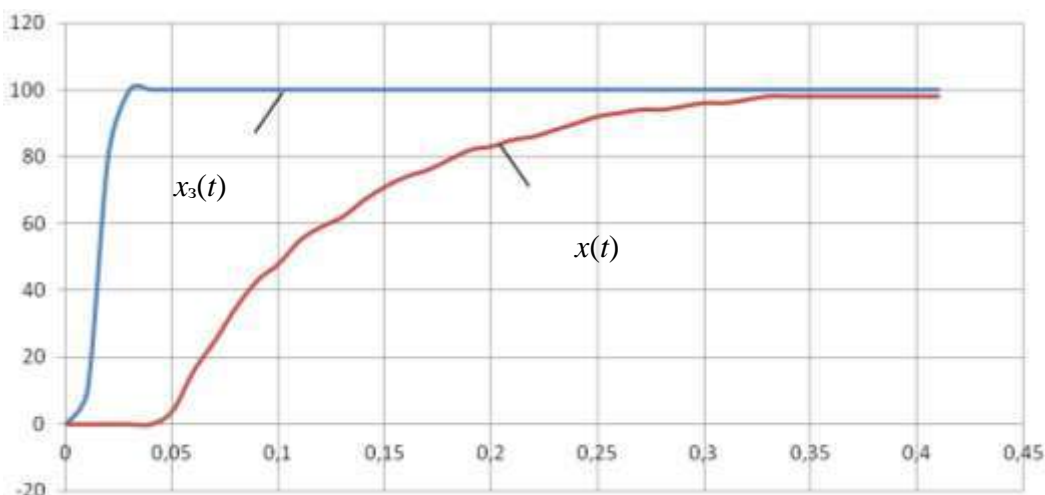


Рис. 10. Результати експериментальних випробувань САКЗ

При умові, що зчеплення повністю вимикається при положенні штоку 80-85%, мінімальний час необхідний для вимкнення зчеплення не перевищує 0,2 с, що повністю відповідає діючим нормам.

### Висновки

Найбільш доцільним для великовантажних автомобілів і автобусів є застосування електропневматичного приводу керування зчепленням, оскільки він здатний забезпечити довготривалість роботи, необхідну якість керування зчепленням, комфортні умови роботи водія і легко поєднується як з механічними, так і з автоматичними системами керування трансмісією транспортних засобів. Виконавчі елементи, які використовуються у конструкції електропневматичних приводів керування

### Результати випробувань

За результатами теоретичних досліджень був створений програмно апаратний комплекс для проведення експериментальних досліджень [16]. Комплекс включає пневматичну систему для створення та підтримки тиску заданої величини, пневматичний циліндр з електромагнітними клапанами, навантажувальний пристрій, що імітує роботу зчеплення, блок САКЗ та педаль зчеплення. При проведенні досліджень перевірялись: точність позиціонування штоку зчеплення, швидкість реакції переміщення штоку при натисканні на педаль, плавність руху штоку зчеплення, та інше.

Швидкість реакції системи на одинарний вхідний сигнал (рис. 10) склала 300 мс – час повного переміщення штоку зчеплення.

зчепленням, повинні мати високу швидкодію та велику пропускну спроможність, щоб забезпечити якісну роботу приводу на усіх режимах експлуатації.

Механізми, які випускаються серійно, включають чотири електропневматичні клапани, що негативно позначається на їх вартості та надійності. У конструкціях із меншою кількістю електропневматичних клапанів спостерігається протиріччя між показниками швидкодії та точністю регулювання. Запропоновані нові взаємозв'язки між конструктивними елементами прискорювального клапана, які дозволяють забезпечити необхідну швидкодію роботи виконавчого механізму електропневматичного приводу керування зчепленням без втрати точності регулювання при використанні двох електропневматичних клапанів. Запропонований алгоритм керування

виконавчим пристроєм дозволяє використувати обидва нормально закритих клапани без наявності залишкового тиску у силовому циліндрі.

Проведено етапи синтезу електронної системи керування. Запропоновано нову конструкцію педалі зчеплення з індукційним датчиком, що забезпечує високу точність і швидкодію, а також вимагає всього два проводи для підключення. Запропоновано та відлагоджено алгоритм роботи слідкуючої системи з використанням ПД-регулятора та враховуючи особливості виконавчого пристрою.

Результати експериментів показали працездатність та ефективність використання розробленої системи автоматизованого керування зчепленням.

### Літератури

1. Pawel Porczynski. WABCO Celebrates 5M AMTs Sold Worldwide. URL: <https://www.wabco-auto.com/ru-RU/News-Events/News/2019/How-Automated-Manual-Transmission-Control>. (Last accessed: 19.12.2020).
2. OptiDrive™. URL: <https://www.wabco-auto.com/emea/Our-Solutions/Off-Highway-solutions/Off-Highway-Efficiency/Driveline-Control-Solutions/OptiDrive>. (Last accessed: 19.12.2020).
3. ZF Easyshift. Electro-pneumatische Schaltung (ES), ZF Semishift. Semiautomatische mit electro-pneumatischer Schaltung (SES), ZF Ecoshift. Automatisierte Vorwahl-Schaltung (AVS), ZF Autoshift. Automatische Schaltung (AS) (проект фирмы Zahnradfabric. Германия).
4. Product Overview. Truck & Van Driveline Technology. URL: [https://www.zf.com/master/media/corporate/m\\_zf\\_com/company/download\\_center/products/trucks/TT\\_Product\\_Overview\\_201812\\_DE\\_EN\\_LowRes.pdf](https://www.zf.com/master/media/corporate/m_zf_com/company/download_center/products/trucks/TT_Product_Overview_201812_DE_EN_LowRes.pdf). (Last accessed: 21.12.2020).
5. Experiencing Dynamics – reliably. URL: [https://www.zf.com/master/media/corporate/m\\_zf\\_com/company/download\\_center/products/trucks/zf\\_bro\\_tn\\_2014\\_en.pdf](https://www.zf.com/master/media/corporate/m_zf_com/company/download_center/products/trucks/zf_bro_tn_2014_en.pdf). (Last accessed: 21.12.2020).
6. Тверсков Б.М. Коробки передач WSK без сцепления и синхронизаторов. *Автомобильная промышленность*. 2005. № 4. С. 11-12.
7. WABCO OptiDrive AMT. A game-changing technology that raises the bar on fuel efficiency, driver comfort, efficiency and safety factors. URL: <http://www.motorindiaonline.in/aftermarket/wabco-optidrive-amt-2>. (Last accessed: 24.12.2020).
8. Heath R., Child A. Zeroshift. A Seamless Automated Manual Transmission (AMT) With No Torque Interrupt. *SAE Technical Paper 2007-01-1307*. URL: <https://doi.org/10.4271/2007-01-1307>. (Last accessed: 24.12.2020).
9. Богомолов В.А., Клименко В.И., Ужва А.В., Михалевич Н.Г., Сильченко Н.Н. Анализ существующих конструкций трансмиссий. *Автомобильный транспорт*. 2010. вып. 27. С. 17–21.
10. Reset and configuration techniques. *Automotive Training Courses TRAINER manual*. P. 12. URL: [www.texaedu.com](http://www.texaedu.com). (Last accessed: 24.12.2020).
11. К. С. Фучаджи. АВТОМОБИЛЬ ЗАЗ-968М "Запорожец". Многокрасочный альбом. Москва: "Третий Рим", 1997. 68 с.
12. Методы классической и современной теории автоматического управления. В пяти томах. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 744 с.
13. Обзор ARM-микроконтроллеров от STMicroelectronics. URL: <https://www.compel.ru/lib/55060>. (Last accessed: 05.01.2021).
14. Как правильно выбирать датчик положения. *Новости микроэлектроники*. URL: [http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/99\\_06/stat\\_34.htm](http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/99_06/stat_34.htm). (Last accessed: 05.01.2021).
15. Датчики в автомобиле: под ред. Конрада Райфа. М.: За рулем, 2012. 165 с.
16. Богомолов В. А., Клименко В. И., Михалевич Н. Г., Ярита А. А. Построение статической характеристики механизма выключения сцепления транспортного средства. *Вестник НТУ «ХПИ»*. Х.: НТУ «ХПИ», 2014. Выпуск №8 (1051). С. 164-169.

### References

1. Pawel Porczynski. WABCO Celebrates 5M AMTs Sold Worldwide. URL: <https://www.wabco-auto.com/ru-RU/News-Events/News/2019/How-Automated-Manual-Transmission-Control>. (Last accessed: 19.12.2020).
2. OptiDrive™. URL: <https://www.wabco-auto.com/emea/Our-Solutions/Off-Highway-solutions/Off-Highway-Efficiency/Driveline-Control-Solutions/OptiDrive>. (Last accessed: 19.12.2020).
3. ZF Easyshift. Electro-pneumatische Schaltung (ES), ZF Semishift. Semiautomatische mit electro-pneumatischer Schaltung (SES), ZF Ecoshift. Automatisierte Vorwahl-Schaltung (AVS), ZF Autoshift. Automatische Schaltung (AS).
4. Product Overview. Truck & Van Driveline Technology. URL: [https://www.zf.com/master/media/corporate/m\\_zf\\_com/company/download\\_center/products/trucks/TT\\_Product\\_Overview\\_201812\\_DE\\_EN\\_LowRes.pdf](https://www.zf.com/master/media/corporate/m_zf_com/company/download_center/products/trucks/TT_Product_Overview_201812_DE_EN_LowRes.pdf). (Last accessed: 21.12.2020).
5. Experiencing Dynamics – reliably. URL: [https://www.zf.com/master/media/corporate/m\\_zf\\_com/company/download\\_center/products/trucks/zf\\_bro\\_tn\\_2014\\_en.pdf](https://www.zf.com/master/media/corporate/m_zf_com/company/download_center/products/trucks/zf_bro_tn_2014_en.pdf). (Last accessed: 21.12.2020).
6. Tverskov B.M. (2005) Korobki peredach WSK bez stsepleniya i sinkhronizatorov. [WSK gearboxes without clutch and synchronizers] *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 4. 11-12. [in Russian]

7. WABCO OptiDrive AMT. A game-changing technology that raises the bar on fuel efficiency, driver comfort, efficiency and safety factors. URL: <http://www.motorindiaonline.in/aftermarket/wabco-optidrive-amt-2>. (Last accessed: 24.12.2020).
8. Heath R., Child A. Zeroshift. A Seamless Automated Manual Transmission (AMT) With No Torque Interrupt. *SAE Technical Paper 2007-01-1307*. URL: <https://doi.org/10.4271/2007-01-1307>. (Last accessed: 24.12.2020).
9. Bogomolov V.A., Klimenko V.I., Uzhva A.V., Mikhalevich N.G., Sil'chenko N.N. (2010) Analiz sushchestvuyushchikh konstruksiy transmissiy. [Analysis of existing transmission designs] *Avtomobil'nyy transport*. 27. 17–21. [in Russian]
10. Reset and configurations techniques. *Automotive Training Courses TRAINER manual*. P. 12. URL: [www.texaedu.com](http://www.texaedu.com). (Last accessed: 24.12.2020).
11. K. S. Fuchadzi. (1997) AVTOMOBIL' ZAZ-968M "Zaporozhets". [CAR ZAZ-968M "Zaporozhets"] *Mnogokrasochnyy al'bom*. Moskva: «Tretiy Rim» [in Russian]
12. Metody klassicheskoy i sovremennoy avtomaticheskogo upravleniya. V pyati tomakh. T.4: Teoriya optimizatsii sistem avtomati-cheskogo upravleniya. [Theory of optimization of automatic control systems] M.: MGTU im. N.E. Bauman, 2004. [in Russian]
13. Obzor ARM-mikrokontrollerov ot STMICROELECTRONICS. [Review of ARM microcontrollers from STMICROELECTRONICS] URL: <https://www.compel.ru/lib/55060>. (Last accessed: 05.01.2021). [in Russian]
14. Kak pravil'no vybirat' datchik polozhennya. *Novosti mikroelektroniki*. [How to choose the right position sensor] URL: [http://www.chip-news.ru/html.cgi/arhiv/99\\_06/stat\\_34.htm](http://www.chip-news.ru/html.cgi/arhiv/99_06/stat_34.htm). (Last accessed: 05.01.2021). [in Russian]
15. Datchiki v avtomobile. [Sensors in the vehicle] pod red. Konrada Rayfa. M.: Za rulem, 2012. [in Russian]
16. Bogomolov V. A., Klimenko V. I., Mikhalevich N. G., Yarita A. A. (2014) Postroyeniye staticheskoy kharakteristiki mekhanizma vyklyucheniya stsepleniya transportnykh sredstv. [Building off of the static characteristic of the mechanism of vehicles clutch] *Vestnik NTU «KHPI»*. KH.: NTU «KHPI», 2014. Vypusk №8 (1051). S. 164–169. [in Russian]

**Дзюбенко Олександр Андрійович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0667684116, [dzyubenko.alan@gmail.com](mailto:dzyubenko.alan@gmail.com)

**Михалевич Микола Григорович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобілів ім. А.Б. Гредескула, [mkolyag@gmail.com](mailto:mkolyag@gmail.com), тел. +38 050-343-18-27.

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### **Development of e-automated control system friction clutch of the vehicle**

**Abstract. Problem.** *One of the most pressing problems of modern automotive industry is to simplify and facilitate driving. As for such a branch of the automotive industry as military equipment. One of the keys to successful completion of the task by the crew of any combat vehicle is the least possible distraction from the process of driving a vehicle and focus on the task. This is possible if the vehicle is provided with relatively comfortable driving conditions, good dynamic properties and the required minimum of controls. The solution to the issue of facilitating car driving cannot be solved without automation of transmission control.*

**Goal.** *The aim of the project is to create a prototype of an electronic system of automated control of the friction clutch of a vehicle to increase the reliability and efficiency of special and military vehicles.* **Methodology.** *Analytical methods of research, program and full-scale modeling, experimental researches on real object of management are used.* **Originality.** *New interrelations between the structural elements of the actuator of the friction clutch are proposed, which allow to ensure the required speed of the actuator of the electropneumatic clutch control drive without losing control accuracy when using two electropneumatic valves. The proposed control algorithm of the actuator allows the use of both normally closed valves without residual pressure in the power cylinder.* **Practical value.** *The stages of synthesis of the electronic control system are carried out. The algorithm of operation of the tracking system with the use of PID-regulator and taking into account the features of the actuator is proposed and debugged. A new clutch pedal design with an induction sensor is proposed, which provides high accuracy and speed, and also requires only two wires to connect.*

**Keywords:** *automated control system, clutch control, clutch position sensor, pedal position sensor, PID controller*

**Dziubenko Oleksandr**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 0667684116, email: [dzyubenko.alan@gmail.com](mailto:dzyubenko.alan@gmail.com)

**Mykhalevych Mykola**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., automobiles Department named A.B. Gredeskul, [mkolyag@gmail.com](mailto:mkolyag@gmail.com), tel. +38 050-343-18-27.

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

## ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТРАНСФОРМАТОРНО-ВИПРЯМНОГО БЛОКУ УСТАНОВКИ ВІДЦЕНТРОВОЇ ОЧИСТКИ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ОЛИВИ

Тарасова В. В.<sup>1</sup>, Нечаус А. О.<sup>2</sup>, Гнатов А. В.<sup>2</sup>, Аргун Щ. В.<sup>2</sup>,  
Шимук Д. С.<sup>1</sup>, Бикова О. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних сил,  
ім. Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації,

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Розроблено структурну схему трансформаторно-випрямного блоку з автоматизованою системою керування вихідною напругою установки для очищення трансформаторної оливи на базі електропривода підвищеної частоти. Виконані розрахунки передаточних функцій елементів запропонованої автоматизованої системи керування трансформаторно-випрямного блоку та досліджено її динамічні характеристики.

*Ключові слова:* силовий трансформатор, трансформаторна олива, автоматизована система керування, передаточна функція, динамічні характеристики.

### Вступ

Правильне функціонування, безпека роботи і термін служби трансформаторів безпосередньо залежать від стану їх системи ізоляції, яка в основному складається з шарів спеціального паперу і трансформаторної ізоляційної оливи [1]. Трансформаторна олива забезпечує охолодження, електричну міцність і захист паперової ізоляції. В період експлуатації трансформатора відбуваються процеси деградації в паперовій та масляній ізоляції. Очищення трансформаторної оливи (ТО) є одним з важливих технічних завдань, вирішення якого допоможе уникнути значних витрат матеріальних та енергетичних ресурсів. У зв'язку із цим, зростає інтерес до пошуку шляхів вирішення цієї проблеми.

Автори даної роботи пропонують для силових установок очищення ТО використовувати електропривід підвищеної частоти, який живиться від трансформаторно-випрямного блоку (ТВБ) з автоматичною системою керування (АСК) вихідною напругою.

### Аналіз публікацій

Погіршення екології і зменшення енергетичних ресурсів вимагає від сучасних науковців не лише розробки і впровадження нового енергоефективного обладнання, але і удосконалення існуючого [2–4].

У теперішній час для очищення відпрацьованої ТО використовують декілька методів [5, 6]. Наприклад, очищення за допомогою нафтових сепараторів з робочою частотою 50 Гц; відстоювання оливи з наступним зливом верхнього (очищеного) шару; очи-

щення оливи з наступним зливом верхнього (очищеного) шару і проведення хімічних реакцій для відновлення її властивостей [7].

Але найбільш перспективним способом очищення є саме нафтові сепаратори [8, 9], при використанні яких покращуються основні показники установок очищення, а саме: якість очищення та продуктивність, зручність експлуатації, що в першу чергу відноситься до безперервного викиду відходів.

Як вказано в [10], найбільший вплив на працездатність сепараторів має їх привід. Проведений аналіз літератури показав, що для живлення електроприводів сепараторів різного призначення на теперішній час використовується змінний струм промислової частоти 50 Гц. Але відомо, що джерело живлення з більшою частотою струму, а саме 400 Гц, є перспективним не тільки з точки зору покращення масо-габаритних показників сепаратора [11], але й також обов'язково зменшує явище дисбалансу та покращує перехідні процеси при пуску та гальмуванні сепаратору.

Таким чином, обґрунтування створення ефективної установки для відцентрового очищення ТО фактично пов'язане з використанням в якості устаткування електроприводу з частотою живлення 400 Гц.

### Мета та постановка задачі

Метою роботи є розрахунок функціональної схеми ТВБ, розрахунок передаточних функцій та динамічних характеристик автоматичної системи керування трансформаторно-випрямного блоку установки для відцент-

рового очищення ТО з електроприводом підвищеної частоти.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

– розробити функціональну схему трансформаторно-випрямний блоку з автоматичною системою керування вихідною напругою для установки очищення ТО;

– провести розрахунки передаточних функцій елементів АСК;

– провести розрахунок динамічних характеристик АСК ТВБ.

### Функціональна схема ТВБ

Запропонована функціональна схема ТВБ з АСК напругою наведена на рис. 1.

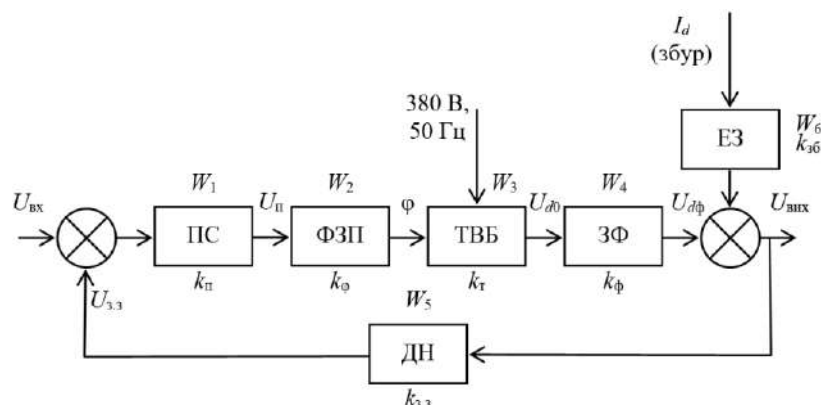


Рис. 1. Функціональна схема ТВБ з автоматичною системою керування напругою

На рис. 1 використані наступні умовні позначення:

ПС – підсилювач;

ФЗП – фазозсувний пристрій;

ТВБ – трансформаторно-випрямний блок;

ЗФ – згладжуючий фільтр;

ДН – датчик напруги;

ЕЗ – елемент, що враховує збурення;

$U_{вх}$  – керуюча напруга АСК;

$I_d$  – струм навантаження ТВБ;

$U_п$  – напруга, що знімається з підсилювача;

$\varphi$  – кут відкриття вентилів ТВБ;

$U_{d0}$  – напруга на вході ТВБ, без струму навантаження;

$U_{dф}$  – напруга на виході фільтра;

$k_п$  – коефіцієнт передачі підсилювача;

$k_ф$  – коефіцієнт передачі ФСП;

$k_т$  – коефіцієнт передачі ТВБ;

$k_ф$  – коефіцієнт передачі фільтру;

$k_{з.б}$  – коефіцієнт передачі елемента збурення;

$k_{з.з}$  – коефіцієнт від’ємного зворотного зв’язку.

Далі більш детально розглянемо основні передаточні функції елементів АСК, що представлені на рис. 1.

### Передаточні функції елементів АСК

**Підсилювач.** Підсилювач, що використовується в АСК, зазвичай виконується на транзисторах і являє собою підсилювач постійного струму охоплений від’ємним зворотнім зв’язком як показано на рис. 2.

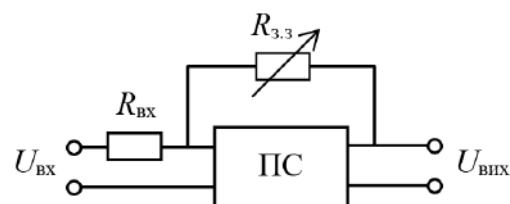


Рис. 2. Підсилювач постійного струму охоплений від’ємним зворотнім зв’язком

Коефіцієнт передачі підсилювача регулюється у широких межах зміною опорного зворотного зв’язку  $R_{з.з}$  за співвідношенням:

$$k_п = R_{з.з} / R_{вх}.$$

Передаточна функція підсилювача в операторній формі має наступний вигляд:

$$W_1(p) = \frac{x_{внх}(p)}{x_{вх}(p)} = \frac{U_п(p)}{U'_{вх}(p)} = k_п. \quad (1)$$

Тобто це безінерційна ланка.

**Фазозсувний пристрій.** Фазозсувний пристрій являє собою елемент, який забезпечує зміну фази відносно його вихідної напруги на кут  $\varphi$ , що дозволяє змінити кут відкритого стану вентилів ТВБ, тим самим регулюється значення вихідної напруги.

Даний пристрій працює за «вертикальним» принципом і складається з генератора

пилкоподібної напруги і пристрою для порівняння його напруги з напругою керування.

Аналіз принципу дії ФСП тиристорного регулятора показує, що він є практично безінерційним елементом АСК. Таким чином, його передаточна функція в операторній формі має наступний вигляд:

$$W_2(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{\varphi(p)}{U_{\text{п}}(p)} = k_{\varphi}, \quad (2)$$

де  $k_{\varphi}$  – коефіцієнт передачі ФСП.

Чисельне значення коефіцієнту передачі ФСП може бути визначене, як відношення номінальної величини кута відкриття вентилів до номінальної величини напруги на вході ФЗП і представлено у вигляді:

$$k_{\varphi} = \varphi_{\text{н}} / U_{\text{п.н}}. \quad (3)$$

*Трансформатор живлення випрямного блоку.* Він являє собою електромагнітний апарат, що складається з індуктивностей  $L_1$ ,  $L_0$ ,  $L_2$  з осердями та резисторів  $R_1$ ,  $R_0$ ,  $R'_2$  у колах індуктивностей. Таким чином він має можливість згладжувати стрибки струму. Тобто цей апарат має електромагнітну сталу часу  $T_T$ .

Визначимо методику розрахунку електромагнітної сталої часу трансформатора. Для цього використаємо схему заміщення трансформатора для однієї фази.

Технічні данні необхідні для визначення елементів схеми заміщення трансформатора, що були отримані раніше:

$$\begin{aligned} U_1 &= 380 \text{ В}; & w_2 &= 42; \\ I_1 &= 1,05 \text{ А}; & R_1 &= 12,35 \text{ Ом}; \\ I_0 &= 0,22 \text{ А}; & R_2 &= 10,85 \text{ Ом}; \\ I_{0a} &= 0,014 \text{ А}; & X_k &= 3,9 \text{ Ом}; \\ I_2 &= 27,3 \text{ А}; & X_1 = X'_2 &= 1,95 \text{ Ом}; \\ I'_2 &= 1,2 \text{ А}; & R_{\text{дн}} &= 0,9 \text{ Ом}; \\ w_1 &= 955; & R'_{\text{дн}} &= 155 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

$\varphi_0 = 84,6$  град – кут між вектором напруг  $U_1$  і вектором струму неробочого ходу  $I_0$ .

Оскільки кут  $\varphi_0$  близький до  $90^\circ$  можна сказати, що струм неробочого ходу має чисто індуктивний характер і можна зробити припущення, що активний опір намагнічуючого кола  $R_0 \approx 0$ .

Тоді реактивний опір намагнічуючого кола буде:

$$X_0 = \frac{U_1}{I_0} = \frac{380}{0,22} = 1727 \text{ Ом},$$

а відповідні індуктивності:

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{X_0}{2\pi f_1} = \frac{1727}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,5 \text{ Гн}; \\ L_1 &= \frac{X_1}{2\pi f_1} = \frac{1,95}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}; \\ L'_2 &= L_1 = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \end{aligned}$$

Визначення електромагнітної сталої часу  $T_T$  проведемо, використовуючи Т-подібну схему заміщення трансформатора (рис. 3).

Для двох контурів схеми за другим законом Кірхгофа та вузла схеми за першим законом Кірхгофа складемо наступні рівняння:

$$\begin{aligned} i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + L_0 \frac{di_0}{dt} &= u_1; \\ i'_2 (R'_2 + R'_{\text{дн}}) + L_2 \frac{di'_2}{dt} + L_0 \frac{di_0}{dt} &= e'_2; \\ i_0 &= i_1 + i'_2. \end{aligned}$$

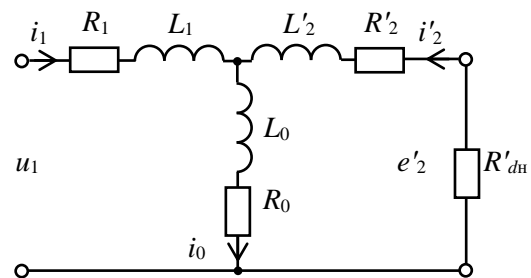


Рис. 3. Т-подібна схема заміщення трансформатора

Переходячи до операторної форми запису рівнянь отримаємо:

$$\begin{aligned} I_1(p)R_1 + L_1 p I_1(p) + L_0 p I_0(p) &= U_1(p); \\ I'_2(p)(R'_2 + R'_{\text{дн}}) + L_2 p I'_2(p) + & \\ + L_0 p I_0(p) &= E'_2(p); \\ I_0(p) &= I_1(p) + I'_2(p). \end{aligned}$$

Вирішивши рівняння разом відносно струму  $I_0(p)$  отримаємо:

$$\begin{aligned} [(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + T_{02} p(T_1 p + 1) + & \\ + T_{01} p(T_2 p + 1)] I_0(p) &= \\ = \frac{U_1(p)(T_2 p + 1)}{R_1} + \frac{E'_2(p)}{R'_2 + R'_{\text{дн}}}, & \end{aligned}$$

де  $T_1 = L_1/R_1$ ;  $T_{01} = L_0/R_1$ ;

$$T_2 = L'_2 / (R'_2 + R'_{\text{дн}});$$

$$T_{02} = L_0 / (R'_2 + R'_{дн}).$$

Рівняння являє собою диференціальне рівняння у операторній формі, яке характеризує закон зміни намагнічуючого струму трансформатора  $I_0(p)$  при підключенні ТВБ до живлячої мережі.

Характеристичне рівняння отримаємо прирівнявши ліву частину до нуля:

$$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1) + T_{02} p(T_1 p + 1) + T_{01} p(T_2 p + 1) = 0$$

або, якщо прийняти

$$\begin{aligned} a_2 &= T_1 T_2 + T_{01} T_2 + T_{02} T_2; \\ a_1 &= T_1 + T_2 + T_{01} + T_{02}; \\ a_2 p^2 + a_1 p + 1 &= 0. \end{aligned}$$

Знайдемо чисельні значення сталих часу  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_{01}$ ,  $T_{02}$ , використовуючи раніше отримані величини опорів та індуктивностей:

$$\begin{aligned} T_1 &= L_1 / R_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \\ T_{01} &= L_0 / R_1 = 0,45 \text{ с}; \\ T_2 &= L'_2 / (R'_2 + R'_{дн}) = 0,0373 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \\ T_{02} &= L_0 / (R'_2 + R'_{дн}) = 0,034 \text{ с}. \end{aligned}$$

Беручи до уваги отримані відношення знайдемо коефіцієнти  $a_1$  і  $a_2$ :

$$\begin{aligned} a_1 &= 0,484 \text{ с}; \\ a_2 &= 3,3 \cdot 10^{-6} \approx 0, \end{aligned}$$

тоді характеристичне рівняння буде мати вигляд:

$$0,484 \cdot p + 1 = 0.$$

Знайдемо корінь рівняння:

$$p_1 = -1/0,484 = -2,1.$$

Тоді електромагнітна стала трансформатора буде дорівнювати:

$$T_T = |1/p_1| = 0,484.$$

Аналізуючи сталі часу первинного та вторинного кіл, а також кола неробочого ходу трансформатора можна зробити висновок про те, що слід врахувати тільки сталі часу

$T_{01}$  і  $T_{02}$ . Тоді стала часу трансформатора  $T_T$  визначається у вигляді відношення:

$$T_T = T_{01} + T_{02} = \frac{L_0}{R_1} + \frac{L_0}{R'_2 + R'_{дн}}.$$

Видно, що стала часу максимальна при короткому замиканні ТВБ, оскільки при  $R'_{дн} = 0$ :

$$T_{Т.кз} = L_0 / R_1 + L_0 / R'_2.$$

На неробочому ході  $R'_{дн} = \infty$ , тоді стала часу мінімальна:

$$T_{Т.нх} = L_0 / R_1.$$

Тобто значення сталої часу  $T_T$  треба вираховувати для кожного значення навантаження ТВБ.

Проведений аналіз показує, що ТВБ є аперіодичною ланкою середнього порядку і його передаточна функція визначається у вигляді відношення:

$$W_3(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{U_d(p)}{\varphi(p)} = \frac{k_T}{T_T p + 1},$$

де  $k_T = U_{d0} / \varphi_n$  – коефіцієнт передачі ТВБ;

$\varphi_n$  – номінальне значення кута відкривання вентилів;

$U_{d0}$  – напруга неробочого ходу ТВБ.

*Згладжуваний фільтр.* Для згладження пульсацій вихідної напруги було обрано Г-подібний фільтр. Він має наступні технічні данні:  $L_\phi = 0,5$  мкГ;  $C_\phi = 2000$  мкФ; стала часу  $T_\phi = 10^{-3}$  с.

Передаточна функція фільтру являє собою аперіодичну ланку першого порядку:

$$W_4(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{U_{d\phi}(p)}{U_{d0}(p)} = \frac{k_\phi}{T_\phi p + 1}.$$

Та значення сталої часу  $T_\phi = L_\phi C_\phi = 10^{-3}$ , таке мале, що ним можна знехтувати. Тоді передаточна функція фільтру перетворюється в безінерційну ланку:

$$W_4(p) = \frac{U_{d\phi}(p)}{U_{d0}(p)} = k_\phi,$$

де  $k_\phi = 0,92 \dots 0,98$  коефіцієнт передачі фільтру.

Значення  $k_\phi < 1$  показує, що враховуються спади напруги на фільтрі (8-2 % від  $U_n$ ). Чисельне значення  $k_\phi$  визначається конструктивними даними індуктивності.

Ланка від'ємного зворотного зв'язку. Як ланку від'ємного зворотного зв'язку використано датчик напруги безінерційного типу на стабілітронах, що забезпечує на виході напругу зворотного зв'язку  $U_{3.3}$ , достатню для створення прийнятого значення коефіцієнта зворотного зв'язку.

Передаточна функція даної ланки дорівнює:

$$W_5(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{U_{3.3}(p)}{U_{\text{вих}}(p)} = k_{3.3} = 0,8,$$

де  $k_{3.3} = 0,8$  – коефіцієнт зворотного зв'язку. Приймаємо попередньо. Рекомендовані межі  $k_{3.3} = 0,6 \dots 0,85$ .

Передаточна функція елемента врахування збурення (струму  $I_d$ ). Елемент врахування збурення дозволяє оцінити відхилення вихідної напруги  $U_d$  при впливі на ТВБ струму навантаження  $I_d$ , тобто це «теоретичний» елемент. Він повинен врахувати спад напруги в трансформаторі і спад напруги на вентилях. Спад напруги в трансформаторі  $\Delta U_{\text{тр}}$  пропорційний струму  $I_d$ , а спад на вентилях  $\Delta U_{\text{в}}$  не залежить від струму, тобто  $\Delta U_{\text{в}} = \text{const}$ .

Таким чином, спад напруги ТВБ у розімкненій АСК визначається у вигляді:

$$\Delta U_{\text{дп}} = \Delta U_{\text{в}} + \Delta U_{\text{тр}} = \frac{2\Delta U_{1\text{в}}}{k_\phi} + k_{3\phi} I_{\text{дн}},$$

де  $\Delta U_{1\text{в}}$  – спад напруги на одному вентилі. Визначається за довідковими даними.

$k_{3\phi} = \Delta U_{\text{тр}} / I_{\text{дн}}$ , В/А – коефіцієнт передачі елемента збурення.

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}} \% \cdot U_{\text{дк}}}{100} - \text{номінальна величина}$$

спаду напруги трансформатора під навантаженням.

В замкненій системі АСК за рахунок використання підсилювача спад напруги на виході ТВБ визначається як відношення:

$$\Delta U_{\text{дз}} = \Delta U_{\text{дз}} / k_{3.с},$$

де  $k_{3.с} = 1 + k_{\text{р.с}} k_{3.3}$  – коефіцієнт передачі замкненої АСК;

$k_{\text{р.с}} = k_{\text{п}} k_\phi k_{\text{т}} k_\phi$  – коефіцієнт передачі розімкненої АСК;

мкненої АСК;

$k_{3.3} = 0,8$  – коефіцієнт зворотного зв'язку (прийнятий попередньо).

### Розрахунок динамічних характеристик АСК ТВБ

Визначимо передаточну функцію розімкненої АСК:

$$\begin{aligned} W_{\text{р.с}}(p) &= W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) = \\ &= k_{\text{п}} k_\phi \frac{k_{\text{т}}}{T_{\text{т}} p + 1} k_\phi = \frac{k_{\text{р.с}}}{T_{\text{т}} p + k_{3.с}} \end{aligned}$$

Знайдемо чисельне значення коефіцієнта передачі елемента в АСК:

$k_{\text{п}} = U_{\text{п}} / U_{\text{вх}} = 6,5$  – приймаємо попередньо;

$$k_\phi = \phi_n / U_{\text{пн}} = 2,25 \text{ град/В},$$

де  $\phi_n = 45$  град – кут відкриття вентиля для номінального значення напруги ТВБ  $U_{\text{д0}} = 30$  В;

$U_{\text{к.н}} = 20$  В – номінальна величина керуючої напруги, що подається у ФЗП;

$$U_{\text{к.н}} = U_{\text{вх}} k_{\text{п}} = 20 \text{ В};$$

$U_{\text{вх}} = 3,12$  В номінальне значення вхідної напруги АСК;

$$k_{\text{т}} = U_{\text{д0}} / \phi_n = 0,67 \text{ град/В};$$

$$k_\phi = U_{\text{д}} / U_{\text{д0}} = 0,98 - \text{попередньо.}$$

Визначимо:

$$k_{\text{р.с}} = k_{\text{п}} k_\phi k_{\text{т}} k_\phi = 6,5 \cdot 2,25 \cdot 0,67 \cdot 0,98 = 9,6.$$

Перевіримо величину напруги керування:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{д0}} / k_{\text{р.с}} = 30 / 9,6 = 3,13 \text{ В.}$$

Це значення відповідає прийнятому значенню напруги  $U_{\text{вх}}$  на початку.

Замінімо вираз для передаточної функції в чисельному вигляді:

$$W_{3.с}(p) = \frac{k_{\text{р.с}}}{T_{\text{т}} p + k_{3.с}} = \frac{9,6}{484 p + 8,7},$$

де  $T_{\text{т}}$  – електромагнітна стала часу трансформатора.

Диференціальне рівняння АСК має вигляд:

$$(T_{\text{т}} p + k_{3.с}) U_{\text{п}}(p) = k_{\text{р.с}} U_{\text{д}}(p).$$

Характеристичне рівняння АСК:



$$T_1 p + k_{3,c} = 0.$$

Якщо підставити чисельне значення коефіцієнтів  $T_1$  і  $k_{3,c}$  отримаємо:

$$0,484p + 8,7 = 0.$$

Вирішивши характеристичне рівняння знайдемо корінь  $p_1$

$$p_1 = -8,7/0,484 = -18.$$

Визначаємо закон зміни вихідної напруги при пуску АСК  $U_d = f(t)$  на неробочому ході:

$$U_d(t) = U_{dv} (1 - e^{p_1 t}) = 30(1 - e^{-18t}).$$

де  $U_{dv} = U_{d0} = 30$  В – встановлене значення вихідної напруги при пуску АСК на неробочому ході.

Якщо пуск виконується під навантаженням, то напруга:

$$U_{dc} = U_{d0} - \Delta U_{d3} = 30 - 0,46 = 29,34 \text{ В},$$

$$\text{де } \Delta U_{d3} = \frac{\Delta U_{dp}}{k_{3,c}} = \left( \frac{\frac{2\Delta U_{1в} + k_{3\phi} I_{дн}}{k_{\phi}}}{k_{3,c}} \right) = 0,46 \text{ В};$$

$\Delta U_{1в} = 0,75$  В, спад напруги на вентилі ВКДУ – 150, не залежно від величини струму вентиля;

$k_{3\phi} = \Delta U_{тр} / I_{дн} = 2,5/33,3 = 0,075$  В/А – коефіцієнт передачі ланки збурення;

$$\Delta U_{тр} = \frac{U_{к \%} \cdot U_{дк}}{100} = 2,5 \text{ В} - \text{спад напруги}$$

на виході трансформатору  $I_d = I_{дн}$ .

Рівняння перехідного процесу вихідної напруги  $U_d$  при пуску ТВБ під номінальним навантаженням має вигляд:

$$U_d(t) = U_{dv} (1 - e^{p_1 t}) = 29,54(1 - e^{-18t}).$$

Результати розрахунків перехідного процесу за даним виразом наведені в табл. 1 і на рис. 4.

Таблиця 1 – Результати розрахунку перехідного процесу

$t, \text{ с}$	0	0,02	0,04	0,08	0,16	0,24
$U_d(t), \text{ В}$	0	9	15,3	23,8	28,5	29,55

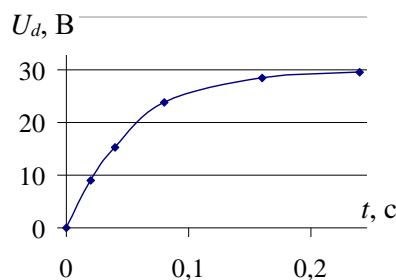


Рис. 4. Графік перехідного процесу  $U_d(t)$

Статична точність стабілізації вихідної напруги ТВБ дорівнює:

$$\Delta U_{d3} = 0,46 \text{ В}.$$

Або може бути визначена у відсотках:

$$\Delta U_{d3\%} = \frac{\Delta U_{d3} \cdot 100\%}{U_{d0}} = \frac{0,46 \cdot 100}{30} = 1,5 \%.$$

За необхідності збільшення точності стабілізації слід збільшити значення коефіцієнта передачі підсилювача  $k_{п}$ .

Крім збільшення точності стабілізації вихідної напруги ТВБ збільшення  $k_{п}$  приведе до збільшення надійності системи стабілізації напруги.

Для побудови графіку перехідного процесу користуються рядом значень часу  $t$  і за рівнянням перехідного процесу розраховують напругу  $U_d(t)$ .

### Висновки

На теперішній час промисловість України серійно не випускає перетворювачі частоти з 50 Гц на 400 Гц. Як відомо, існують тільки окремі зразки і розробки для джерел невеликої потужності. Проте слід відмітити, що на ринку наявні перетворювачі імпортного виконання, які не завжди підходять за технічними характеристиками, і до того ж мають значну вартість. Саме тому, розробку перетворювача змінного трифазного струму напругою 220 В з частотою 50 Гц у змінний трифазний струм напругою 220 В з частотою 400 Гц слід вважати актуальною. Така частота окрім забезпечення необхідних характеристик нафтового сепаратора дозволяє знизити масо-габаритні показники та забезпечити високу надійність роботи установки очищення трансформаторної оливи.

В роботі розглянута функціональна схема АСК напругою ТВБ, у якій точність керування вихідної напруги прямопропорційно за-

лежить від коефіцієнту передачі підсилювача та дозволяє підвищити надійності роботи системи керування.

В системі можливе виникнення різних типів перехідних процесів: періодичного, або аперіодичного. Це визначається видом коренів характеристичного рівняння, які в свою чергу визначаються параметрами ТБВ ( $L_1$ ,  $R_1$ ,  $L_2$ ,  $R_2$ ,  $L_0$ ,  $R$  та іншими).

Розроблена структурна схема ТБВ дозволяє визначити передаточну функцію АСК, скласти характеристичне рівняння перехідного процесу, визначити його корені та розрахувати перехідний процес для будь-яких умов.

### Література

1. Mačuzić I., Jeremić B. Modern Approach to Problems of Transformer Oil Purification. *Tribology in industry*, Kragujevac. 2002. Вип. 24.
2. Migal V., Arhun Shch., Hnatov A., та ін. Substantiating the Criteria For Assessing the Quality of Asynchronous Traction Electric Motors in Electric Vehicles and Hybrid Cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*. 2019. Вип. 10, № 36. С. 989–999.
3. Patlins A., Hnatov A., Arhun S., та ін. Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. *Transportation Research Procedia*. 2019. Вип. 40. С. 434–441.
4. Hnatov A., Argun S., Tarasov K., та ін. Researching the Model of Electric Propulsion system for bus with the Matlab Simulink: *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 07. October. 19. С. 1–6.
5. Юсупов Д. Т., Ботиров А. Н., Рузиев С. Б. Эффективность существующих методов регенерации трансформаторного масла. *Молодой ученый*. 2017. № 24. С. 227–229.
6. Ихсанова А. И., Гайнутдинова А. М. Очистка и регенерация трансформаторного масла. *Аллея науки*. 2016. № 4. С. 292–294.
7. Speight J., Exall D. I. *Refining used lubricating oils*: CRC Press, 2014.
8. Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. Основи нафтогазової інженерії: підручник для студентів вищих навчальних закладів: Львів: Новий Світ - 2000, 2019. 416 с.
9. Малахов Ю. В., Шевченко Н. Е., Воробьєв І. Е. О стратегии и основных направлениях развития электроэнергетики Украины в первой половине XXI века. *Энергетика и электрификация*. 2001. № 7. С. 8–14.
10. Hnatov A., Arhun Shch., Bagach R., та ін. Electrical power unit of the transformer oil centrifugal cleaning unit. *Avtomobil'nyy transport*. 2021. Вип. 48. (accepted).
11. Толубко В. Б. Электропостачання і електрообладнання військових об'єктів: [підруч. у 2 ч.]. Харків.: ХВУ, 1998– Ч. 2– 500 с. 1998.

### References

1. Mačuzić I., Jeremić B. (2002) Modern Approach to Problems of Transformer Oil Purification. *Tribology in industry*, Kragujevac. 24.
2. Migal V., Arhun Shch., Hnatov A. (2019) Substantiating the Criteria For Assessing the Quality of Asynchronous Traction Electric Motors in Electric Vehicles and Hybrid Cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*. 10. 36. 989–999.
3. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2019) Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. *Transportation Research Procedia*. 240. 434–441.
4. Hnatov A., Argun S., Tarasov K. (2019) Researching the Model of Electric Propulsion system for bus with the Matlab Simulink: *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 07. October. 19. 1–6.
5. Yusupov D. T., Botirov A. N., Ruziev S. B. (2017) Effektivnost suschestvuyuschih metodov regeneratsii transformatornogo masla. [The effectiveness of existing methods of regeneration of transformer oil]. *Molodoy ucheniy*. 24. 227–229. [in Russian]
6. Ihsanova A. I., Gaynutdinova A. M. (2016) Ochistka i regeneratsiya transformatornogo masla. [Purification and regeneration of transformer oil]. *Alleya nauki*. 4. 292–294. [in Russian]
7. Speight J., Exall D. I. (2014) *Refining used lubricating oils*: CRC Press.
8. Biletskyi V. S., Orlovskiy V. M., Vitryk V. H. (2019) *Osnovy naftohazovoi inzhenerii: pidruchnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv* [Fundamentals of oil and gas engineering: a textbook for students of higher educational institutions] Lviv: Novyi Svit. [in Ukrainian]
9. Malahov Yu. V., Shevchenko N. E., Vorob'Yov I. E. (2001) O strategii i osnovnih napravleniyah razvitiya elektroenergetiki Ukrainyi v pervoy polovine XXI veka. [On the strategy and main directions of development of the electric power industry in Ukraine in the first half of the XXI century]. *Energetika i elektrifikatsiya*. 7. 8–14. [in Russian]
10. Hnatov A., Arhun Shch., Bagach R. (2021) Electrical power unit of the transformer oil centrifugal cleaning unit. *Avtomobil'nyy transport*. 48. (accepted).
11. Tolubko V. V. (1998) *Elektropostachannya i elektroobladnannya viyskovykh obyektiv: Pidruchnik. P. 2. [Power supply and electrical equipment of military facilities]* KhVU, 500 [in Ukrainian].

**Тарасова Валентина Всеволодівна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. електротехнічних систем, тел. +38 066-828-47-31, [val.vs.tarasova@gmail.com](mailto:val.vs.tarasova@gmail.com).

**Гнатів Андрій Вікторович**<sup>2</sup>, д.т.н., зав. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-743-08-87, [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com), orcid: 0000-0003-0932-8849

**Аргун Щасяна Валіковна**<sup>2</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, [shasyana@gmail.com](mailto:shasyana@gmail.com), orcid: 0000-0001-6098-8661

**Нечаус Андрій Олександрович**<sup>2</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 067-777-02-24, [a.nechaus@gmail.com](mailto:a.nechaus@gmail.com).

**Шимук Дмитро Степанович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. електротехнічних систем, тел. +38 066-458-81-29, [shimukds@gmail.com](mailto:shimukds@gmail.com).

**Бикова Олена Вікторівна**<sup>2</sup>, зав. лаб каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-559-30-53, [ae.hnadu@gmail.com](mailto:ae.hnadu@gmail.com).

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### **Functional scheme of the transformer-rectifier unit of the centrifugal oil cleaning installation**

**Annotation. Problem.** The reduction of reliability, economical and mass-dimensional indicators is one of available ways for centrifugal cleaning transformer oil installations, which based on electric drives with increased frequency. In addition to the development and calculation of the power scheme of the installation, the issue of developing an calculation power supply system from the industrial power system is relevant. In this case, the task of developing and researching a voltage and frequency converter, which is an intermediate link between the industrial power system and the centrifugal oil cleaning installation and provides the specified parameters of electricity, requires the solution of additional partial problems. **Goal.** The goal is to develop and study the functional scheme of the transformer-rectifier unit with an automated output voltage control system for the installation of centrifugal cleaning of transformer oil. **Methodology.** Analytical methods of research, methods of the theory of electric machines and electric drives, and also methods of calculation of transfer functions of elements of the automated control systems and their dynamic characteristics are

used. **Results.** The structural scheme of the transformer-rectifier unit with the automated control system of the output voltage of the installation for cleaning transformer oil on the basis of the electric drive of the increased frequency is developed. Calculations of transfer functions of elements of the offered automated control system of the transformer-rectifier unit are executed and its dynamic characteristics are investigated. **Originality.** The scheme of the transformer-rectifier unit for installation of centrifugal cleaning of transformer oil with the electric drive of the increased frequency is developed and investigated. **Practical value.** The introduction of centrifugal transformer oil cleaning units with a high-frequency electric drive will increase the reliability, economy and weight of such units. The calculations allow us to draw conclusions about the compliance of the proposed scheme of the transformer-rectifier unit with an automated voltage control system for reliability and dynamic characteristics of the requirements for the secondary power supply of the centrifugal oil cleaning installation.

**Keywords:** power transformer, transformer oil, automated control system, transfer function, dynamic characteristics.

**Tarasova Valentina**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Electrical Systems, tel. +38066-828-47-31, [val.vs.tarasova@gmail.com](mailto:val.vs.tarasova@gmail.com).

**Hnatov Andrii**<sup>2</sup>, Head of department, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com), orcid: 0000-0003-0932-8849

**Arhun Shchasiana**<sup>2</sup>, Doct. of Science, Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: [shasyana@gmail.com](mailto:shasyana@gmail.com), orcid: 0000-0001-6098-8661,

**Nechaus Andrii**<sup>2</sup>, Ph.D, Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, тел. +38 067-777-02-24, [a.nechaus@gmail.com](mailto:a.nechaus@gmail.com),

**Shymuk Dmytro**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Electrical Systems, тел. +38 066-458-81-29, [shimukds@gmail.com](mailto:shimukds@gmail.com),

**Bykova Olena**<sup>2</sup>, head lab., Vehicle Electronics Department, тел. +38 0665593053, [ae.hnadu@gmail.com](mailto:ae.hnadu@gmail.com),

<sup>1</sup>Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

<sup>2</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

## ВИЗНАЧЕННЯ ТАНГЕНЦІАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОДИНАРНОЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ У РЕЖИМІ ГАЛЬМУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Клименко В. І.<sup>1</sup>, Капский Д. В.<sup>2</sup>, Леонтъев Д. М.<sup>1</sup>,  
Куріпка О. В.<sup>1</sup>, Фролов А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Білоруський національний технічний університет

***Анотація.** В даній науковій роботі розглянуті особливості закручування пневматичної шини автомобільного колеса з одинарним ошиновуванням в режимі гальмування транспортного засобу на дорогах з низьким та високим коефіцієнтом тертя – ковзання. Виконаний аналіз моделі динамічної зміни кута закручування пневматичної шини в залежності від ковзання елементів протектора шини в плямі контакту з поверхнею дорожнього покриття, а також отримані результати імітаційного моделювання, які підтверджуються експериментальними дослідженнями. Запропонована емпірична залежність, яка враховує характер зниження величини кута закручування пневматичної шини на дорогах з високими зчіпними властивостями.*

***Ключові слова:** гальмове керування, гальмова система, кут закручування, активна безпека, ковзання транспортного засобу.*

### Вступ

У разі виникнення обставин, які можуть спричинити дорожньо-транспортну подію (ДТП) водії транспортних засобів застосовують екстрене гальмування, що призводить, як правило до блокування автомобільних коліс та формування на поверхні дорожнього покриття слідової інформації від пневматичних шин. У разі встановлення в гальмовому приводі робочої гальмової системи автомобіля автоматизованих систем регулювання гальмового зусилля слідова інформація від пневматичних шин може бути відсутня або слабо виражена, при цьому ефективність гальмування колісного транспортного засобу буде залежати від кутової деформації шини відносно поверхні дорожнього покриття, яке в свою чергу обмежується зчіпними властивостями в плямі контакту «шина-дорожнє покриття».

### Аналіз публікацій

З науково технічної літератури [1-5] відомо, що на ефективність гальмування транспортного засобу впливають такі зовнішні чинники як сила супротиву повітря, загальна гальмова сила, сила інерції транспортного засобу які збільшують пройдений гальмовий шлях транспортного засобу. Під час гальмування автомобільного колеса з одинарною ошиновкою в плямі контакту шини з поверхнею дорожнього покриття, виникає так зване реалізоване зчеплення  $f_x$  (питома гальмова

сила), яке можна визначити з рівняння (1).

Як показав аналіз наукової літератури [6-10], на розрахунок величини реалізованого зчеплення впливає багато чинників, які неоднозначно змінюють його [10-13] та ускладнюють імітаційні моделі, що описують характер зміни реалізованого зчеплення від проковзування пневматичної шини відносно поверхні дорожнього покриття.

$$f_x = \frac{R_x}{R_z}, \quad (1)$$

де  $R_x$  – гальмова сила, Н;

$R_z$  – нормальна (вертикальна) реакція поверхні дорожнього покриття, Н.

Аналіз робіт [7-8] показав, що уникнути проблем з впливом різних чинників на реалізоване зчеплення можна, якщо при моделюванні використати так звану «теорію кріпа», яка трансформує рівняння (1) в рівняння (2) шляхом заміни гальмової сили пружними характеристиками пневматичної шини.

$$f_x = \frac{C_x \cdot \xi_x}{R_z \cdot r_d}, \quad (2)$$

де  $\xi_x$  – кут закручування шини, рад;

$C_x$  – Крутильна жорсткість пневматичної шини, Н·м/рад;

$r_d$  – динамічний радіус колеса, м;

### Мета та постановка задачі

Метою роботи є удосконалення методу визначення кута закручування пневматичної шини одинарного автомобільного колеса в режимі його гальмування шляхом урахування особливостей впливу коефіцієнту тертя-ковзання на дорогах з високими зчіпними властивостями.

Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити:

– аналіз існуючих математичних залежностей, які моделюють кут закручування пневматичної шини;

– підвищити точність розрахунку кута закручування пневматичної шини шляхом модифікації існуючих залежностей;

– провести аналіз результатів за допомогою імітаційного моделювання у програмному комплексі *MatLAB*.

### Визначення розрахунку пружних характеристик пневматичної шини

При навантаженні на автомобільне колесо, яке належить діапазону  $R_z \in [500, 27000]$ , як показав аналіз науково технічної літератури [1], можна використати модифіковану залежність  $C_x$  у вигляді:

$$C_x = \left( 0,1 - \frac{B_0}{g \cdot C_x^{P_{\max}}} \cdot e^{-10 \cdot B_1 \cdot p^2} \right) \times \left( 1,5 \cdot R_z - 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot R_z^2 \right), \quad (3)$$

де  $p$  – тиск у шині, МПа;

$C_x^{P_{\max}}$  – експериментальне значення крутильної жорсткості шини при максимально допустимому тиску повітря в шині, Н·м/рад.

Коефіцієнти  $B_0$  та  $B_1$  в рівнянні (3) можна визначити з залежностей:

$$B_0 = \frac{C_x^{P_{\min}}}{e^{B_1 \cdot P_{\min}}}; \quad (4)$$

$$B_1 = \frac{\ln \left( \frac{C_x^{P_{\max}}}{C_x^{P_{\min}}} \right)}{P_{\max} - P_{\min}}, \quad (5)$$

де  $C_x^{P_{\min}}$  – експериментальне значення крутильної жорсткості шини при мінімально допустимому тиску повітря в шині, Н·м/рад;

$P_{\max}$  – максимально допустимий тиск повітря в шині, МПа;

$P_{\min}$  – мінімально допустимий тиск повітря в шині, МПа.

Модифікована залежність (3) дозволяє врахувати характер зміни крутильної жорсткості пневматичної шини від тиску в ній та вертикальне навантаження на неї.

Аналіз результатів моделювання за залежністю (3) показав (рис. 3 та 4), що запропонована залежність не суперечить експериментальним дослідженням, які отримано в роботі [3] (рис 5).

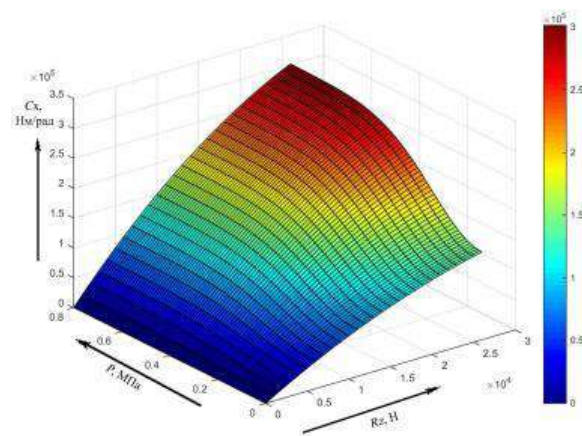


Рис. 3. Результат імітаційного моделювання зміни крутильної жорсткості пневматичної шини від вертикального навантаження на шину та тиску в шині

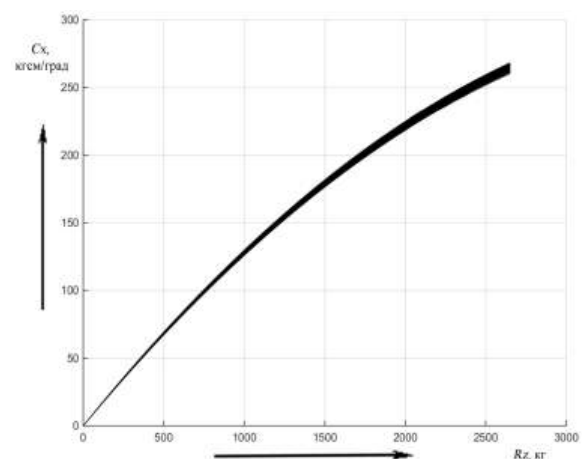


Рис. 4. Результат моделювання зміни крутильної жорсткості пневматичної шини 10.00R20 від вертикального навантаження при тиску в шині 0,5-0,8 МПа

Що стосується величини кута закручування шини в залежності (2), то аналіз науково технічної літератури [1, 4] показав, що

цей кут ( $\xi_x$ ) відносно різних поверхонь дорожнього покриття може бути описаний залежностями (8) та (9), якщо прийняти лінійну модель (рис 6) деформаційних характеристик пневматичної шини в плямі її контакту з поверхнею дорожнього покриття.

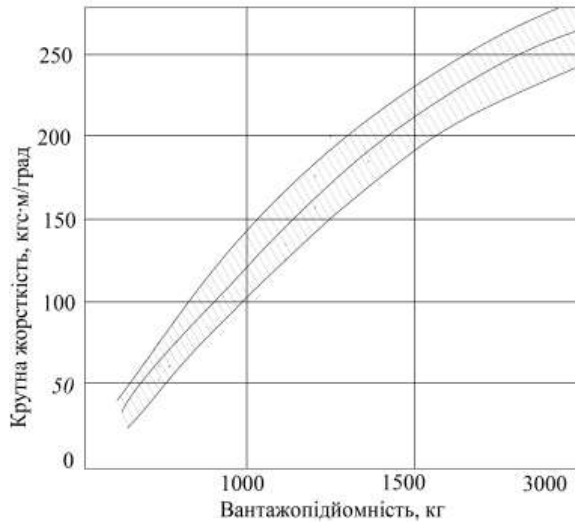


Рис. 5. Результат експериментальних досліджень зміни крутильної жорсткості шин різної вантажопідйомності [3]

$$\xi_x^{\max} = f_{\text{БЛ}} \cdot r_d \cdot (4,625 - 4,29 \cdot e^{0,0018 \cdot V_k}); \quad (8)$$

$$\xi_x^{\text{БЛ}} = 0,219 \cdot r_d \cdot f_{\text{БЛ}} \cdot e^{-0,01861 \cdot V_x}, \quad (9)$$

де  $V_k$  – швидкість автомобільного колеса, м/с;

$V_x$  – швидкість автомобіля, м/с;

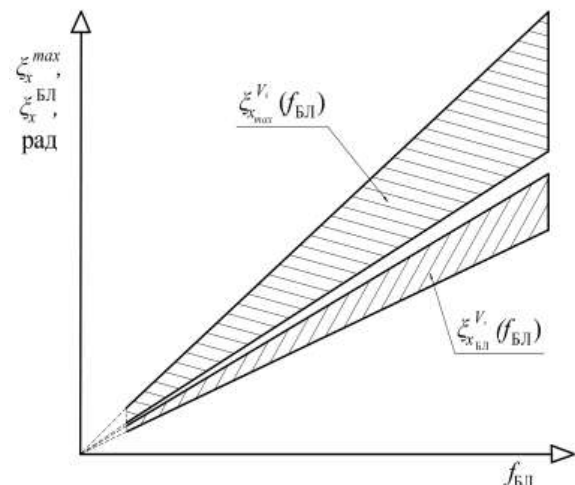


Рис. 6. Модель лінійної зміни кута закручування пневматичної шини в залежності від коефіцієнта тертя-ковзання шини відносно поверхні дорожнього покриття [2]

У загальному вигляді для опису характеру зміни реалізованого зчеплення в залежності від проковзування шини, в роботі [2] використовується залежність (10), яка з достатньою точністю [8, 9] описує фізичний характер зміни реалізованого зчеплення

$$\xi_x = \frac{a_0^\xi \cdot S}{b_0^\xi + c_0^\xi \cdot S + S^2}, \quad (10)$$

Коефіцієнти  $a_0^\xi$ ,  $b_0^\xi$ ,  $c_0^\xi$ , можна визначити з залежностей (11), (12), (13)

$$b_0^\xi = S_{\text{КР}}^2; \quad (12)$$

$$a_0^\xi = \frac{(\xi_x^{\max} - \xi_0) \cdot (\xi_x^{\text{БЛ}} - \xi_0) \cdot (1 - S_{\text{КР}})^2}{\xi_x^{\max} - \xi_x^{\text{БЛ}}}; \quad (11)$$

$$c_0^\xi = \frac{(\xi_x^{\max} - \xi_0) \cdot (1 + S_{\text{КР}}^2) -}{\xi_x^{\max} - \xi_x^{\text{БЛ}}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{-2 \cdot S_{\text{КР}} \cdot (\xi_x^{\text{БЛ}} - \xi_0)}{\xi_x^{\max} - \xi_x^{\text{БЛ}}}. \quad (13)$$

Аналізуючи науково-технічну літературу[] відомо, що кут закручування пневматичної шини  $\xi_0$  при вільному коченні колеса можна визначити з залежності (14) використовуючи положення «теорії кріпа» визначення якої прямопропорційно залежить від сили опору кочення автомобільного колеса у плямі контакту з поверхнею дорожнього покриття.

$$\xi_0 = \frac{R_{f_r} \cdot r_d}{C_x}, \quad (14)$$

де  $R_{f_r} = R_z \cdot f_0$  – сила опору кочення автомобільного колеса, Н.

З аналізу проведених експериментальних досліджень з робіт [3, 14] відомо, що коефіцієнт сили опору кочення автомобільного колеса у плямі контакту з дорожнім покриттям залежить від режиму у якому знаходиться транспортний засіб (режим вільного кочення або режим гальмування) максимальний коефіцієнт якого (рис. 7) може досягати  $f_0 = 0,02$ .

Для визначення коефіцієнту сили опору кочення автомобільного колеса у плямі з до-

рожнім покриттям автори робіт [15] зазначають що залежність (15), найбільш оптимальна для автомобільних коліс з діагональною та радіальною конструкцією:

$$f_0 = \frac{K}{10^3} \left( 5,1 + \frac{5,5 \cdot 10^5 + 90 \cdot R_z}{10^6 \cdot p} + \frac{1,1 \cdot 10^3 + 0,0388 \cdot R_z \cdot V^2}{10^6 \cdot p} \right), \quad (15)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який приймається для радіальних пневматичних шин 0,8, а для інших дорівнює 1,0 [15]

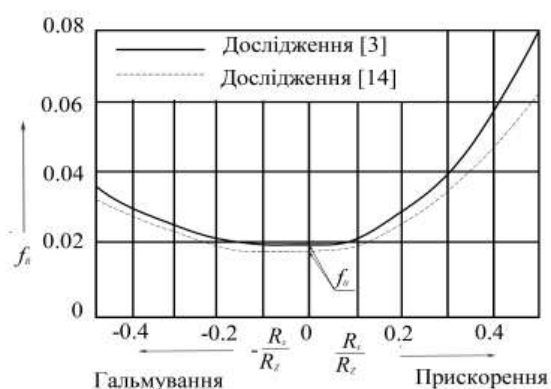


Рис. 7. Зміна коефіцієнту опору кочення колеса від реалізованого зчеплення під час дії гальмової або тягової сили

На основі аналізу експериментальних даних наведених в роботах [4, 5] щодо впливу вертикального навантаження на характеристику пневматичної шини, за допомогою залежності (14), визначимо кут закручування пневматичної шини  $\xi_0$ , при вільному коченні автомобільного колеса [7] за умови різного вертикального навантаження на шину. Результати розрахунків, для зручності аналізу, зведемо до таблиці 1. Аналізуючи структуру залежності (14) видно, що кут закручування пневматичної шини при вільному коченні автомобільного колеса прямо пропорційний силі опору коченню  $R_{fr}$ . Аналогічним чином враховуючи гальмову силу, яку можна отримати з експериментальних даних (рис. 8) наведених у роботі [5] можна визначити максимальний кут закручування пневматичної шини та кут закручування шини заблокованого колеса з відповідного рівняння (16) та (17).

$$\xi^{\max} = \frac{R_x^{\max} \cdot r_d}{C_x}; \quad (16)$$

$$\xi^{\text{БЛ}} = \frac{R_x^{\text{БЛ}} \cdot r_d}{C_x}. \quad (17)$$

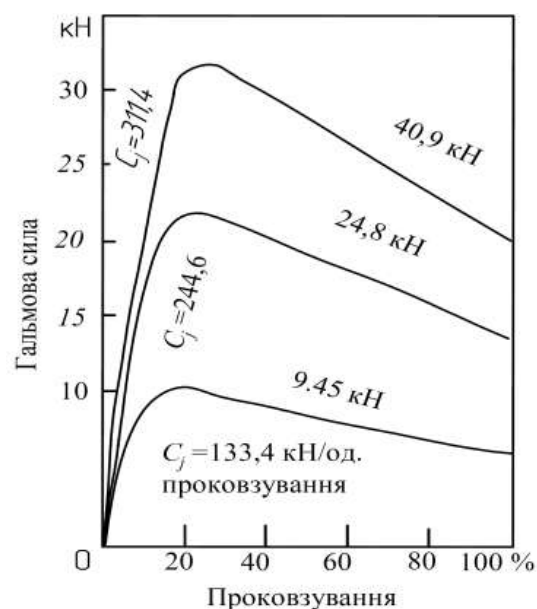


Рис. 8. Вплив вертикального навантаження на характеристику гальмування пневматичної шини 10-20 F на сухому асфальтовому покритті [5]

Таблиця 1 – Аналіз експериментальних досліджень [1, 4, 5] пневматичної шини вантажного автомобіля

10-R20 F					
$R_z$	$C_x$	$r_d$	$\xi_0$	$\xi_x^{\text{БЛ}}$	$\xi_x^{\max}$
40900	297080	0,49	0,0012	0,035	0,053
24800	248490		0,0008	0,029	0,042
9450	119520		0,0006	0,025	0,04

Враховуючи міркування авторів роботи [1], щодо нелінійного закручування пневматичної шини (рис 9) модифікуємо залежності (8) та (9) шляхом введення додаткових

коефіцієнтів, що відповідають результатам експериментальних досліджень зображених на рисунку 8. Модифіковані залежності (18) та (19) враховують більш інтенсивнішу зміну

кута закручування шини відносно поверхні дорожнього покриття при високих коефіцієнтах тертя – ковзання:

$$\xi_x^{\text{БЛ}} = (0,116 \cdot r_d \cdot f_{\text{БЛ}} \cdot e^{(-0,05233 \cdot V_k \cdot f_{\text{БЛ}})}); \quad (18)$$

$$\xi_x^{\text{max}} = f_{\text{БЛ}} \cdot r_d \cdot (2,312 - 2,14e^{(0,00216 \cdot V_a \cdot f_{\text{БЛ}})}). \quad (19)$$

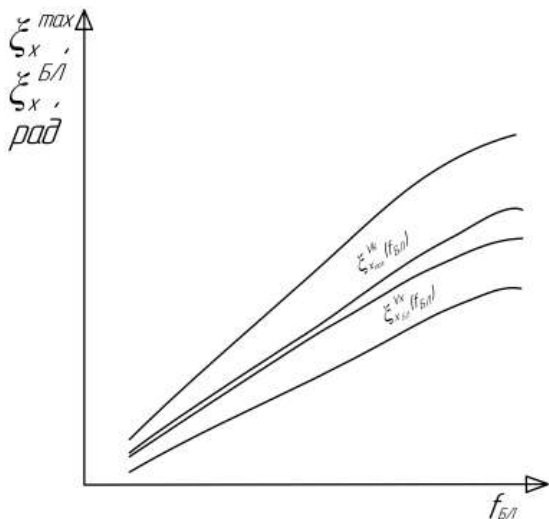


Рис. 9. Характеристика нелінійного закручування пневматичної шини у режимі гальмування КТЗ [1]

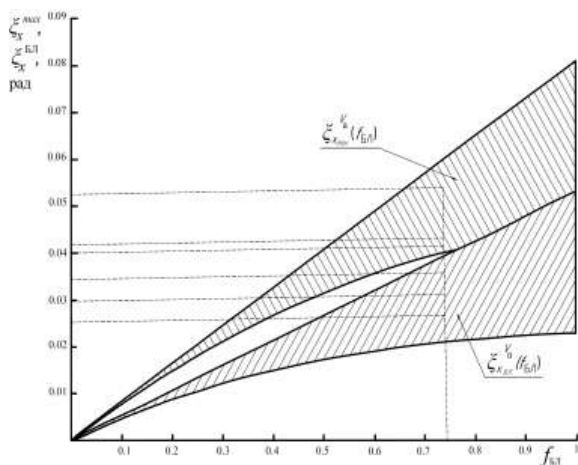


Рис. 10. Характеристика нелінійного закручування одинарної пневматичної шини (у режимі гальмування) в залежності від коефіцієнту тертя

Аналіз отриманих результатів моделювання характеру зміни кута закручування пневматичної шини колісного транспортного засобу відносно поверхні дорожнього покриття (рис 10) показав, що запропоновані залежності уточнюють положення теорії кріпа при розрахунку та імітаційному моделюванні та підтверджують нелінійний зв'язок між кутом закручування шини та поверхнею дорожнього

покриття [1, 4].

### Висновки

В роботі представлені залежності, які визначають пружні характеристики одинарної пневматичної шини під час різних режимів кочення автомобільного колеса з урахуванням тертя-ковзання на дорогах з високими зчірними властивостями.

На основі проведеного аналізу були запропоновані модифіковані залежності (18), (19), які уточнюють характер зміни кута закручування шини відносно поверхні дорожнього покриття при високих коефіцієнтах тертя-ковзання на 20 %.

Отримані результати імітаційного моделювання за запропонованою залежністю (3) визначають, що найвищих показників крутильної жорсткості пневматична шина досягає при тиску в шині 0,8 МПа та при вертикальному навантаженні на неї близько  $2,6 \cdot 10^4$  Н.

### Література

1. Богомолов В. А., Рижих Л. А., Леонтьев Д. Н., Красюк О. М., Михалевич Н. Г. Реализация интеллектуальных функций в электронно – пневматичном тормозном управлении транспортных средств. Харьков, 2015. 450 с
2. Левин М.А., Фуфаев Н.А. Теория качения деформируемого колеса. Москва, 1989. 272 с.
3. Кнороз В. И., Кленников Е. В., Петров И. П., Шелухин А. С., Юрьев Ю. М. Работа автомобильной шины. Москва, 1976. 238 с.
4. Рыжих Л. А., Леонтьев Д. Н., Быкадоров А. В. Определение продольной реализуемой силы сцепления автомобильного колеса с опорной поверхностью по крутильной деформации и ее жесткости. *Автомобильная промышленность*. Москва, 2014, Вып. 10. С. 20–24.
5. Вонг. Дж. Теория наземных транспортных средств. Москва, 1982. 284 с.
6. Фоминых А. Б., Жеглов Л. Ф. Характеристики широкопрофильной автомобильной шины на крупных неровностях. *Наука и образование МГТУ им Н.Э. Баумана*. Москва, 2015. Вып 11. С. 1–11.
7. Клименко В. И., Шуклинов С. Н., Леонтьев Д. Н. Анализ методов определения коэффициента сопротивления качению колес автомобиля. *Автомобильный транспорт*. Харьков, 2020, Вып 46. С. 33–39.
8. Leontiev D.N., Nikitchenko I.N., Ryzhyh L.A., Kuripka O.V. (2019) About Application the Tyre – Adhesion Determination of a Vehicle Equipped with an Automated System of Brake Proportioning. *Science and Technique*, Minsk, 5, 401-408.
9. Леонтьев Д. М., Михалевич М. Г., Фролов А. А. Вплив вертикального навантаження на



- гальмівну силу та коефіцієнт зчеплення шини автомобільного колеса. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. Харків, 2018, Вип. 18. С. 383 – 392.
10. Pacejka H.B., Besselink J.M. Magic Formula Tyre Model with Transient Properties. Lisse: Swets & Zeitlinger B.V., 1997. P. 234 – 249.
  11. Burckhardt M. Erfahrungen bei der Konzeption und Entwicklung des Mercedes-Benz, Bosch Anti-Blockier-Systems *Automobiltechnische Zeitschrift*. 1979. 5. P. 201–208.
  12. Mark Denny The dynamics of antilock brake systems. *European Journal of Physics*. 2005. № 6. P. 1007–1016.
  13. Леонтьев Д.М., Рижих Л.О., Бикадоров О.В. Методи розрахунку коефіцієнту зчеплення, що реалізується при коченні колеса в гальмівному режимі. *Автомобільний транспорт*. Харків, 2010. – Вип. 27. С.7–12.
  14. Samuel K.C. Mechanics of Pneumatic Tires. Washington, 1981. 942 p.
  15. Pauwels J., Dalhuijsen W., Merts M., Tyre dynamics, tyre as a vehicle component Part. Arnhem, 2007, 50 p.
- ### References
1. Turenko A. N., Mikhalyevych N. G., Leontiev D. N. (2015) Realizatsiya intelektualnykh funktsiy v elektronno – pnevmatichnom tormoznom upravlenii transportnykh sredstv. [Implementation of Intelligence Functions in Electronic-pneumatic Brake Control of Vehicles]. Monografiya [in Russian].
  2. Levin, M.A., Fufayev, N.A. (1989) Teoriya kacheniya deformiruemogo kolesa. [The theory of rolling deformed wheels]. Uchebnoe posobie. [in Russian]
  3. Knoroz V.I. Klennikov E.V., Petrov I.P., Sheluhin A.S., Yrev U.M. (1976) Rabota avtomobilnoy shinu [Car tire operation] Uchebnoe posobie. [in Russian].
  4. Ryzhykh L.A., Leontiev D.N., Bykadorov A.V. (2014) Opredelenie prodolnoy realizuemoy silyi stsepleniya avtomobilnogo kolesa s opornoй poverhnostyu po krutilnoy deformatsii i ee zhestkosti [Determination Longitudinal Tire using twist angle and stiffness properties of the tire]. *Avtomobil'naya Promyshlennost'*. Moscow, 10, 20-24 [In Russian].
  5. Wong J.Y. (1982) Teoriya nazemnykh transportnykh sredstv [Theory of ground vehicles] Uchebnoe posobie [In Russian].
  6. Fominykh A.B., Jeglov L.F., (2015) Harakteristiki shirokoprofilnoy avtomobilnoy shiny na krupnykh nerovnostyakh. [Wide – section Tire Features on Large Bumps] *Science and Education of the Bauman*. Moscow, 11, 1-11 [In Russian].
  7. Klimenko V.I., Shuklinov S.N., Leontiev D.N., (2020) Analiz metodov opredeleniya roeficienta soprotivleniya kacheniu koles avtomobila [Analysis of methods for determining the coefficient of rolling resistance of car wheels] *Avtomobilniy transport, Harkov*. 33 – 39 [In Russian].
  8. Leontiev D.N., Nikitchenko I.N., Ryzhyh L.A., Kuripka O.V. (2019) About Applicdction the Tyre – Adhesion Determination of a Vehicle Equipped withan Automated System of Brake Proportioning. *Science and Technique, Minsk*, 5, 401-408
  9. Leontiev D.N., Michalevich N.G., Frolov A.A., (2018) Vpliv vertikalnogo navantazhennya na galmivnu silu ta koefitsient zcheplennya shini avtomobilnogo kolesa. [Influence of Vertical load on Braking force tire adhesion coefficient of vehicle wheel]. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics. Harkov*, 18, 383-392.
  10. Pacejka, H.B., Besselink, I.J.M. (1997) Magic Formula Tyre Model with Transient Properties. Lisse: Swets & Zeitlinger B.V. 234 – 249.
  11. Burckhardt M. (1979) Erfahrungen bei der Konzeption und Entwicklung des Mercedes-Benz, Bosch Anti-Blockier-Systems *Automobiltechnische Zeitschrift*. 5. 201–208.
  12. Mark Denny (2005) The dynamics of antilock brake systems. *European Journal of Physics*. 6. 1007–1016.
  13. Ryzhykh L.A., Leontiev D.N., Bykadorov A.V (2010) Metodi rozrahunku koefitsiEntu zcheplennya, scho realizuEtsya pri kochenni kolesa v galmivnomu rezhimi.[Methods for calculating the coefficient of adhesion, which is realized when rolling the wheel in the brake mode] *Avtomobilniy transport, Harkiv*, 27, 7 – 12 [In Russian].
  14. Samuel K.C. (1981) Mechanics of Pneumatic Tires. Washington.
  15. Pauwels J., Dalhuijsen W., Merts M. (2007) Tyre dynamics, tyre as a vehicle component Part. Arnhem.
- Клименко Валерій Іванович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф., каф. Автомобілів ім. А.Б. Гредескула, valeriy.klimenko@gmail.com, тел. +38050-845-65-29, orcid: 0000-0002-7399-0397
- Капский Денис Васильевич**<sup>2</sup>, д.т.н., доц., каф. Автотракторного факультету, [d.kapsky@gmail.com](mailto:d.kapsky@gmail.com), тел. +375296865323, orcid: 0000-0001-9300-3857
- Леонтьев Дмитро Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. Автомобілів ім. А.Б. Гредескула, dima.a3alij@gmail.com, тел. +38 095-903-68-88, orcid: 0000-0003-4255-6317
- Куріпка Олександр Володимирович**<sup>1</sup>, аспірант каф. Автомобілів ім. А.Б. Гредескула, kuripkas199721@gmail.com, тел. +38 050-845-65-29, , orcid: 0000-0002-0550-7201
- Фролов Андрій Анатолійович**<sup>1</sup>, аспірант каф. Автомобілів ім. А.Б. Гредескула, [andrey5120@mail.ru](mailto:andrey5120@mail.ru), тел. +380988262198, orcid: 0000-0002-3868-4511
- <sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна,

м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

<sup>2</sup>Білоруський національний технічний університет, 220013, Республіка Білорусь, м. Мінськ, пр-т Незалежності, 65.

***Determination of Tangential Properties of a Single Pneumatic Tire in the Vehicle Braking Mode of a Vehicle***

**Abstract. Problem.** In the event of circumstances that may cause a traffic accident (accident), drivers apply emergency braking, which usually leads to the blocking of car wheels and the formation on the road surface of track information from pneumatic tires. If automated brake force control systems are installed in the brake actuator of the vehicle, the tracking information from the pneumatic tires may be absent or weak, and the braking efficiency of the wheeled vehicle will depend on the angular deformation of the tire relative to the road surface, which in turn is limited. coupling properties in the contact spot "tire-road surface". **Goal.** The aim of the work is to improve the method of determining the angle of twist of the pneumatic tire of a single car wheel in the mode of its braking by taking into account the effects of the coefficient of friction-sliding on roads with high traction. **Methodology** the peculiarities of twisting the pneumatic tire of a car wheel with a single busbar in the mode of vehicle braking on roads with low and high coefficient of friction - sliding are considered. The analysis of the model of dynamic change of the tire twist angle depending on the sliding of the tire tread elements in the spot of contact with the road surface is performed, and the results of simulation modeling are obtained, which are confirmed by experimental experiments. **Originality.** An empirical dependence is proposed, which takes into account the

nature of the decrease in the value of the angle of twist of the tire on roads with high traction properties.

**Practical value.** The obtained results of simulation modeling according to the proposed dependence determine that the highest indicators of torsional rigidity of the pneumatic tire are reached at a tire pressure of 0.8 MPa and a vertical load on it of about  $2.6 \cdot 10^4$  N.

**Key words:** Brake control, brake system, twisting angle, active safety, vehicle slip.

**Klimenko Valeriy<sup>1</sup>**, professor, Doct of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles named after A.B. Gredeskul, valeriy.klimenko@gmail.com, Tel. +38050-845-65-29 orcid:0000-0002-7399-0397

**Kapski Denis<sup>2</sup>**, Candidate of Technical Sciences, Automotive and Tractor Faculty d.kapsky@gmail.com, Tel. +375296865323, orcid: 0000-0001-9300-3857

**Leontiev Dmytro<sup>1</sup>**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles named after A.B. Gredeskul, dima.a3alij@gmail.com, Tel.+38 066-777-77-77, orcid: 0000-0003-4255-6317

**Kuripka Oleksandr<sup>1</sup>**, PhD., student, Tel.: +38 050-845-65-29, kuripkas199721@gmail.com, orcid: 0000-0002-0550-7201

**Frolov Andrii<sup>1</sup>**, PhD., student, Tel.:+380988262198, andrey5120@mail.ru, orcid: 0000-0002-3868-4511

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>2</sup>Belarusian National Tehnical University, 65, Nezavisimosty str, Minsk, 61002, Belarus.

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОСТІ ТА ПАЛИВООЩАДНОСТІ АТЗ З РОБОТИЗОВАНОЮ СХІДЧАСТОЮ ТРАНСМІСІЄЮ ЗА РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА

Гудз Г. С.<sup>1</sup>, Глобчак М. В.<sup>1</sup>, Пельо Р. А.<sup>1</sup>, Коцюмбас О. Й.<sup>1</sup>  
Національний університет «Львівська політехніка»

**Анотація.** Наведено результати порівняльних досліджень показників динамічності та паливоощадності автотранспортного засобу категорії N<sub>2</sub>, оснащеного двигуном з номінальними та ремонтними розмірами циліндрів. Для цього використано імітаційне моделювання руху автомобіля за наявності роботизованої східчастої коробки передач на їздових циклах, регламентованих стандартом.

**Ключові слова:** динамічність, паливоощадність, автотранспортний засіб, роботизована східчаста коробка передач, імітаційне моделювання.

### Вступ

Спосіб ремонтних розмірів [1] регламентує збільшення діаметрів гільз циліндрів через виконання технологічних операцій (розточування і хонінгування), що спричиняють збільшення робочого об'єму двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), а це, у свою чергу, призведе до зміни характеристики ДВЗ, а отже, й показників динамічності та паливоощадності автотранспортного засобу (АТЗ) [2].

Враховуючи взаємообумовленість вищезазначених показників незначне підвищення динамічності АТЗ, може суттєво вплинути на зниження паливоощадності/екологічності, і навпаки [3].

Відтак, обґрунтування доцільності застосування ремонтних розмірів буде більш переконливим, якщо, по-перше, режими роботи ДВЗ при реалізації АТЗ випробувального циклу переважно належатимуть зовнішнім (форсованим); по-друге, робота трансмісії унікатиме явища переривання потоку потужності під час перемикання передач; по-третє, дотримання заданої програми руху є обов'язковою умовою [4].

### Аналіз публікацій

Експлуатаційна придатність АТЗ залежить не лише від його потенційних можливостей, які закладені при його конструюванні, але й від того, як вони реалізуються в тих чи інших умовах [5].

Вплив різних чинників на експлуатаційні показники динамічності та паливоощадності АТЗ досліджувались у роботах [6-7], але вони передбачали використання традиційних східчастих коробок передач, тобто з перери-

ванням силового потоку в трансмісії під час перемикання. Задекларований в [6] принцип протиставлення вимог динамічності й паливоощадності підтримано, зокрема, й тому, що реалізація потенціалу АТЗ безпосередньо залежить від якості перехідних процесів у трансмісії під час перемикань.

Слід зазначити, що для трансмісії з розриванням силового потоку у статті [3] проведені аналітичні розрахунки паливоощадності АТЗ з дотриманням вимог стандарту ГОСТ 20306-90. Проте дані вимоги не завжди відповідають типовим програмам руху (міським, магістральним або змішаним). Отже, виникає певний інтерес проведення таких досліджень з метою виявлення рівня пристосованості до типових їздових циклів АТЗ, у складі якого розглядається система «ДВЗ - роботизована східчаста трансмісія» з використанням у ній ДВЗ з різними діаметрами циліндрів (Н-номінальними та Р-ремонтними).

Поширення в автомобільній техніці трансмісій з роботизованою механічною східчастою коробкою передач в своєму складі пояснюється раціональною її будовою, надійністю й довговічністю, вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД), задовільним рівнем технології виробництва й порівняно низькою вартістю [8]. Проте, вагомою перевагою застосування роботизованих трансмісій є, - якість аналітичного моделювання і, як результат, адекватність оцінювання основних експлуатаційних показників АТЗ з ДВЗ з різними діаметрами циліндрів у типових умовах експлуатації [9].

### Мета та постановка завдання

Метою даної роботи є порівняльна оцінка динамічності та паливоощадності АТЗ категорії  $N_2$  з двома варіантами ДВЗ, що мають вищезазначені розміри.

Для досягнення поставленої мети проведено комп'ютерне моделювання руху АТЗ з досліджуваними ДВЗ, що дає можливість урахування як безперервного протікання силового потоку під час перемикання роботизованої східчастої коробки передач (РКПП), так і з перериванням потоку.

### Особливості моделювання їздового циклу

Реалізація способу ремонтних розмірів циліндрів, без сумніву, вплине на динамічні та паливоощадні показники АТЗ та, цілком ймовірно, призведе до зміни характеристики ДВЗ. Проте, для ідентифікації цих показників аналітичними засобами доцільно застосувати роботизовану східчасту коробку передач.

Доцільність її застосування, на відміну від традиційної механічної, пояснюється, перш за все, покращеною динамікою розганяння, зокрема, за рахунок відсутності переривання силового потоку під час перемикань, а отже,

можливістю аналітично описати перехідні процеси.

Нині моделювання руху АТЗ утруднено у зв'язку з недостатньою базою кількісних оцінок і характеристик реальних умов експлуатації. Найважна методика моделювання типових маршрутів не враховує реальних взаємозв'язків між деякими складовими умов експлуатації (дорожніх, організаційно-технічних, кліматичних та транспортних чинників). Аналітичними засобами відтворити задекларовані програми руху АТЗ з будь якою трансмісією здебільшого будуть невдалими.

Їздовий цикл ГОСТ 20306-90 часто використовується для експериментальних досліджень паливоощадних і екологічних властивостей АТЗ категорій  $N_1$  та  $N_2$ . Імітаційне моделювання їздового циклу зручно проводити у програмному середовищі Matlab Simulink. Оскільки математична модель руху АТЗ в типовому їздовому циклі базується на достатньо простих математичних залежностях, то для її реалізації достатньо застосувати лише базові блоки, які доступні у згаданому програмному комплексі (рис.1).

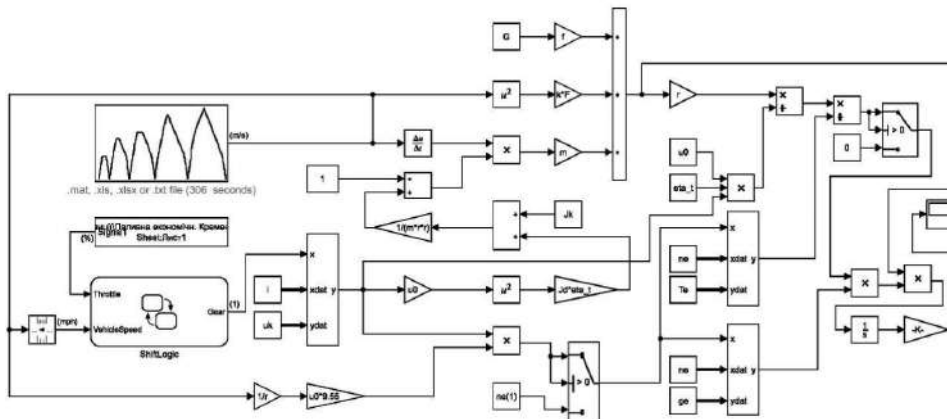


Рис. 1. Блок-схема програмного моделювання в Matlab Simulink

Динамічні та паливоощадні властивості АТЗ з роботизованою трансмісією можна реалізувати у повному обсязі, зокрема, обґрунтувавши режими перемикання передач впродовж розгону чи сповільнення АТЗ, навіть за умови дотримання заданої програми руху.

У статті [3] було розглянуто вплив зміни геометричних параметрів гільз циліндрів, отриманих внаслідок ремонту, на деякі експлуатаційні показники АТЗ, зокрема, на час руху та абсолютну витрату палива.

### Суміщення характеристик роботи системи «двигун-роботизована трансмісія»

Переконатись у покращенні динамічних показників АТЗ оснащеного ДВЗ з ремонтними розмірами циліндрів можна лише за умови суворого дотримання заданої програми руху. Для цього програму руху обирає водій, керуючись умовами та обставинами руху, а автомат перемикань передач її не коректує. Загалом умова дотримання заданої програми руху під час перемикань має доволі простий вигляд. Для цього потрібно, щоб

прискорення АТЗ на суміжних  $k$ -й та  $(k+1)$ -й передачах, належали одній і тій самій функції ( $j(t) = dv(t)/dt$ ), тобто  $j_k(t) = j_{k+1}(t)$ . Проте, дотриматись умови  $j_k(t_0) = j_{k+1}(t_0)$ , де  $t_0$  – мить перемикання передач, доволі важко. Для перехідних процесів у трансмісії АТЗ необхідний певний час  $\tau$ . Мінімізація значення  $\tau$ , без врахування наслідків такого перемикання, не може бути виправданою через ймовірність значних ударних навантажень [9]. Традиційно досліджують перехідні процеси в АТЗ з припущення виконання умови

$$j_k(t_0) = j_{k+1}(t_0 + \tau). \quad (1)$$

На еквівалентних режимах роботи ДВЗ на двох суміжних  $k$ -й та  $(k+1)$ -й передачах (рис. 2) лінія  $A-B-C-D-E-F$  унаочнює протікання режимів роботи ДВЗ під час реалізації фрагмента заданої програми руху  $v = v(t)$ .

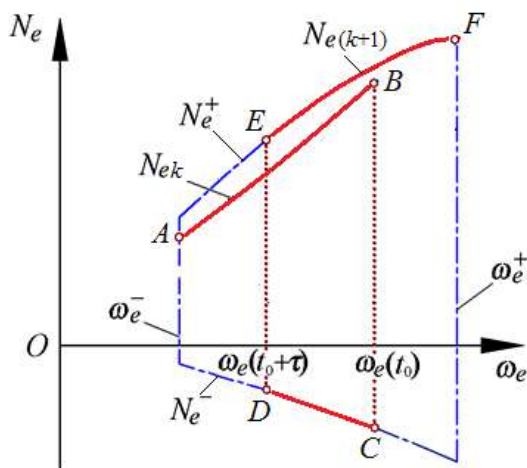


Рис. 2. Еквівалентні режими роботи ДВЗ на двох суміжних передачах

Відрізок  $C-D$  (рис. 2) належить еквівалентним режимам роботи двигуна під час перемикання передач тривалістю  $\tau$  роботизованої КПП без переривання силового потоку за оптимального значення коефіцієнта перекриття передач  $K_n=0,5$  [10]. Згадана імітаційна модель дозволяє дослідити процеси динаміки АТЗ не лише за ранніх чи пізніх перемикань, а також різних значень тривалості перемикань  $\tau$ .

Моделювання в Matlab Simulink перехідних процесів у роботизованій трансмісії автомобіля [10] на двох суміжних передачах

здійснювалось на основі динамічної моделі поданої на рис. 3 ( $\Phi_k$  і  $\Phi_{k+1}$  - фрикціони, що здійснюють перемикання;  $I_e$  - момент інерції мас трансмісії, пов'язаних з первинним валом коробки передач;  $I_a$  - момент інерції мас трансмісії між коробкою передач та головною передачею).

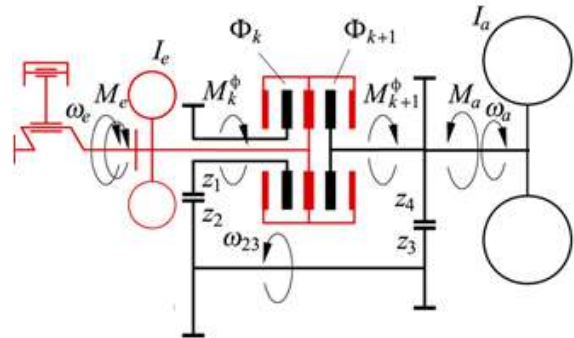


Рис. 3. Схема роботизованої трансмісії автомобіля з двох вищих сходинок

Відповідно до схеми, поданої на рис. 3 з системи рівнянь (2) і (3):

$$M_e - I_e \frac{d\omega_e}{dt} = M_k^\phi + M_{k+1}^\phi; \quad (2)$$

$$\frac{M_k^\phi}{u_k} + M_{k+1}^\phi = M_a, \quad (3)$$

впродовж перемикань тривалістю  $\tau$  можна синтезувати значення обертових моментів  $M_k^\phi$  і  $M_{k+1}^\phi$ , створюваних фрикціонами  $\Phi_k$  і  $\Phi_{k+1}$ . У рівнянні (3)  $u_k$  - передатне відношення  $k$ -ої передачі. Зауважимо, що на рис. 3  $(k+1)$ -а передача пряма, тобто  $u_{k+1}=1$ .

Роботизовані трансмісії з достатньою кількістю сходинок передач загалом зменшують тривалість розганяння АТЗ до максимальної швидкості (чи інтервалу швидкостей) за умови використання форсованих режимів роботи ДВЗ.

Бажання збільшити кількість передач механічної трансмісії не завжди виправдано. Очікуваного покращення динаміки розганяння АТЗ може й не бути. Збільшення кількості передач трансмісії, передовсім, вимагає корекції характеристик ДВЗ. За певних обставин краще застосувати інший за характеристикою ДВЗ, ніж збільшувати кількість пере-

дач. Слід пам'ятати, що необгрунтоване збільшення сходинок передач у першу чергу збільшує кількість власне перемикачів, а отже, збільшує динамічні навантаження на неї.

#### Оцінка показників динамічності й паливоощадності

У таблиці 1 наведені результати імітаційного моделювання їздового циклу за ГОСТ 20306-90 АТЗ категорії  $N_2$  з роботизованою трансмісією. Моделювання проводилось за умови повного використання потужності ДВЗ на ділянках розгону й, так званих, пізніх

перемикачів у трансмісії. З табл. 1 видно, що використання ДВЗ з ремонтними розмірами циліндрів (Р) має перевагу перед ДВЗ з номінальними (Н) за показником динамічності проходження ділянок циклу, проте, щодо паливоощадності, – перевага у ДВЗ з номінальним розміром циліндра.

Надавати перевагу пізнім перемикачам, з метою покращення динаміки розгону АТЗ до певної максимальної швидкості, слід за результатами окремих досліджень, поданих у таблиці 2.

Таблиця 1 – Результати моделювання руху АТЗ за різних діаметрів Н- та Р- розмірів

Ділянка	Швидкість на ділянці, $v_i$ , км/год	Тривалість проходження ділянки $t_i$ , с		Довжина ділянки $s_i$ , м		Абсолютна витрата палива $q_i$ , г	
		Н	Р	Н	Р	Н	Р
1	30	6,00	6,00	50	50	16,94	17,17
1-2	30-50	9,112	8,376	115,151	110,305	72,712	74,454
2	50	9,72	9,72	134,849	139,695	35,021	37,082
2-3	50-70	19,05	17,873	342,659	320,688	140,421	143,86
3	70	18,377	19,512	357,341	379,312	78,764	85,014
4	70-50	9	9	200	200	0	0
5	50	14,4	14,4	200	200	51,883	53,165
5-6	50-70	19,05	17,873	342,659	320,688	143,86	140,421
6	70	23,52	24,65	457,341	479,312	100,849	107,444
6-7	70-75	8,201	7,222	163,281	151,4	81,897	57,246
7	75	16,162	16,73	336,719	348,6	77,102	80,519
8	75-65	5	5	100	100	0	0
9	65	38,772	38,769	700	700	151,637	154,778
10	65-45	10	10	200	200	0	0
11	45	24,00	24,00	300	300	89,229	91,174
Всього		230,364	229,125	4000	4000	1040,315	1042,327

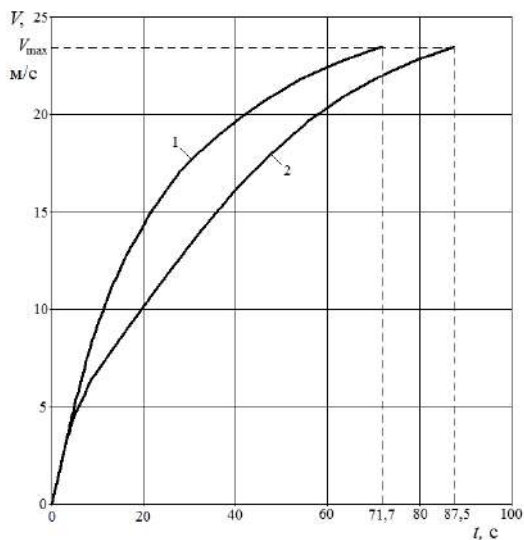
Таблиця 2 – Показники розгону АТЗ за різних режимів перемикачів

Розміри циліндрів ДВЗ	Шлях розгону, $S_p$ , м		Тривалість розгону, $T_p$ , с		Шляхова витрата палива розгону, $Q_p^S$ , л/100 км	
	ранні	пізні	ранні	пізні	ранні	пізні
Номінальний	1368	1210	87,5	71,7	67,9	74,1
Ремонтний	1249	1101	80,8	66,1	51,9	63,1

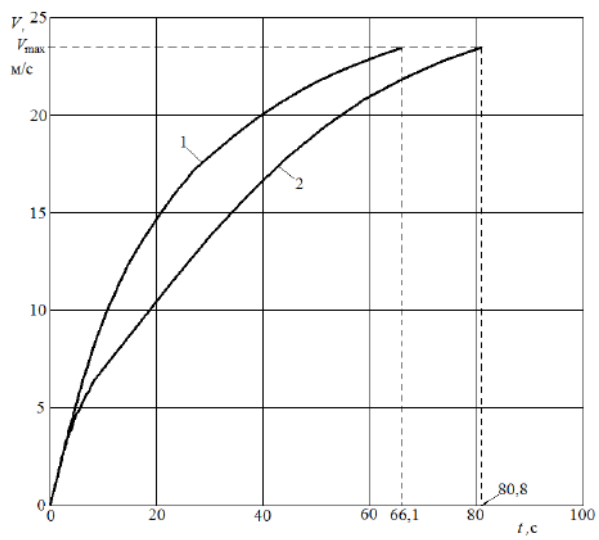
Тут, як й у попередніх дослідженнях, парадигма про те, що динамічність і паливоощадність взаємообумовлені, знову підтверджується. Проте, більш динамічне розганяння АТЗ з ДВЗ після ремонту виявляється й більш оощадним. В обох випадках дотримання АТЗ заданої програми руху є сумнівним, оскільки ДВЗ з номінальними чи ремонтними розмірами циліндрів працює за зовнішньою характеристикою, а отже відтворює

відповідну програму руху.

Мінімізувати тривалість процесу переривання силового потоку можна завдяки організації роботи фрикційних зчеплень з перекриттям у часі. Даний процес характеризують значення коефіцієнта перекриття передач  $K_n$ . На рис. 4 наведені графіки розгону АТЗ, відповідно, з пізніми (1) та ранніми (2) перемикачами, для яких  $K_n$  знаходиться в межах 0,5–1,0 за різних діаметрів циліндрів.



а



б

Рис. 4. Графіки розгону АТЗ з реалізацією пізніх (1) та ранніх (2) перемикачів: а – номінальний розмір; б – ремонтний розмір

### Висновки

Таким чином, результати досліджень показали, що залежно від вибору превалюючого показника (максимальна швидкість чи шляхова витрата палива), на нього в однаковій мірі впливає зміна діаметру циліндрів і типу РКПП.

За умови вибору кращої динаміки, доцільно застосовувати систему в складі «ДВЗ(Р)—РКПП( $K_n=0,5$ )». Реалізація даної умови забезпечить зменшення тривалості розганання.

У випадку необхідності мінімізувати витрату палива, слід надати перевагу системі у складі «ДВЗ(Н)—РКПП( $K_n=0,5$ )». Проте, це призведе до збільшення тривалості розгону.

В обох випадках деяке відхилення від заданої програми руху АТЗ пояснюється особливостями аналітичного моделювання в типових циклах (програмах руху). Проте на адекватність моделювання це впливатиме не суттєво.

### Література

1. Полянський О.С., Савченко Б.В., Байцур М.В. Технологія відновлення деталей та ремонту автомобілів. Харків: ХНАДУ, 2012. 320 с.
2. Гудз Г. С., Глобчак М. В., Коцюмбас О. Й. Вплив зміни розмірів ДВЗ на розгінні властивості автомобіля. Матеріали міжнар. симпоз. Укр. Інженерів-механіків у Львові. Львів, 2019. С. 65-67.
3. Гудз Г. С., Глобчак М. В., Коцюмбас О. Й., Пельо Р. А. Оцінка паливоощадності автомобіля внаслідок зміни розмірів циліндрів двигуна за наявності переривання силового потоку у трансмісії. Автомобільний транспорт.

2020. Вип. 46. С. 5–11.

4. ДСТУ UN/ECE R 83-05:2009 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження кількісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів (Правила ЕЖ ООН № 83-05:2005, IDT).
5. Грубель М. Г. Багатофакторна оцінка та нормування паливної економічності вантажних автомобілів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.02. Львів, 2008. С. 122.
6. Сахно В. П., Безбородова Г. Б., Маяк М. М., Шарай С. М. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність. Київ, КВІЦ, 2004. 174 с.
7. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля: підручник. Суми: Університетська книга, 2010. 320 с.
8. Тарасик В. П., Рынкевич С. А. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами: Монография. Минск: Технопринт, 2004. 512 с.
9. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем: учебник. Минск: Новое знание, 2013. 584 с.
10. Пельо Р. А. Підвищення паливоощадності автотранспортного засобу формуванням раціональних законів та алгоритмів перемикачів передачі трансмісії: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.02. Львів, 2019. 105 с.

### References

1. Polianskyi O. S., Savchenko B. V., Baitzur M. V. (2012) Tekhnolohiia vidnovlennia detalei ta remontu avtomobiliv [Technology of restoration of details and repair of cars] Kharkiv. KhNADU. [in Ukrainian]
2. Hudz G. S., Hlobchak M.V., Kotsjumbas O. I., (2019). Vpluv rosmiriv cylindriv DVZ na rozgin-



- ni vlastyivosti avtomobilia. [Impact of ICE cylinder dimensions changes upon the accelerating properties of the car]. *Mater. mizhnar. symp. ukr. inzh. mech u Lvovi*. Lviv. 65-67 [in Ukrainian].
3. Hudz H. S., Hlobchak M. V., Kotsiumbas O. Y., Pelo R. A. (2020). Otsinka palyvooshchadnosti avtomobilia vnaslidok zminy rozmiriv tsylindriv dvyhuna za naiavnosti rozryvu sylovoho potoku u transmisii [Evaluation of fuel efficiency of the car owing to change of engines cylinders dimensions under condition of force stream breaking in transmission] *Avtomobilnyi transport*. Kharkiv 46. 5–11. [in Ukrainian].
  4. DSTU UN/ECE R 83-05:2009 uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants depending on the fuel required for engines (UN ECE regulations No. 83-05:2005, IDT). [in Ukrainian].
  5. Hrubel M. G. (2008). Bahatofaknorna otsinka ta normuvannia palyvnoj ekonomichnosti vantazhych avtomobiliv [The multifactor evaluation of fuel economy standards trucks] : dis. na zdobuttia nauk. stup. k.t.n.: 05.22.02. Lviv, 2008. [in Ukrainian].
  6. Sakhno V.P., Bezborodova H.B., Maiak M.M., Sharai S.M. (2014) Avtomobili: Tiahovshvydkisni vlastyivosti ta palyvna ekonomichnist [Automobiles: Traction-speed characteristics and fuel efficiency] *Kvits*. Kyiv [in Ukrainian].
  7. Volkov V. P., Vil'skyi H.B. (2010) Teoriia rukhu avtomobilia [Car movement theory] *Univer-sytetska knyha*. Sumy. [in Ukrainian].
  8. Tarasik V. P., Rynkevich S. A. (2004) Intel'ektual'nye sistemy upravlenija avtotransportnyimi sredstvami [Intelligent vehicle control systems] *Monografija* [in Belarus].
  9. Tarasyk V. P. (2013) Matematycheskoe modelirovanye tekhnicheskikh system: uchebnyk [Mathematical modeling of technical systems: textbook] *Novoe znanye*. Mynsk [in Belarus].
  10. Pelo R. A. (2019) Pidvyshchennia palyvooshchadnosti avtotransportnoho zasobu formuvanniam ratsionalnykh zakoniv ta alhorytmiv peremykannia peredach transmisii [Increase of vehicle's fuel efficiency by formation of rational laws and algorithms of transmission gearshift]: dis. na zdobuttia nauk. stup. k.t.n.: 05.22.02. Lviv, 2019. [in Ukrainian].

**Гудз Густав Стефанович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобільного транспорту; [sgoodz@gmail.com](mailto:sgoodz@gmail.com); тел. 0505450960.

**Глобчак Михайло Васильович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доцент каф. автомобільного транспорту, [mykhailo.v.hlobchak@lpnu.ua](mailto:mykhailo.v.hlobchak@lpnu.ua), тел. 0972259100, orcid: 0000-0002-5742-9479.

**Пельо Роман Андрійович**<sup>1</sup>, к.т.н., ст. викладач каф. автомобільного транспорту; [pe-liorom70@gmail.com](mailto:pe-liorom70@gmail.com); тел. 0956329144; orcid: 0000-0002-9359-8931.

**Коцюмбас Олег Йосифович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент каф. автомобільного транспорту, [o.kotsjumbas@email.ua](mailto:o.kotsjumbas@email.ua); тел. 0972602090; orcid: 0000-0002-6590-4022.

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, 79013, Львів.

### **Comparative evaluation of dynamics and fuel efficiency indicators of the car with robotic stepped transmission under condition of different diameters of engine cylinders**

**Abstract. Problem.** Repair dimensions method regulates increment of cylinders by the means of mechanical treatment, which leads to increasing of working volume of the engine. This will cause a change of dynamics and fuel-efficiency indicators of the car with the certain type of transmission. **Goal.** The goal is to comparatively evaluate dynamism and fuel-efficiency of automotive vehicle category N2 with two options of engines, which have nominal and repair cylinder sizes. The riding cycle of the cars with robotic stepped gearbox was researched, that is without breaking of force stream while switching gears. **Methodology.** Imitative simulation of cars riding cycle, according to standard, was conducted with the help of Matlab Simulink software. Because of the fact that mathematical model of cars movement during mentioned cycle is based on elementary dependencies, for its realization the only basics available blocks of the software package were used. The flowchart is given in the paper. **Results.** Simulation of riding cycle of N<sub>2</sub> – category automotive vehicle with robotic gearbox was conducted at full engine's capacity while running-up. Obtained results have shown that engines with repairment sizes have advantage in dynamism indicators, engines with nominal cylinder sizes have advantages in fuel-efficiency. **Originality.** For obtaining of comparative evaluation of dynamics and fuel-efficiency indicators of the car with robotic gearbox with different engines, the imitation simulation of riding cycle, according to standards, was used with the help of Matlab Simulink software. **Practical value.** Application of the repairment sizes method upon the engine's cylinder liners has shown improvement of dynamics indicators of car with robotic transmission, which will improve its productivity under excessive engines work conditions.

**Keywords:** dynamics, fuel-efficiency, automotive vehicle, robotic stepped gearbox, imitative simulation.

**Hudz Hustav**<sup>1</sup>, professor, doct.of Science, professor Motor Vehicle Transport Department, [sgoodz@gmail.com](mailto:sgoodz@gmail.com), tel.+380505450960.

**Hlobchak Mykhailo**<sup>1</sup>, assoc. prof. Ph.D, assoc. prof. Motor Vehicle Transport Department, [mykhailo.v.hlobchak@lpnu.ua](mailto:mykhailo.v.hlobchak@lpnu.ua) tel. +380972259100, orcid: 0000-0002-5742-9479.

**Pelo Roman**<sup>1</sup>, assoc. prof. Ph.D, Senior Lecturer Motor Vehicle Transport Department, [pe-liorom70@gmail.com](mailto:pe-liorom70@gmail.com) tel. +380956329144, orcid: 0000-0002-9359-8931.

**Kotsjumbas Oleg**<sup>1</sup>, assoc. prof. Ph.D, assoc. prof. Motor Vehicle Transport Department, [o.kotsjumbas@email.ua](mailto:o.kotsjumbas@email.ua), +380972602090, orcid: 0000-0002-6590-4022.

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, st. S. Bandera, 12, 79013, Lviv.



## ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І КРИТЕРІЇВ СЕМАНТИЧНОЇ ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Плехова Г. А.<sup>1</sup>, Алісейко О. В.<sup>2</sup>, Кочуєва З. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>Харківський Національний Університет Радіоелектроніки

<sup>3</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

***Анотація.** Розглядається проблема розробки моделей і критеріїв семантичної еквівалентності даних за умови їх лексичної багатозначності стосовно до реляційних баз даних. У сучасному суспільстві зростає роль пізнання складних за структурою об'єктів. Це відбувається через неможливість або небажаності проведення експерименту на реальних об'єктах.*

***Ключові слова:** реляційна база даних, предметна область, параметризований або родовий тип даних, параметр на об'єкті, атрибут, домен.*

### Вступ

Розв'язок завдання створення і ефективного використання виробничого потенціалу в економічних системах пов'язано з проблемою оптимального розподілу ресурсів (в тому числі природних і інформаційних) на основі застосування математичних методів і використання сучасних інформаційних технологій.

Рівень організації доступу до даних спільно зі ступенем ефективності їх обробки є фундаментом сучасної інформаційної індустрії. Дані, що певним чином організовані в структури, є носієм семантичної інформації і повинні розглядатися як ресурс суспільства, який використовується для погодженого вирішення завдань управління.

Інформаційною основою вирішення цих завдань в рамках єдиного комплексу служить використання концепції баз даних, реалізація якої в середовищі реляційних моделей вважається перспективною.

### Мета та постановка задачі

Опис методів щодо підвищення ефективності функціонування таких систем за рахунок усунення семантичних аномалій пов'язаних з вирішенням завдання семантичної порівняльності структур даних. Його розв'язок дозволяє ефективно вирішувати проблеми нормалізації лексики мови опису предметної області (ПО) і взаємоузгодження завдань управління в рамках єдиного підходу.

Зводиться до розробки моделі семантичної еквівалентності даних, методів і критеріїв встановлення семантичної багатозначності імен атрибутів в реляційних базах даних, а також семантичної моделі концептуальної

схеми ПО, яка припускає порівняльність атрибутів РБД для даної ПО, формулювання поняття порівняльності атрибутів РБД для ПО.

Полягає у вирішенні засобами реляційної моделі завдання семантичної порівняльності атрибутів реляційних відношень, що дозволяє ефективно вирішувати проблеми запобігання операціям реляційної алгебри, які призводять до руйнації даних у зв'язку з багатозначністю лексичних і семантичних значень імен атрибутів.

### Аналіз публікацій

Щодо нормалізації лексики мови опису предметної області, та її відображення у іменах атрибутів реляційної моделі даних з метою запобігання операціям реляційної алгебри, які призводять до руйнації даних у зв'язку з багатозначністю лексичних і семантичних значень імен атрибутів наведено в [1-5]. Інформаційні системи 1-го покоління в закордонній літературі мають назву систем електронної обробки даних, а у вітчизняній – автоматизованих систем управління (АСУ) де для кожної задачі окремо готуються дані та розробляється модель запиту до них. Такому підходу властива інформаційна та математична надмірність. Типовими системами є системи керування запасами та системи нарахування зарплати. Такі системи – вузько прикладні та орієнтовані на автоматизацію робіт з паперами за рахунок комп'ютеризації великих масивів і потоків даних на операційному рівні. Ознакою таких систем є ефективна обробка запитів, використання інтегрованих файлів для зв'язку між собою завдань і генерація зве-

дених звітів. На цьому рівні не виникає проблем щодо підтримки семантики даних. Інформаційні системи 2-го покоління відомі за назвою «управлінських» (management information system). У вітчизняній літературі використовується термін «АСУ – концепція баз даних», де дані зберігаються незалежно від прикладних програм, що полегшує їх спільне використання, запобігає дублюванню. Спільне використання даних потребує підтримки семантичного значення даних із застосуванням можливостей СУБД. Системи підтримки прийняття рішень (Decision Support System) – це інформаційні системи 3-го покоління. Вони мають не тільки спільне інформаційне забезпечення, але й спільне математичне забезпечення – базу моделей, яка дозволяє запобігати дублюванню прикладних програм та має у своєму складі базу знань (метабаз даних) для зберігання інформації щодо даних та механізм виводу нових знань з наявних даних.

#### **Застосування моделей і критеріїв семантичної еквівалентності**

На основі вимог за різними методиками визначається обсяг проекту та його трудомісткість, розраховуються майбутні трудові витрати та визначається його ціна. Після уточнення вимог підписується контракт на розробку ПО.

Концептуальною та теоретичною основою побудови будь-якої системи баз даних є та або інша модель даних. Модель даних – це засіб абстракції, який забезпечує можливість інтерпретації даних, що заносяться або вилучаються з БД, відповідно до уявлень користувачів про ПО, яку відображає БД.

Визначено поняття порівнянності структур даних і розроблені критерії порівнянності атрибутів реляційної бази даних. З розширенням предметної області і збільшенням кількості користувачів завдання стає актуальним. Інтелектуальний аналіз даних РБД передбачає визначення еквівалентності атрибутів (відповідність чотирьом критеріям) і, як наслідок, дозвіл операції природного з'єднання в разі багатозначності лексики і семантики імен атрибутів зі збереженням цілісності даних. Відповідність одному з критеріїв відповідає їх порівнянності з точністю до домену, з точністю до типу об'єкта, з точністю до змісту на об'єкті. Інтелектуальний аналіз еквівалентності атрибутів здійснюється за допомогою наведених алгоритмів. Дані можуть бути представлені реляційним відношенням.

У моделях даних виділяють три функціональні компоненти: структурну (для визначення “логічної” структури даних), операційну (для задання припустимих операцій над даними) і компоненту обмежень цілісності (задає припустимі стани БД і окремих структурних одиниць даних, а також припустимі переходи між такими станами). Механізми кожної СКБД конструюються на основі певної моделі даних, реалізуючи відповідну мову обробки даних.

Мовні засоби СКБД зазвичай включають засоби визначення даних (реалізують структурний компонент і декларативні обмеження цілісності) і засоби маніпулювання даними (реалізують операції й процедурні обмеження цілісності). У реляційній моделі даних (РМД) основною структурною одиницею даних є парне ( $n$ -місцеве) відношення (назва моделі походить від англійського relation – відношення [2]).

Структури в РМД. Формально структурний компонент РМД задається четвіркою:

$$SRM = \langle R, D, A, dom \rangle,$$

де  $R$  – множина імен відношень;

$D$  – множина доменів;

$A$  – множина імен атрибутів;

$dom$  – відображення з  $A$  в  $D$ .

У кожному елементі четвірки  $SRM$  вихідними компонентами для структурної специфікації в РМД є домени, імена атрибутів і відображення з  $A$  в  $D$ . Кожний елемент  $D_i$  множини  $D$  називається доменом. Домен (від англійського domain – область) – іменована множина однорідних атомарних значень (найменших одиниць даних). Вибір доменів, взагалі, визначається уявленнями користувачів БД про предметну область, яка моделюється. Наприклад, це може бути множина прізвищ, множина дат, множина телефонних номерів тощо. (Домен може бути й нескінченною множиною). У сучасних реляційних СКБД домени зазвичай задаються з використанням вбудованих типів даних, таких як ЦІЛИЙ, ДІЙСНИЙ, ТЕКСТОВИЙ тощо. Для будь-якого елемента  $A_i$  множини  $A$  визначена множина значень атрибута, що збігається з одним з доменів. Таким чином, в РМД задається відображення  $dom: A \rightarrow D$  та пари  $\langle A_i, dom A_i \rangle$ , яка названа атрибутом з іменем  $A_i$  і областю значень  $dom_i$ . При цьому кожен атрибут відображається в один і тільки один домен.

Атрибути являють собою визначені властивості об'єктів (сутностей і зв'язків) предметної області, які мають для кожного об'єкта певні значення. Таким чином, кожний атрибут має ім'я й черпає свої значення з визначеного домену. У СКБД відповідність атрибута домену задається під час опису структури відношення.

Імена атрибутам користувач призначає самостійно, виходячи зі своїх інформаційних потреб та зазвичай, на жаль, існує багатозначність лексичного та семантичного значення між ім'ям атрибута та його семантичним значенням у ПО, що призводить до помилок у реляційних операціях природного з'єднання (Inner Join) та дає інструментів для інтеграції даних.

Нехай, наприклад, у моделі визначений домен  $PIK = \{1900, \dots, 2000, \dots\}$ , і відображення  $dom$  зіставляє атрибуту <Рік-Народження> домен <PIK>; тоді областю значень  $dom$  (Рік-Народження) атрибута є множина значень  $\{1900, 1901, \dots, 2000, \dots\}$ .

Вираз  $R_i(A_i, \dots, A_n)$  у структурній специфікації РМД називається носієм відношення. (Надалі для спрощення в позначеннях будемо вважати, що  $R_i$  визначає схему відношення з ім'ям  $R_i$ ). Кожній схемі відношення  $R_i$  модель співставляє множину кортежів декартового добутку  $r_i^* = dom A_i \cdot \dots \cdot dom A_n$ . Відношенням  $r_i$  зі схемою  $R_i$  у РМД називається всяка кінцева підмножина кортежів множини  $r_i^*$ . Таким чином, відношення в реляційному підході розглядається як реалізація схеми.

У кожний момент часу існування БД у ній міститься не більш, ніж одна реалізація схеми. Число  $n$  атрибутів відношення називається його ступенем («арністю»), а число кортежів – потужністю. Розробка додатків БД заснована на результатах аналізу предметної області (ПО) і концептуальних моделях ПО та БД. Процес проектування БД розпадається на етапи: змістовний аналіз ПО та вимог користувачів.

Перший етап є неформальним і завершується виявленням інформації, яку повинна містити БД і визначенням відносин між компонентами цієї інформації; концептуальне проектування.

Другий і наступні етапи є формальними. Етап завершується побудовою формалізованої концептуальної моделі ПО, визначеної в одній з нотацій. Традиційно для цього використовується модель “сутність – зв'язок” (ER – модель), у якій визначаються формальні

об'єкти та формальні правила підтримки цілісності даних;

– логічне проектування. На цьому етапі концептуальна модель у термінах ER – моделі відображується в реляційну модель;

– проектування реалізації. На цьому етапі здійснюється реалізація отриманої на третьому етапі моделі у вигляді схеми БД – з використанням мови визначення даних, БД починає своє фізичне існування;

– побудова формальної семантичної моделі БД для аналізу семантики атрибутів.

“Концептуальне розуміння” ПО так само, як і “концептуальне розуміння” відповідної БД, повинні описуватися деяким формальним способом. Засобом такого опису служать інфологічні моделі даних, орієнтовані на змістовний аналіз ПО (на відміну від датологічних моделей, призначених для побудови ефективних сукупностей даних, збережених у пам'яті обчислювальної системи).

Для побудови формалізованої концептуальної моделі ПО використовуються ER-модель і відповідна їй структурна компонента ER-моделі. У моделі використовується принцип семантичного моделювання, який припускає, що світ складається з об'єктів двох видів – сутностей і зв'язків [2].

Сутність (entity) – це деякий неподільний (атомарний) об'єкт ПО, який може бути чітко ідентифікований. Сутності можуть бути класифіковані за типами сутностей (абстракція узагальнення). Тип сутності є іменована множина сутностей. Кожному типові відповідає множина екземплярів даного типу (абстракція екземплярізації).

Зв'язок (relationship) – це агрегат сутностей. Типи сутності асоціюються за допомогою деяких іменованих типів зв'язку (агрегація на рівні типів). Сутності, включені у зв'язок, називаються її учасниками, а число учасників зв'язку – ступенем зв'язку. Зв'язок ступеня  $n$  називаються  $n$ -арним; при  $n=2$  зв'язок називається бінарним, а при  $n=3$  – тернарним. Сутності та зв'язки мають певні властивості.

Властивість (property) – це елемент інформації, що описує сутність або зв'язок. Сутності або зв'язки одного типу мають загальні властивості. Значення властивостей кожного типу належить деякій множині значень (домену). Таким чином, сутність і зв'язок можна розглядати як агрегат значень властивостей, а тип сутності або зв'язку – як агрегат властивостей.

При розробці критеріїв введемо термін, що характеризує властивість об'єкту сутності чи

зв'язку  $RO_i$  – ім'я ідентифікатора, що має сенс безлічі властивостей на об'єкті та термін  $[RO_i] = \langle RO_i, \{D_i\} \rangle$ , якій має назву ідентифікатора на об'єкті. У такому випадку атрибуту A1 та A2 відображають однакову властивість (Прізвище) з одного домену (ПІБ) але можуть відображати властивості різних об'єктів (Студент, Викладач).

Обмеження цілісності в ER-моделі задаються ключовими властивостями, типами відображень, залежностями за існуванням, а також визначеннями припустимих множин значень за допомогою формул логіки першого порядку. Ключем сутності називається не надлишкова підмножина властивостей, які однозначно ідентифікують сутність. Ключ зв'язку однозначно ідентифікує зв'язок. У ключ зв'язку, крім його власних ключових властивостей, повинна входити множина ключових властивостей сутностей, що агрегуються у зв'язок.

Відрізняють наступні типи відображень, що характеризують бінарний зв'язок: “один – до – одного”, “один – до – багатьох” і “багато – до – багатьох”. Одним з методів представлення семантичної моделі БД у графічному вигляді є ER-діаграма (ERD). Вона наочно відображає основні компоненти проекту БД. ER-діаграму можна розглядати як попередній проект БД, використовуваний для наступного відображення в “великі” відношення реляційної БД.

Процес відображення семантичної моделі в логічну схему є багатоваріантним, унаслідок чого його не можна повністю автоматизувати. У найпростішому випадку сильний тип сутності відображається в базове відношення; кожне з них буде мати потенційний ключ, відповідний до ключа сутності. Властивості сутності відображаються в атрибути відношення. У випадку, якщо серед властивостей сутності є багатозначне, то воно додається в ключ відношення; при цьому кожен екземпляр сутності представляється підмножиною кортежів відношення.

Кожний об'єкт зв'язок відображується в базове відношення. Первинним ключем відношення є комбінація первинних ключів агрегованих сутностей. Об'єкту ПО ставиться у відповідність абстрактний тип даних, а його імені – ім'я типу даних. Концепція інформаційного абстрагування і його підтримка механізмами роботи з абстрактними типами дозволяють розглядати об'єкт ПО як параметризований

ваний (або родовий) тип даних з якого конструюються підтипи родового типу. ПО складається з множини об'єктів:

$$T = \{TO_1, TO_2, \dots, TO_i, \dots, TO_r\},$$

де  $TO_r$  – параметризований або родовий тип даних виду:

$$TO_r(\{RO_1, RO_2, \dots, RO_s\}; \Omega_r)$$

і  $\Omega_r$  – безліч операцій на  $\{RO_i\}$ .

Кожен параметр  $\{RO_i\}$  на об'єкті  $TO_r$  може бути представлений множиною значень  $\{A_1, A_2, \dots, A_q\}$ .

З кожним ім'ям атрибута  $A_i \in A$ , де  $A$  – множина атрибутів схеми, пов'язана скінченна множина  $\{a_{ik}\}$  значень атрибута з ім'ям  $A_i$ , а з кожним ім'ям домену  $D_i \in D$ , де  $D$  – множина імен доменів РБД –скінченна множина його значень.

При цьому тип домену однозначно визначається його ім'ям.

Пару  $A_i, \{a_{ik}\}$ , яка називається атрибутом, позначимо  $[A_i]$ , а пару  $D_i, \{d_{ik}\}$ , яка називається доменом  $-[D_i]$ .

Тоді кожному  $[A_i]$  відповідає один і тільки один  $[D_j]$ , який містить всі допустимі значення.

Атрибут  $A_i$  пов'язаний з доменом  $[D_i]$  тоді і тільки тоді, коли  $\{a_{ik}\} \subseteq \{d_{ik}\}$ , тобто  $[A_i] \rightarrow [D_i]$ .

Множина  $A$  погоджена за типами з множиною  $D$  тоді і тільки тоді, коли кожен атрибут з ім'ям з  $A$  узгоджений з одним доменом з  $D$ :

$$A \Delta D \Leftrightarrow \forall [A_i], A_i \in \exists!$$

$$[D_k] \in D \& [A_i] \rightarrow [D_k],$$

$$TO_r(\langle RO_1, \{D_1, \dots, D_{n_1}\} \rangle, \dots,$$

$$\langle RO_s, \{D_1, \dots, D_{n_s}\} \rangle; \Omega_r).$$

Параметри об'єктів мають вигляд:

$$[RO_i] = \langle RO_i, \{D_i\} \rangle,$$

де  $[RO_i]$  – ідентифікатор;

$RO_i$  – ім'я ідентифікатора, що має сенс множини значень на об'єкті.

Інформаційна модель атрибута  $[A_{k,l}]$  схеми відношення

$$R_k \{A_{k,1}, A_{k,2}, \dots, A_{k,l}, \dots, A_{k,t}\},$$

де  $t$  – число атрибутів схеми з множини схем відношень бази даних;

$A_{k,l}$  – ім'я атрибута схеми  $R_k$  з індексом  $l = 1, 2, \dots, t$  містить деяку підмножину типів об'єктів  $V_{k,l} = \{TO_i, \dots, TO_j\}$ , з кожним з яких погоджено атрибут  $[A_{k,l}] \Delta V_{k,l}$ .

Пропонуються наступні критерії семантичного порівняння атрибутів реляційної бази даних:

1. Порівнянність атрибутів з точністю до зв'язку з доменом:

$$[A_k] : [A_l] \stackrel{D_k}{\Leftrightarrow} \stackrel{def}{([A_k] \rightarrow [D_k])} \wp$$

$$\wp([A_l] \rightarrow [D_k]) \wp^*(\Delta D).$$

2. Порівнянність атрибутів з точністю до імені ідентифікатора:

$$[A_k] : [A_l] \stackrel{RO}{\Leftrightarrow} \stackrel{def}{([A_k] \rightarrow [RO_i])} \wp [A_l] \rightarrow [RO_i],$$

$$[A_l] \rightarrow [RO_i] \stackrel{def}{\Leftrightarrow} (A_l \in [A_i]) \wp$$

$$\wp[RO_i] = \langle RO_i, [A_i] \rangle.$$

3. Порівнянність атрибутів з точністю до ідентифікатора:

$$[A_k] : [A_l] \stackrel{RO}{\Leftrightarrow} \stackrel{def}{\left( [A_k] : [A_l] \right)} \wp (\Delta D) \wp$$

$$\sum D_s \in D([A_k] \rightarrow [D_s]) \wp [A_l] \rightarrow [D_s].$$

4. Порівнянність атрибутів з точністю до типів об'єктів:

$$[A_k] : [A_l] \stackrel{TO_2}{\Leftrightarrow} \stackrel{def}{([A_k] \rightarrow [RO_i])} \wp$$

$$\wp [A_l] \rightarrow [RO_i] \wp (RO_k \in TO_2) \wp$$

$$\wp^*(RO_i \in TO_2).$$

### Висновки

Практичне використання методів аналізу семантичної порівнянності атрибутів і відношень РБД за умови неоднозначності лексичного і семантичного сенсу атрибутів, яке засноване на використанні критеріїв порівнянності атрибутів, дозволяє підвищити рівень доступу до даних при адмініструванні інформаційних баз даних стосовно предметних об-

ластей з багатозначною лексикою опису, здійснювати інтеграцію даних без попередньої нормалізації лексики мови опису ПО, а також і здійснювати підтримку семантичних обмежень цілісності і виведення нових закономірностей у предметній області.

Перспективи подальшого розвитку в цьому напрямку полягають у розробці та оцінці ефективних алгоритмів семантичної еквівалентності та порівнянності атрибутів та відношень РБД засобами реляційної моделі.

### Література

1. Варламов О. О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. Радио и связь. 2002. Т. 286.
2. Гури Н. И., Жук Я. А. Алгоритм подготовки текста обучающей информационной системы к семантическому анализу. Труды БГТУ. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. 2017. № 9 (200). С. 105-109.
3. Bordawekar R., Shmueli O. Using Word Embedding to Enable Semantic Queries in Relational Databases. Proceedings of the 1st Workshop on Data Management for End-to-End Machine Learning. ACM, 2017. № 5. С. 1-4.
4. Li N., Bai L. Transforming fuzzy spatiotemporal data from relational databases to XML. IEEE Access. 2018. Т. 6. С. 4176-4185.
5. Tang P., Pitera J., Zubarev D., Chawla N. V. Materials Science Literature-Patent Relevance Search: A Heterogeneous Network Analysis Approach. Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2017 IEEE International Conference, 2017. С. 146-154.
6. Алісейко О. В. Організація баз даних: практикум. Харків : Фоп Коряк, 2019. 51 с.
7. Алісейко О.В., Бабенко В.О., Чала Л.Е. Організація та проектування баз даних в інформаційних системах: навчальний посібник. Харків : Компанія СМІТ. 2010. 164 с.
8. Алісейко Е. В. Internet-Технологии в бизнесе: учебное пособие. Харьков : Компания СМІТ, 2014. 340 с.

### References

1. Varlamov, O. O. (2002). Evolyucionnyye bazy dannykh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektualnykh sistem. Mivarnoe informacionnoe prostranstvo. [Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems]. *Radio i svyaz*. [in Russian].
2. Gurin, N. I., & Zhuk, Ya. A. (2017). Algoritm podgotovki teksta obuchayushhej informacionnoj sistemy k semanticheskomu analizu. [Algorithm for preparing the text of the learning information system for semantic analysis]. *Trudy` BGTU. Seriya 3: Fiziko-matematicheskie nauki i informatika*. 9, 105-109 [in Russian].

3. Bordawekar, R., & Shmueli, O. (2017, May). Using Word Embedding to Enable Semantic Queries in Relational Databases. Proceedings of the 1st Workshop on Data Management for End-to-End Machine Learning. ACM. 5, 1-4.
4. Li, N., & Bai, L. (2018). Transforming fuzzy spatiotemporal data from relational databases to XML. IEEE Access, 6, 4176-4185
5. Tang, P., Pitera, J., Zubarev, D., & Chawla, N. V. (2017, October). Materials Science Literature-Patent Relevance Search: A Heterogeneous Network Analysis Approach. Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2017 IEEE International Conference, 146-154.
5. Tang, P., Pitera, J., Zubarev, D., & Chawla, N. V. (2017, October). Materials Science Literature-Patent Relevance Search: A Heterogeneous Network Analysis Approach. Data Science and Advanced Analytics (DSAA), 2017 IEEE International Conference, 146-154.
6. Aliseiko O.V. (2019). Organizacziya baz danikh: praktikum. [Organization of databases]. Kharkiv: Fop Koryak. [in Russian].
7. Aliseiko O.V., Babenko V.O., Chala L.E. (2010). Organizacziya ta proektuvannya baz danikh v i`nformaczi`nikh sistemakh: navchal`nii posi`bnik. [Organization and design of databases in information systems]. Kharkiv : Kompani`ya SMIT. [in Russian].
8. Aliseiko O. (2014). Internet-Tekhnologii v biznese [Internet-Technologies in business]: uchebnoe posobie. Khar`kov : Kompaniya SMIT [in Russian].

**Плехова Ганна Анатоліївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. Інформатики та прикладної математики, тел. +38 067-754-42-90, plehovaanna11@gmail.com.

**Алісейко Олена Вячеславівна**<sup>2</sup>, к.т.н., провідний науковий співробітник НДЧ ХНУРЕ, тел. +38 095-866-6576, alisejkoev@gmail.com

**Кочусва Зоя Анатоліївна**<sup>3</sup>, к.т.н., доц. каф. інтелектуальних комп'ютерних систем, тел. +38 050-013-78-28, kochueva@kochuev.com

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

<sup>2</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, 61000, Україна, м. Харків проспект науки, 14.

<sup>3</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, Україна, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

#### **Application of semantic models and criteria equivalence of data to increase efficiency functioning of economic systems**

**Abstract. Problem.** *In modern society, the role of modeling as a way of cognizing objects with complex structures is growing. The problem of development of*

*models and criteria of semantic equivalence of data under the condition of their lexical ambiguity in relation to relational databases is considered. This is due to the impossibility or undesirability of conducting an experiment on real objects. Modeling was initially applied in "well" studied subject areas (for which the basic laws of object interaction were already known. This knowledge made it possible to set a priori the class of used models of the subject area and reduce the task to setting the model parameters according to the available experimental data. A fundamental change in the modeling scheme occurred during the transition to the development of modeling systems for "weakly" formalized subject areas, where the structure itself and the class of applicable models must be refined in the course of research. The widespread use of relational DB and their use in a wide variety of applications shows that the relational data model is sufficient for modeling domains. **Results.** The purpose of developing criteria is to prevent relational algebra operations on attributes with lexical and semantic ambiguity. Methods of developing methods and criteria are based on the use of mathematical methods and the use of modern information technology. The scientific novelty is to solve the problem of semantic comparability of relational relations attributes by means of relational model, which allows to effectively solve problems of prevention of relational algebra operations, which lead to data destruction due to ambiguity of lexical and semantic meanings of attribute names. The practical significance lies in the development of methods for organizing access to data in large subject areas, which together with the degree of efficiency of their processing serve as the foundation of the modern information industry and normalizes the vocabulary of subject area description and coordination of management tasks within a single approach.*

**Key words:** *relational database, subject area, parameterized or generic data type, object parameter, attribute, domain.*

**Pliekhova Ganna**<sup>1</sup>, Assoc. Prof. Department of Computer Science and Applied Mathematics, tel. +38 067-754-42-90, plehovaanna11@gmail.com.

**Alisejko Olena**<sup>2</sup>, Research part of the Kharkov Institute of Radio Electronics, tel.+38 095-866-6576, alisejkoev@gmail.com.

**Kochuieva Zoia**<sup>3</sup>, Assoc. Prof. Department of Intelligent computer systems, tel. +38 050-013-78-28, kochueva@kochuev.com

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>2</sup>Kharkiv Institute of Radio Electronics, 14, Nauki str., Kharkiv, 61000, Ukraine.

<sup>3</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"2, Kyrpychova str., 61002, Kharkiv, Ukraine.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ НА ПЕРЕКИДАННЯ

Поваляєв С. І.<sup>1</sup>, Сараєв О. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** В роботі розглянуто процес перекидання транспортних засобів в результаті наїзду на нерухому бічну перешкоду в результаті дії інерційних сил. Для складання математичної моделі було використане основне рівняння динаміки для обертального руху. Математична модель перекидання транспортного засобу записана у вигляді нелінійного однорідного диференціального рівняння другого порядку. Отримано аналітичний розв'язок цього рівняння, яке дозволяє визначити не лише умови перекидання транспортних засобів, а й інші параметри руху транспортного засобу від моменту початку підйому центру мас до моменту його максимального підйому в процесі перекидання. Для конкретного транспортного засобу отримані чисельні результати, які повністю відповідають фізиці процесу перекидання.

**Ключові слова:** дорожньо-транспортна пригода, транспортний засіб, бічна перешкода, перекидання, моделювання.

### Вступ

Кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП), пов'язаних з перекиданням транспортних засобів (ТЗ) у процентному співвідношенні невелике (до 9%), однак тяжкість їхніх наслідків значна, тому що травмування людей і значних ушкоджень ТЗ у цьому випадку неминучі. Перекидання ТЗ може відбуватися при втраті курсової (бічної) стійкості на криволінійній траєкторії руху, на негативних ухилах, внаслідок зіткнення або наїзду на перешкоду. Дослідження таких ДТП пов'язане із труднощами встановлення механізму перекидання, оскільки експертні методики розрахунку не завжди використовують підготовлені математичні моделі.

### Аналіз публікацій

Основними напрямками досліджень ДТП, пов'язаних з перекиданням транспортних засобів є визначення ступеню ризику перекидання транспортних засобів [1, 2] та визначення обставин ДТП, зокрема, визначення параметрів руху кожного транспортного засобу окремо [3, 4].

Протягом багатьох років одним з основних методичних вказівок для аналізу ДТП була робота під загальною редакцією професора Іларіонова В.А [5]. В цій роботі розглянуто випадки перекидання автомобіля при наїзді на бокову перешкоду (рис. 1 [5]) та на криволінійних ділянках дороги (рис. 2 [5]).

Відповідно розроблені математичні моделі призначені для визначення критичної швидкості ТЗ при наїзді на бічну перешкоду:

$$V_{кр} = \sqrt{254 \left( \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_{ц}^2} - h_{ц} \right)}; \quad (1)$$

та при русі автомобіля на повороті:

$$V_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{0,5B \pm \text{tg}\beta h_{ц}}{h_{ц} \pm 0,5\text{tg}\beta B} gR}. \quad (2)$$

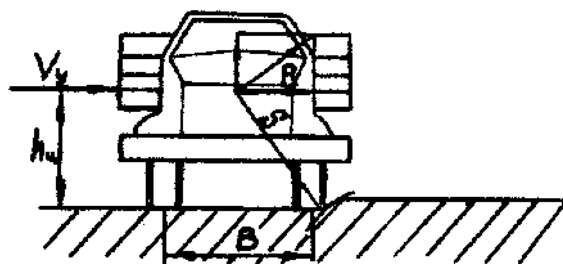


Рис. 1. Наїзд автомобіля на перешкоду

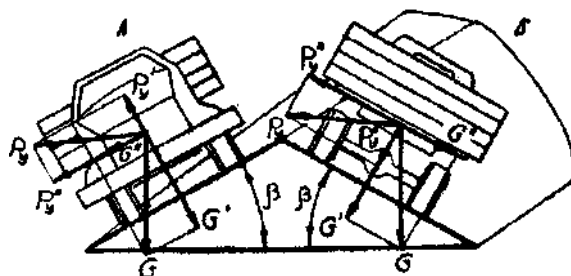


Рис. 2. Рух автомобіля на повороті

Більше сучасним методичним посібником з розслідування й експертизи ДТП є довідник

Євтюкова С.А., Васильєва Я.В. [6], де, зокрема, розглянута класифікація причин і завдань дослідження, пов'язаних з перекиданням ТЗ.

Загальним недоліком відомих експертних методів реконструкції ДТП, пов'язаних з перекиданням ТЗ, є відсутність точних математичних моделей процесу перекидання ТЗ. Моделювання процесу ДТП різко ускладнюється, якщо перекидання відбулося в режимі гальмування ТЗ, оскільки цей випадок потребує необхідності врахування ряду додаткових факторів, що впливають на оцінку параметрів руху ТЗ [7,8], та визначити початкову швидкість перед гальмуванням [9].

### Мета та постановка задачі

Метою дослідження є підвищення точності оцінки параметрів руху ТЗ у процесі розвитку ДТП.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити математичну модель механізму перекидання транспортного засобу;
- отримати чисельні результати для випадку перекидання конкретного транспортного засобу;
- провести аналіз отриманих результатів.

### Моделювання процесу перекидання транспортних засобів

Розглянуто процес перекидання транспортного засобу після бічного наїзду на перешкоду, наприклад, бордюр або колію (рис. 3).

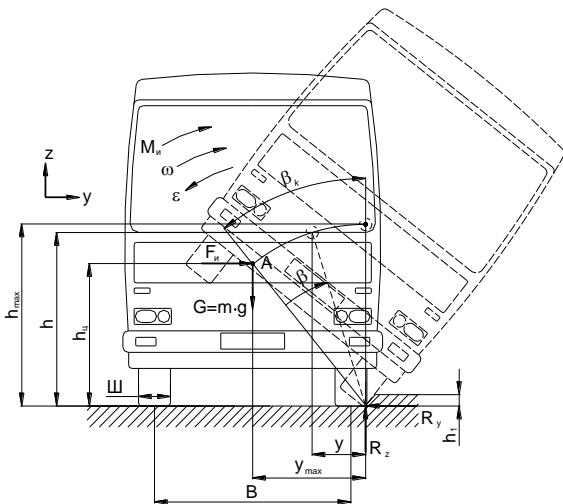


Рис. 3. Розрахункова схема при моделюванні процесу перекидання транспортних засобів

На рис. 3:

$F_{и}$  – сила інерції в бічному напрямку (виникає при наїзді колеса на нерухому бічну перешкоду);

$G$  – сила тяжіння;

$m$  – маса ТЗ, кг;

$M_{и}$  – момент сил інерції;

$R_y, R_z$  – поперечна та вертикальна реакції в плямі контакту колеса з опорною поверхнею (точці перекидання);

$B$  – колія ТЗ;

$\Pi$  – ширина профілю шини колеса;

$h$  – висота центра мас ТЗ при перекиданні (змінюється від значення  $h_{ц}$  до  $h_{max}$ );

$h_1$  – висота бічної перешкоди;

$\omega$  и  $\epsilon$  – кутова швидкість і прискорення (уповільнення) ТЗ;

$\beta$  – кут повороту ТЗ при перекиданні (змінюється від 0 до значення  $\beta_k$ ), який можна визначити за формулою:

$$\beta_k = 90^\circ - \arctg\left(\frac{2 \cdot h_{ц}}{B + \Pi}\right). \quad (3)$$

При перекиданні на ТЗ діють момент сил інерції, що виникає в результаті уповільнення ТЗ, і момент сили тяжіння навколо точки перекидання (дорівнює  $m \cdot g \cdot y$ ). В процесі перекидання плече сили тяжіння змінюється від  $y_{max}$  (початок підйому центра мас транспортного засобу) до 0 (досягнення центром мас ТЗ крайнього верхнього положення [10]).

Мінімальну (критичну) швидкість, при якій відбудеться перекидання ТЗ можна знайти на підставі закону збереження енергії. Відповідно до закону збереження енергії повна енергія ТЗ до перекидання дорівнює повній енергії ТЗ у момент перекидання:

$$\begin{aligned} \frac{m \cdot (V \cos \gamma)^2}{2} + \frac{m \cdot (V \sin \gamma)^2}{2} + m \cdot g \cdot h_{ц} &= \\ = \frac{m \cdot (V \cos \gamma)^2}{2} + m \cdot g \cdot h_{max} + E_{деф.1} + E_{деф.2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $V$  – швидкість руху ТЗ перед перекиданням, м/с;

$\gamma$  – кут наїзду ТЗ на бічну перешкоду, рад;

$E_{деф.1}$  – енергія, що поглинена пружною деформацією кузова ТЗ, Дж;

$E_{деф.2}$  – енергія, що поглинена пружною деформацією шин ТЗ, Дж.

Максимальну висоту підйому центра мас ТЗ можна отримати за формулою:



$$h_{\max} = \sqrt{\left(\frac{B + III}{2}\right)^2 + (h_{\text{ц}})^2}. \quad (5)$$

Як правило, енергією, що витрачається на пружну деформацію елементів ТЗ, можна знехтувати. Тоді, з виразу (4) можна отримати критичну швидкість ТЗ при якій відбувається його перекидання внаслідок удару колеса об нерухому бічну перешкоду:

$$V_{\text{кр}} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot (h_{\max} - h_{\text{ц}})}}{\sin \gamma}. \quad (6)$$

Вираз (6) дозволяє отримати критичну швидкість, при якій настає перекидання ТЗ внаслідок удару об бічну нерухому перешкоду.

Однак реальна швидкість руху ТЗ перед перекиданням може бути значно вище критичної швидкості (6), необхідної для перекидання ТЗ. Для подальшого вивчення механізму перекидання розглянемо механізм перекидання ТЗ від моменту відриву коліс ТЗ до моменту, коли центр ваги ТЗ буде на висоті  $h_{\max}$ .

Якщо записати рівняння динаміки для обертового руху ТЗ щодо точки перекидання, можна одержати математичну модель процесу перекидання ТЗ:

$$J \cdot \frac{d^2\beta}{dt^2} = -m \cdot g \cdot h_{\max} \cdot \sin(\beta_k - \beta), \quad (7)$$

де  $J$  – момент інерції ТЗ щодо точки перекидання, що може бути виражений через  $J_{\text{ц}}$  – момент інерції ТЗ щодо поздовжньої осі, що проходить через його центр мас:

$$J = J_{\text{ц}} + m \cdot h_{\max}^2. \quad (8)$$

Представимо диференційне рівняння (7) у вигляді:

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} + k \cdot \sin(\beta_k - \beta) = 0, \quad (9)$$

$$\text{де } k = \frac{m \cdot g \cdot h_{\max}}{J}.$$

У результаті розв'язання рівняння (9) при початкових умовах  $d\beta/dt(t=0) = \omega_0$  і  $\beta(t=0) = 0$  можна одержати вираження для визначення кутової швидкості як функції кута повороту у вигляді:

$$\frac{d\beta}{dt} = \sqrt{\omega_0^2 + 2 \cdot k \cdot (\cos \beta_k - \cos(\beta_k - \beta))} = \omega. \quad (10)$$

Вираження (10) дозволяє визначити зміну кутової швидкості в процесі перекидання ТЗ.

Початкову кутову швидкість перекидання ТЗ можна виразити через швидкість руху ТЗ на підставі закону збереження енергії, розглянувши момент переходу від поступального руху центра мас ТЗ до обертового руху ТЗ навколо точки перекидання. Оскільки зміна положення центра мас відсутня, потенційна енергія ТЗ не міняється, а кінетична енергія:

$$\frac{m \cdot (V \sin \gamma)^2}{2} = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2}. \quad (11)$$

Звідси початкова кутова швидкість перекидання ТЗ:

$$\omega_0 = V \sin \gamma \sqrt{\frac{m}{J}}. \quad (12)$$

Розв'язання рівняння (9) дозволяє також визначити час перекидання ТЗ як функцію кута повороту:

$$t = \int_0^{\beta} \frac{d\beta}{\sqrt{\omega_0^2 + 2 \cdot k \cdot (\cos \beta_k - \cos(\beta_k - \beta))}}. \quad (13)$$

Визначення інтеграла в правій частині вираження (13) аналітично приводить до значного ускладнення рішення, тому визначимо його чисельно, застосувавши кусочно-постійну апроксимацію функцій часу [11]:

$$t_n = \sum_{i=0}^n \frac{\Delta\beta}{\sqrt{\omega_0^2 + 2 \cdot k \cdot (\cos \beta_k - \cos(\beta_k - i \cdot \Delta\beta))}}, \quad (14)$$

де  $\Delta\beta$  – крок дискретизації по куту повороту,  $n=0..N$ ,  $N = \beta_k / \Delta\beta$ .

Вираз (14) дозволяє визначити час, за який відбудеться перекидання ТЗ.

Крім дослідницьких завдань у прямій постановці, таких, як визначення зміни кутової швидкості в процесі перекидання ТЗ (10) і часу, за який відбудеться перекидання ТЗ (14), розроблена математична модель дозволяє вирішувати зворотні завдання:

1. Визначити мінімальне (критичне) зна-

чення швидкості ТЗ, що приведе до його перекидання.

Для цього необхідно розглянути випадок хиткої рівноваги, при якому висота центра мас ТЗ  $h=h_{\max}$ . При цьому  $\beta = \beta_k$ ,  $\omega=0$ . У результаті з вираження (10) одержимо початкову кутову швидкість при перекиданні ТЗ:

$$\omega_0 = \sqrt{2 \cdot k \cdot (1 - \cos \beta_k)}. \quad (15)$$

Звідси з урахуванням (11) критична швидкість руху ТЗ у момент початку перекидання:

$$\begin{aligned} V_{\text{кр}} &= \frac{\sqrt{2 \cdot k \cdot (1 - \cos \beta_k)}}{\sin \gamma} \sqrt{\frac{J}{m}} = \\ &= \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\max} \cdot (1 - \cos \beta_k)}}{\sin \gamma}. \end{aligned} \quad (16)$$

З урахуванням того, що  $k=m \cdot g \cdot h_{\max}/J$ ,  $h_{\max} \cdot \cos \beta_k = h_{\text{ц}}$ , виходить тотожна рівність вираження (16) і (6), що підтверджує вірогідність результатів, отриманих різними методами.

2. Знаючи час перекидання ТЗ, визначити його реальну швидкість до перекидання на підставі виражень (14) і (11).

Як приклад для чисельного аналізу математичної моделі процесу перекидання ТЗ розглянемо автобус із наступними основними технічними характеристиками:

- висота центра мас ТЗ -  $h_{\text{ц}}=0,06$  м;
- колія ТЗ  $B=2$  м;
- ширина профілю шини колеса  $\text{Ш}=0,2$  м;
- маса ТЗ у спорядженому стані  $m=18000$  кг;
- момент інерції ТЗ щодо поздовжньої осі, що проходить через його центр мас  $J_{\text{ц}}=13478$  кг·м<sup>2</sup>.

Кут наїзду на нерухому бічну перешкоду прийемо  $\gamma=10^\circ$ .

У результаті чисельного моделювання отримано графіки зміни кутової швидкості від кута повороту  $\beta$  у процесі перекидання ТЗ (рис. 4). Графіки побудовані при початковій швидкості ТЗ 10, 15, 20 і 25 м/с.

Як видно з рис. 4, при збільшенні кута повороту  $\beta$  кутова швидкість перекидання ТЗ зменшується від початкового значення  $\omega_0$  до  $0 \text{ с}^{-1}$ . При цьому за час зменшення кутової швидкості до  $0 \text{ с}^{-1}$  ТЗ повертається на різний кут  $\beta$ . Якщо його величина не перевищує значення  $\beta_k=1,071$  рад, при якому центр мас ТЗ займає крайнє верхнє положення, ТЗ повернеться в початкове положення й перекидання

не відбудеться (криві 1 і 2).

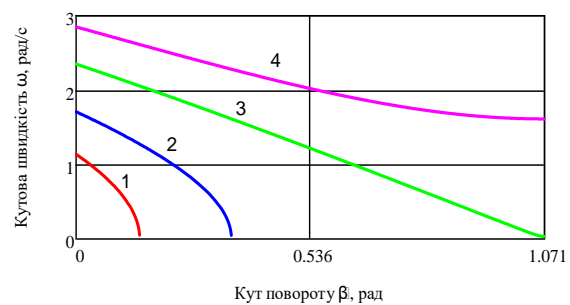


Рис. 4. Зміна кутової швидкості ТЗ при перекиданні

У випадку, якщо за час повороту ТЗ на кут  $\beta=\beta_k$  кутова швидкість не зменшилась до 0, відбудеться перекидання ТЗ (крива 4). Швидкість, при якій за час повороту ТЗ на кут  $\beta=\beta_k$  кутова швидкість зменшилась до 0 є критичною швидкістю ТЗ по перекиданню (крива 3).

Дана математична модель дозволяє також визначити час перекидання ТЗ (час, за який центр мас ТЗ переміщується з початкового положення в крайнє верхнє положення) як функцію швидкості ТЗ (рис. 5).

При збільшенні поздовжньої швидкості в момент початку перекидання ТЗ від 0 до значення критичної швидкості по перекиданню (рис. 5) час перекидання дійсних значень не має (значення інтеграла (13) перебувають у комплексній площині). Фізично це означає, що перекидання ТЗ не відбулося. Після перевищення поздовжньої швидкості ТЗ значення, що відповідає критичній швидкості ТЗ по перекиданню, час перекидання зменшується зі збільшенням поздовжньої швидкості ТЗ.

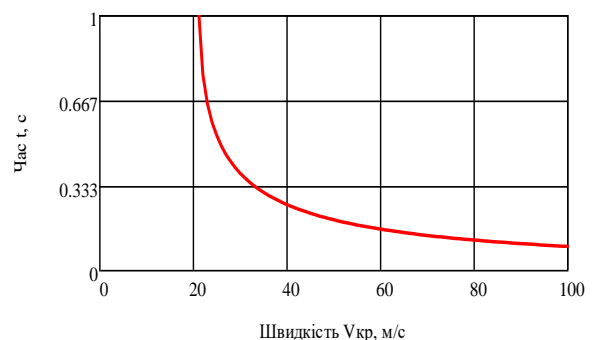


Рис. 5. Час перекидання ТЗ

На рис. 6 показано як залежить критична швидкість ТЗ, що приводить до його перекидання, від величини кута наїзду на бічну перешкоду.

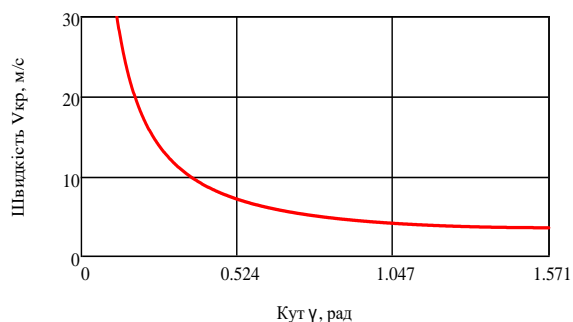


Рис. 6. Критична швидкість ТЗ при перекиданні

Як видно з рис. 6, з ростом величини кута наїзду на бічну перешкоду від 0 до 1,571 рад, що відповідає діапазону від 0 до 90°, мінімальна швидкість ТЗ, що приводить до його перекидання, зменшується.

### Висновки

Таким чином, за допомогою розробленої математичної моделі можна визначити як умови перекидання транспортних засобів, так і дослідити зміну основних параметрів руху транспортних засобів з початку підйому центра мас транспортного засобу до моменту підняття його на максимальну висоту.

Результати розрахунку критичної швидкості відповідно до розробленої математичної моделі повністю узгоджуються з результатами, що отримані на основі закону збереження енергії.

Отримано чисельні результати моделювання процесу перекидання транспортного засобу. Аналіз цих результатів свідчить про їх відповідність фізиці процесу перекидання транспортних засобів.

### Література

- Li B., Bei S. Research Method of Vehicle Rollover Mechanism Under Critical Instability Condition. *Advances in Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 11(1). P. 1–11. DOI: 10.1177/1687814018821218.
- Imine H., Benallegue A., Madani T. Rollover risk prediction of heavy vehicle using high-order sliding-mode observer: experimental results. *IEEE T. Veh. Technol.* 2014. Vol. 63. P. 2533–2543.
- Kurakina E., Evtyukov S., Lukinskiy V., Ushakov A. Methodology for the reconstruction and investigation of causes of accidents in the parameters of vehicle condition and road environment. *Transp. Res. Procedia*. 2017. Vol. 20. P. 185–192. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.049
- Viba J., Liberts G., Gonca V. Car rollover collision with pit corner. *Transport*. 2009. Vol. 24(1). P. 76–82. DOI: 10.3846/1648-4142.2009.24.76-82
- Судебная автотехническая экспертиза: в 2 ч. / под ред. научн. руков. В.А. Иларионова. Ч. 2. Москва: Министерство юстиции СССР,

1980. 490 с.

- Евтюков С. А., Васильев Я. В. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Санкт-Петербург: Издательство ДНК, 2004. 280 с.
- Saraiev O., Gorb Y. A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car. *SAE Technical Paper*. 2018-01-1893. P. 1-10.
- Danez S., Saraiev O. Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking. *Technology audit and production reserves*. 2018. Vol. 3/1(41). P. 22–28.
- Сараев А. В., Данец С. В. Методы исследования дорожно-транспортных происшествий с использованием современных автоматизированных средств. *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 3. С. 256–264. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-3-256-26
- Поваляев С.И., Сараев О.В. Моделирование механизма перекидания транспортного засобу в процесі розвитку дорожньо-транспортної пригоди. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2019. №20. С. 320-328.
- Янютин Е. Г., Янчевский И. В. Импульсные воздействия на упругодеформируемые элементы конструкций. Харьков, 2001. 184 с.

### References

- Li B., Bei S. (2019) Research Method of Vehicle Rollover Mechanism Under Critical Instability Condition. *Advances in Mechanical Engineering*. 11(1). 1–11. DOI: 10.1177/1687814018821218.
- Imine H., Benallegue A., Madani T. (2014) Rollover risk prediction of heavy vehicle using high-order sliding-mode observer: experimental results. *IEEE T. Veh. Technol.* 63. 2533–2543.
- Kurakina E., Evtyukov S., Lukinskiy V., Ushakov A. (2017) Methodology for the reconstruction and investigation of causes of accidents in the parameters of vehicle condition and road environment. *Transp. Res. Procedia*. 20. 185–192. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.049
- Viba J., Liberts G., Gonca V. (2009) Car rollover collision with pit corner. *Transport*. 24(1). 76–82. DOI: 10.3846/1648-4142.2009.24.76-82
- (1980) Sudebnaja avtotehnicheskaja ekspertiza [Judicial autotechnical examination]: v 2 ch. / pod red. nauchn. rukov. V.A. Ilarionova. Ch. 2. Moskva: Ministerstvo justicii SSSR [in Russian]
- Evtjukov S. A., Vasil'ev Ja. V. (2004) Rassledovanie i jekspertiza dorozhno-transportnyh proisshesstvij [Investigation and examination of road traffic accidents]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo DNK. [in Russian]
- Saraiev O., Gorb Y. (2018) A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car. *SAE Technical Paper*. 01. 1893. 1-10.
- Danez S., Saraiev O. (2018) Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking. *Technology audit and production reserves*. 3/1 (41). 22–28.

9. Saraev A. V., Danec S. V. (2019) Metody issledovaniya dorozhno-transportnyh proissheshtvij s ispol'zovaniem sovremennyh avtomatizirovannyh sredstv [Methods of research of road traffic accidents with the use of the modern automated tools]. *Nauka i tehnika*. 18(3). 256–264. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-3-256-26 [in Russian]
10. Povalyayev S.I., Sarayev O.V. (2019) Modelyuvannya mekhanizmu perekydannya transportnoho zasobu v protsesi rozvytku dorozhn'o-transportnoyi pryhody [Modeling of the mechanism of vehicle overturning in the process of development of road traffic accident]. *Teoriya ta praktyka sudovoyi ekspertyzy i kryminalistyky*. 20. 320-328. [in Ukrainian]
11. Janjutin E. G., Janchevskij I. V. (2001) Impul'snye vozdejstviya na uprugodeformiruemye jelementy konstrukcij [Impulse impacts on elastically deformable structural elements]. Har'kov. [in Russian]

**Поваляев Сергей Иванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. деталей машин і ТММ, [povalyaevsi@ukr.net](mailto:povalyaevsi@ukr.net), тел. +38 097-199-23-31,

**Сарасв Олексій Вікторович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобілів, [sarayev9@gmail.com](mailto:sarayev9@gmail.com), тел. +38 050-275-51-59, <https://orcid.org/0000-0001-6582-560X>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

#### Mathematical model for estimation the stability of the vehicle's motion on overturning

**Abstract. Problem.** During the reconstruction of the circumstances of road traffic accidents with vehicles overturning, difficulties arise with determining the parameters of vehicles in the process of their overturning. This is due to the fact that the recommended calculation methods are often simplified. The main focus of such techniques is to determine the minimum speed of vehicles, which leads to their overturning. In fact,

the speed of vehicles before overturning can be significantly higher. **Goal.** This paper is dedicated to developing mathematical model of overturning vehicles that makes possible to determine not only the conditions for overturning vehicles, but also other parameters of the vehicle movement in the process of overturning. **Methodology.** The overturning of the vehicle occurs as a result of the action of inertial forces after collision with an immovable side obstacle. In this case, the moment from the force of gravity of the vehicle keeps it from overturning. In the process of overturning the vehicle, the moment from the force of gravity decreases due to the decrease in the arm of the force of gravity. To compile a mathematical model, the basic equation of dynamics during rotational motion was used. The mathematical model of a vehicle overturning is written in the form of a nonlinear homogeneous second order differential equation. An analytical solution of this equation is obtained. **Results.** Developed mathematical model makes possible to determine not only the conditions for overturning vehicles, but also other parameters of the vehicle movement from the moment the center of mass begins to rise to the moment of its maximum rise in the process of overturning. For a particular case, when the critical speed of a vehicle during its overturning is determined, the developed mathematical model fully corresponds to the mathematical model based on the law of conservation of energy. For a specific vehicle, numerical results were obtained that fully correspond to the physics of the overturning process.

**Key words:** road accident, vehicle, side obstacle, rollover, simulation.

**Povaliaiev Serhii**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. of Machine Parts and Theory of Mechanisms and Machines Department, [Povalyaevsi@ukr.net](mailto:Povalyaevsi@ukr.net), tel. 380971992331

**Saraiev Olexii**<sup>1</sup>, professor, Doct. of Science, Vehicle Department, tel. +38 050-275-51-59, <https://orcid.org/0000-0001-6582-560X>

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

## EXPERT STUDIES OF VIOLATIONS OF THE OPERATING CONDITIONS OF AUTOMOBILE ENGINES WHEN USING THEM IN AVIATION

Khrulev A. E.<sup>1</sup>, Sarayeva I. Y.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University

**Abstract. Problem.** The features of the design and operation of piston engines in general aviation are considered. Comparative analysis of design features and parameters of automobile and aircraft engines is carried out. It is shown that car engines, despite the high technical level achieved at the beginning of the 21st century, do not technically meet aviation requirements. At the same time, engines created on the basis of automobiles through their deep modernization meet aviation requirements, however, modernization and adaptation of a standard automobile engine to aviation use in terms of costs compared to the creation of a new engine. **Purpose.** Carry out research on the failure of automobile engines used in light aviation. **Methodology.** Rough calculations of the service life of an automobile engine were made based on standard driving tests and a flight plan. According to the results of calculations, it has been established that the resource of a standard automobile engine in aviation is reduced many times due to prolonged operation at high loads and rotational speed that are not characteristic of ordinary automotive applications. **Results.** Experimental data have been obtained on the actual failure of standard automobile engines in aviation during the operating time, significantly less resource of aircraft engines of well-known brands. Based on the results of the study, it was concluded that the use of general aviation automobile engines is economically ineffective due to a short resource and insufficient reliability. **Originality.** Modern automobile engines, despite their technical perfection, cannot be used in aviation, since they do not correspond to aviation operating conditions. At the same time, adaptation of automobile engines to aviation applications is possible, but requires significant design changes, which makes their single use, as a rule, technically impractical and economically ineffective. **Practical value.** Due to the fact that saving on an aircraft engine is unacceptable from the point of view of flight safety, the aviation use of automobile engines without special modernization carries excessive risks of failures and their consequences. As a result, serial aircraft engines Lycoming, Continental, Jabiru, ULPower, Rotax, Limbach and others have virtually no alternative in general aviation.

**Keywords.** transport, engine, diagnostics, malfunction, failure, driving cycle, expertise.

### Introduction

The task of equipping newly constructed aircrafts with an engine has been relevant, since the very first designs appeared [1]. It is usually solved in two ways – by creating a new engine, adhering to specific technical requirements for aircraft, or by selecting a suitable engine from existing ones [2, 3]. However, in general aviation the relatively low cost of an aircraft in some cases conflicts with the high price of serial aircraft piston engines and spare parts for them, causing technical and organizational difficulties in servicing them. This situation explains the ongoing attempts by some aircraft developers to find a cheaper alternative to mass-produced aircraft engines [4].

### Analysis of publications

It is known that the design of aircraft piston internal combustion engines received its very rapid development in aviation during the 2nd World

War. In that time the specific power of aircraft piston engines more than doubled, because it was a main condition for their effective aviation application [5].

As a result, by 1945 an extremely high and practically modern level of specific power of 70 hp / liter was achieved in aviation (British Napier engines). A typical aircraft piston engine has received its characteristic and preserved appearance to this day (Figure 1), including [1, 2, 7] lightweight aluminum or magnesium housing parts, a large number of cylinders (limitation of absolute sizes to suppress detonation at high specific power) and a low rotation speed (the need to coordinate the engine with a propeller, limit mass and increase the reliability of the gearbox).

In addition, it should be noted as a whole the extremely loaded construction of the parts in combination with expensive high-quality mate-



rials (in order to ensure a long durability at high specific power).

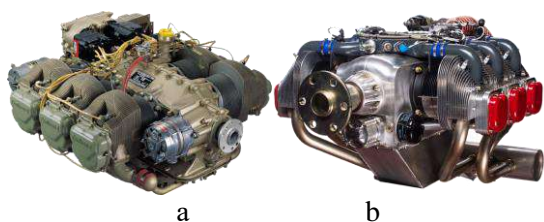


Fig. 1. Typical modern aircraft piston engines: a – design of the 30-40s of the 20th century (Continental); b – design of the beginning of the 21st century (ULPower).

### Purpose and problem statement

Table 1 – The main parameters of the most popular aircraft piston engines

Manufacture	Lycoming	Continental	Rotax	Jabiru	ULPower	Limbach
Power, hp	110-400	50-230	65-141	80-120	100-200	60-160
Rpm	2500-2800	2000-2700	5800	3300	3300	3000-3600
Year of design	1930	1930	1975	1995	2006	1970

All the aircraft engines in this class are boxer, 4-6-8-cylinder type, with lower camshaft (OHV) and cam follower rods; most of them are air-cooled with electronic fuel injection, and the most powerful are turbocharged.

The development of the automotive engines was different from aviation and rather slow. Typical features of automotive ICEs were [8] low specific power (20-30 hp/liter), heavy cast iron housing parts, lack of boost, carburetor fuel systems, as well as the use of design solutions that were not the best in terms of reliability, which is generally explained as the desire to minimize cost. As a result, the average automotive ICE of the 40-80s of the last century was generally unsuitable (with the exception of single models) for aviation applications, due to the complete discrepancy in specific parameters, not only because of the low specific power, but also due to the high specific gravity. Moreover, for more than half a century since the end of intensive research on the creation of new designs of piston ICEs for manned aircraft in the late 40s of the last century and until about 2000, the old aircraft engine designs were ahead of automotive ones. All this actually made attempts to use automotive ICEs in aviation ineffective or even technically unacceptable [9].

The aim of the work is to conduct research on the failures of automobile engines used in light aviation.

The main tasks of the work:

- determine the range and main technical characteristics of automobile engines that are used in small aircraft;
- estimate the service life of an automobile engine when operating as part of an aircraft power plant.

### Comparison of internal combustion engines for aviation and automotive applications

Currently there are several major manufacturers of piston engines for general aviation in the power range of 50-400 hp (Table 1).

However, by the end of the 20th century two accelerating factors had worked toward the development of automotive ICEs – the fuel and energy crisis (a gradual but significant increase in hydrocarbon fuel prices) and a serious tightening of environmental requirements. As a result, with a delay of about 50-60 years, automotive ICE caught up with and surpassed the old aircraft engine designs in most respects. So, the specific power of automotive engines has long exceeded 70 hp/liter, turbo- and supercharging has become extremely widespread, and light alloys for housing parts have finally replaced cast iron (even on relatively heavy diesels). In addition, the cheap elements that could reduce reliability have gradually disappeared from the designs [8, 10]. That is why with a delay of about half a century the automotive ICEs have acquired many features of aircraft piston engines (Figure 2), but at the same time very large series made the cost of automotive ICEs significantly lower than the cost of aircraft engines.

It is known that the most popular aircraft piston engines of the 40s for 75-80 years of production and operation have a long-established level of reliability, but are quite expensive. At the same time, the creation of new aircraft engines is problematic, since it is extremely costly. In such conditions, the question again arises of the

use of automotive ICEs in general aviation as a possible alternative and a way to save. It should be noted that despite the numerous attempts to apply automotive internal combustion engines in aviation, currently no uniform adaptation methods have been created and no universal recommendations have been developed for its implementation.

In accordance with this, the objective of the work is to obtain the data on the way the differences in operating conditions and modes as well as critical units and systems can affect the reliability of an automotive engine adapted to its application in aviation, as well as to analyze the features and prospects of the use of automotive ICEs in aviation.

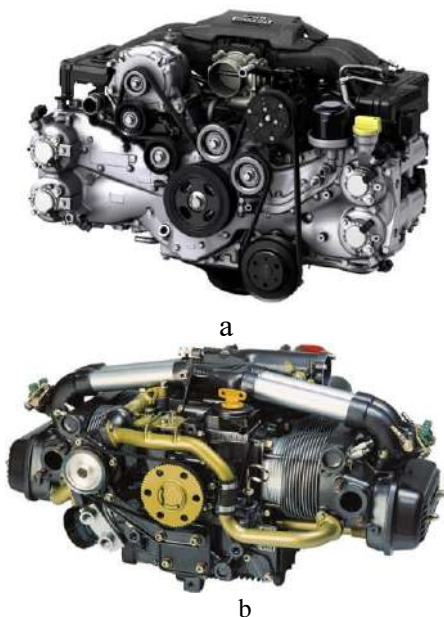


Fig. 2. Engines: a – Subaru car engine has examples of aviation applications; b – Limbach aircraft engine, created by the deep modernization of the old automotive boxer engine VW

Failure statistics for aircraft piston engines shows that about half of all failures occur in the mechanical part [11, 12]. In accordance with this, the design of the engine itself determines the possibilities of its application [13]. To identify differences in the design that may limit the engine application, it is necessary, first of all, to consider the basic requirements for piston engines for aviation. Such requirements can be formulated as the main typical design solutions that ensure the reliability of aircraft ICEs, including:

– drive of the valve mechanism – it requires high reliability, which is provided only by the gears. The belt and chain drives widely used in

automotive industry do not satisfy this requirement;

– piston materials – must localize damage and exclude complete engine failure due to damage in individual cylinders, which is achieved using special plastic piston materials. Well-known automotive piston alloys based on silumin do not meet such requirements;

– lubrication system – should solve the problem of uninterrupted oil supply to friction pairs under conditions of aircraft evolution. In aviation such requirements are met by a lubrication system with an oil tank and a dry sump, which is practically not found in mass-produced automotive engines;

– engine control system – in modern aviation it is an electronic system with high noise immunity and duplication of the functions (including with two spark plugs operating in parallel, and in some cases, fuel nozzles). Serial automotive designs, as a rule, do not meet these requirements.

As a result of all these inconsistencies, any attempt to use an automotive engine in aviation encounters design problems caused by the fundamental structural differences between automotive and aircraft ICEs. Moreover, the changes in the design of automotive ICE are technically difficult or even impossible, due to the fact that any such engine was originally created for other requirements.

This means that bringing such ICE to aviation requirements is practically equivalent to creating an aircraft engine again. And this entails new problems, namely, that a single engine of a unique design and its production are extremely expensive, a series is required for payback, but there is no necessary demand for it, because of the inability to compete in the market with traditional manufacturers [14]. In such conditions the creation of a new aircraft engine becomes almost impossible for economic reasons.

Nevertheless, the examples of applications of the automotive engines in aviation are currently known. These are the engines, including those made by VW, Porsche, Subaru, Honda and some other companies used mainly as prototypes. Such engines could be divided into 2 groups – aircraft ICEs, specially developed on the basis of automotive ones, and automotive ICEs, adapted in one way or another to application in aviation. Most of them are made according to the boxer scheme [15].

The first group should include Limbach serial aircraft engines, created on the basis of the

old automotive boxer 4-cylinder VW engine through its deep modernization (Figure 2). The Porsche 6-cylinder aircraft engine was made similarly (Figure 3). It is characteristic that the design of these ICEs, unlike the basic prototypes, meets all the aviation requirements listed above (including two independent ignition and fuel supply systems). Also, it is clear that behind such developments is usually a serious manufacturer, which implies a serious approach to the problem.

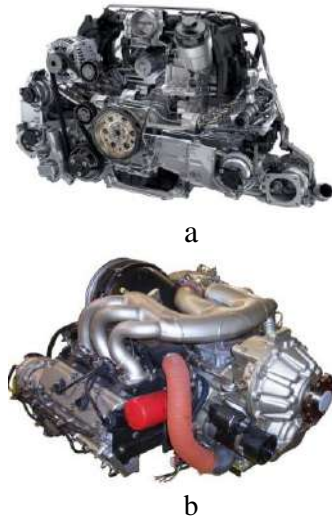


Fig. 3. Porsche air cooled 6-cylinder boxer engines: a – automotive; b – aircraft

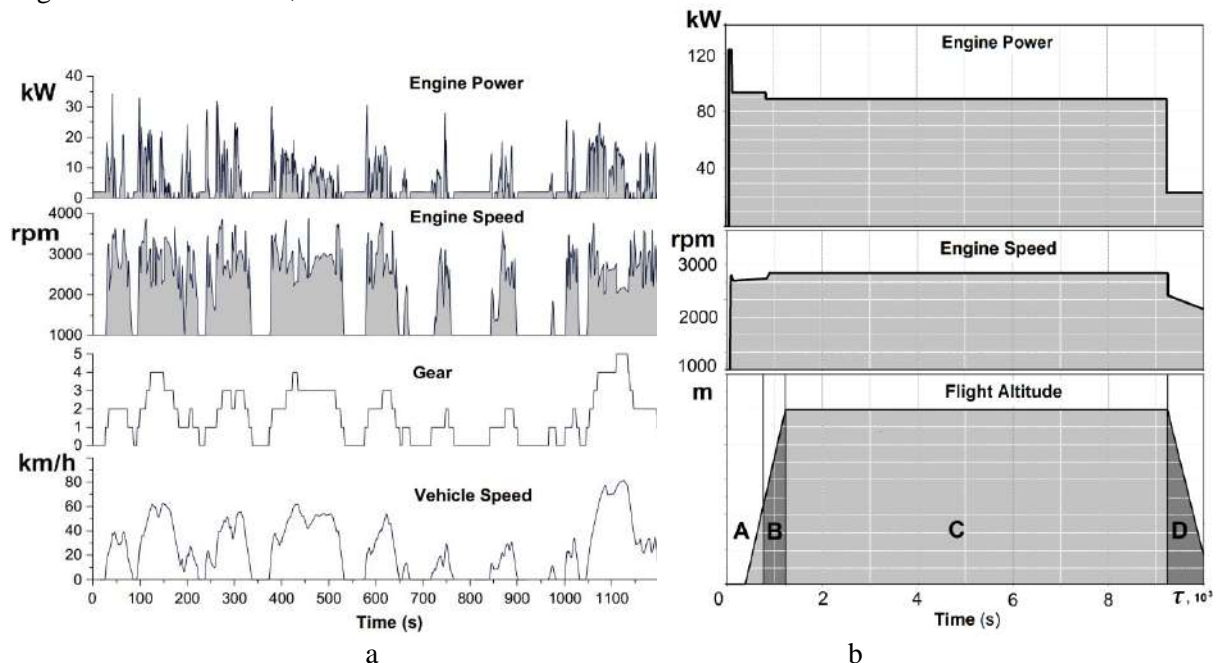


Fig. 4. The engine running modes by standard driving cycles (a) for automotive [17], in comparison with running modes by flight profile (b) on aircraft [18]: A – take-off, B – climb, C – cruise, D – landing

The flight profile of an aircraft is significantly different from the driving cycle [18]. The main

Unfortunately, none of this can be said about the engines of the second group. Their adaptation mainly concerns external connections and, as a rule, does not affect the internal components and parts [9].

Typically, such a simplified approach is caused by the desire of the aircraft developer to get maximum savings on engine costs. Usually this is due to a lack of his understanding of the aviation specifics [16], including the differences in the design and operating conditions of automotive and aircraft ICEs, and the wish to obtain savings at all the costs.

In fact, in this case we are talking about the inappropriate use of the engine in completely different conditions than were laid down during its design and production. From here one can already expect a significant difference in the durability of a particular automotive engine on a car and in the composition of an aircraft power plant. Moreover, this difference is completely obvious.

Indeed, in a car the engine runs on average at low speeds and with reduced loads. This can be seen at the EUDC standard driving cycles [17] used for fuel economy and emissions testing (Figure 4).

difference lies in the long-term operation at engine rated power. It follows that, in the general



case, the same engine will have a different resource when installed on different vehicles.

Appointment of an aircraft engine resource is a rather serious and expensive task, connected, inter alia, with lengthy tests. However, with the inappropriate use of an automobile internal combustion engine in an aircraft, such tests simply have no one to conduct and nowhere to be conducted. Nevertheless, in the first approximation a calculation can be made to determine how the resource of an automobile engine will change when it is installed on an aircraft.

For an engine installed in an automobile and an aircraft, using the above driving cycles and a typical flight plan, calculation the average values of the rotation speed and load can be made by the equation:

$$n_m, N_m = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_2} n, Nd\tau, \quad (1)$$

where  $n$  is rotation speed, rpm;

$M$  is the torque;

$\tau$  is the current operating time.

The usual automotive engine durability today is close to 100,000 km of a vehicle's mileage, provided that the resource is equal to the car warranty period. The average speed of the vehicle during testing is approximately 33 km/h [17], which corresponds to a service life of approximately 3,000 operating hours. From tests by driving cycle, not only the vehicle speed is known, but also the engine RPM and torque. Test data processing gives the average speed of 2160 rpm or 33% of the maximum rotation speed of 6500 rpm and the average load per cycle 38% of the maximum.

A completely different picture is observed when considering the aircraft flight profile (Figure 4). If we calculate the average flight parameters, then the engine operating mode in terms of

RPM will approach 90% of the maximum mode, and in terms of load it will be more than 62%. If, for an approximate estimate, it is assumed that the durability of the internal combustion engine is inversely proportional to the load and the rotation speed, then the automobile engine as part of the aircraft power plant will get a decreased resource, approximately 4.5 times less than in a car.

However, the real difference will be even greater. Under such conditions, which are close to those specified by the flight profile (Figure 4), an automotive ICE works only in sports [19], where, due to accelerated wear at high loads and rotation speeds, the durability is no more than 10-15% of the standard and specified by the manufacturer for normal road conditions (the normal life of a sports engine rarely exceeds one racing season, during this time the mileage of sport car is only a few thousand kilometers). Then, when installed on an aircraft, the same automotive engine must have a resource (by wear) of no more than 300 hours without design changes.

It is known that most aircraft piston engines have overhaul resource (so-called TBO – Time Between Overhaul) of 5-7 times more which usually consists about 1800-2000 hours. It follows that the apparent cheapness of an automotive internal combustion engine for an aircraft application is actually not true – the use of automotive internal combustion engines in aviation without design changes is economically inefficient. Nevertheless, “cheap” solutions are always tempting, and their examples continue to appear with alarming regularity, including the giving of random unreasonable resources, due to a lack of understanding of differences in operating conditions of the engines.

In Figure 5 it is shown the one such example [20].



Fig. 5. An example of Subaru automotive engine failure during extremely long inappropriate use on an aircraft: a – burnout of a worn piston; b – destruction of worn crankshaft bearings.

The failure of Subaru automotive ICE has occurred during an operating time of about 1000 hours on an aircraft, due to an unreasonably given resource of 2000 hours. It is characteristic that the engine not only worked up to 3 times more than its real durability up to failure, but also has confirmed this ICE did not meet aviation requirements for damage localization – it stopped in the air, due to damage in one cylinder, which led to a flight accident.

### Conclusions

The modern automotive engines, despite their technical excellence, cannot be used in aviation, because they do not comply with aviation operating conditions. At the same time, the adaptation of automotive engines for aviation applications is possible, but requires significant structural changes, which makes their single use, as a rule, technically impractical and economically inefficient.

Due to the fact that saving on an aircraft engine is unacceptable from the point of view of flight safety, the aviation application of automotive engines without special modernization carries excessive risks of failures and their consequences. As a result, the produced serial aircraft engines Lycoming, Continental, Jabiru, ULPower, Rotax, Limbach and others do not actually have an alternative in general aviation.

### References

1. Gunston B. *World Encyclopedia of Aero Engines from the Pioneers to the Present Day* 5th Edition (Sparkford: Sutton Publishing). 2006. p. 260.
2. Taylor C. F. *Aircraft Propulsion. A Review of the Evolution of Aircraft Piston Engines* (Washington: Smithsonian Institution Press). 1971. 134 p.
3. Taylor C. F. *The internal combustion engine in theory and practice, Volume 2: Combustion, fuels, materials, design* Second Edition (Cambridge: The MIT Press). 1999. 679 p.
4. Borden N. E., Cake W. J. *Fundamentals of Aircraft Piston Engines* Hayden Series in Aeronautical Technology (New York: Hayden Book Co.). 1971. 192 p.
5. Lumsden A. *British Piston Aero Engines and their aircraft* (Ramsbury: Crowood Press). 2005. 322 p.
6. Raymond R. J. *Comparison of Sleeve and Poppet-Valve Aircraft Piston Engines* (Aircraft Engine Historical Society). 2005. Vol. 5 P. 1-28. <http://www.enginehistory.org/members/articles/Sleeve.pdf>.
7. Gunston B. *Development of Piston Aero Engines* (Sparkford: Haynes Publishing). 2006. 244 p.
8. Van Basshuysen R., Schäfer F. *Internal Combustion Engines. Basics, Components, Systems, and Perspectives* (Warrendale: SAE International). 2004. 811 p.
9. Finch R. *Converting Auto Engines for Experimental Aircraft* (Osceola: Motorbooks International). 1999. 160 p.
10. Balich G. W., Aschenbach C. R. *The Gasoline 4-Stroke Engine for Automobiles* (Notre Dame: University of Notre Dame). 2004. 156 p.
11. *Aircraft Reciprocating-Engine Failure. An Analysis of Failure in a Complex Engineered System* ATSB Transport Safety Investigation Report B2007/0191 (Canberra City: Australian Transport Safety Bureau) 2008. 255 p.
12. Balicki W., Głowacki P. Causes of the powerplants failures installed on Polish civil aviation aircraft (*Combustion Engines*, 168 vol 1) 2017. P. 110-121. doi: 10.19206/CE-2017-117.
13. Piancastelli L 2018 Powerplant Reliability Issues and Wear Monitoring in Aircraft Piston Engines. Part II: Engine Diagnostic (*Drones*, 2 vol 10) p 15 doi:10.3390/drones2010010.
14. Pope S. Piston Engine Aircraft Technology. Discover the latest in Piston Engine Aircraft technology (*Flying*, April 6). 2012. <https://www.flyingmag.com/aircraft/pistons/piston-engine-technology/>
15. Flint M., Pirault J. P. *Opposed Piston Engines: Evolution, Use, and Future Applications* (Warrendale: SAE International). 2009, 576 p.
16. Rodriguez C. L. Piston Engines. Aviation Maintenance Technician Cert. Series (Colorado: Aircraft Technical Book Co.). 2015. 350 p.
17. Giakoumis E G 2017 *Driving and Engine Cycles* (Cham Springer International Publishing AG) 408 p.
18. Baechtel J. *Competition Engine Building* (Forest Lake: CarTech, Inc.), 2012. 178 p.
19. Frosina E., Senatore A., Palumbo L., Pascarella C. Development of a Lumped Parameter Model for an Aeronautic Hybrid Electric Propulsion System (*Aerospace* 5 vol 105), 2018. 25 p. doi:10.3390/aerospace5040105
20. Khrulev A., Losavio S., Drozdovsky V. *Expertise of technical conditions and causes of failures of automotive vehicles* (Moscow: Publishing house ABS). 2019. 966 p.

**Khrulev Alexander**<sup>1</sup>, Ph.D., Senior Researcher, doctoral student, [alo.engine@gmail.com](mailto:alo.engine@gmail.com), +38-096-616-183, <https://orcid.org/0000-0002-6841-9225>.

**Saraieva Iryna**<sup>1</sup>, Ph.D., Associate Professor, +38 050-64-00-787, e-mail: [sarayeveva9@gmail.com](mailto:sarayeveva9@gmail.com).

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo st., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.

**Експертні дослідження порушень умов експлуатації автомобільних двигунів при використанні їх в авіації**

**Анотація.** Розглянуто особливості конструкції та експлуатації поршневих двигунів в авіації загального призначення. Виконано порівняльний аналіз конструктивних особливостей і параметрів автомобільних і авіаційних двигунів. Показано, що автомобільні двигуни, незважаючи на високий технічний рівень, досягнутий до початку 21-го століття, технічно не відповідають авіаційним вимогам. У той же час двигуни, створені на базі автомобільних шляхом їх глибокої модернізації відповідають авіаційним вимогам, проте модернізація та адаптація стандартного автомобільного двигуна до авіаційного застосування за витратами порівняно зі створенням нового двигуна. **Мета.** Провести дослідження відмов автомобільних двигунів, які використовуються в легкій авіації. **Методологія.** Виконано орієнтовні розрахунки ресурсу автомобільного двигуна на базі стандартних ізових тестів і плану польотів. За результатами розрахунків встановлено, що ресурс стандартного автомобільного двигуна в авіації зменшується в багато разів внаслідок тривалої експлуатації на режимах високих навантажень і частоти обертання, не властивих звичайному автомобільному застосуванню. **Результати.** Отримано дослідні дані про фактичні відмови стандартних автомобільних двигунів в авіації при напрацюванні, істотно меншого ресурсу авіаційних двигунів відомих марок. За результатами дослідження зроблено висновок про те, що застосу-

вання автомобільних двигунів авіації загального призначення економічно неефективно через високий ресурс і недостатню надійність. **Оригінальність.** Сучасні автомобільні двигуни, незважаючи на їх технічну досконалість, не можуть бути використані в авіації, оскільки не відповідають авіаційним умовам експлуатації. У той же час, адаптація автомобільних двигунів до авіаційного застосування можлива, але вимагає значних змін конструкції, що робить їх одиничне використання, як правило, технічно недоцільним і економічно неефективним. **Практична цінність.** У зв'язку з тим, що економія на авіаційному двигуні неприйнятна з точки зору безпеки польотів, авіаційне застосування автомобільних двигунів без спеціальної модернізації несе надмірні ризики відмов та їх наслідків. Внаслідок чого випускаються серійні авіаційні двигуни Lycoming, Continental, Jabiru, ULPower, Rotax, Limbach і інші фактично не мають альтернативи в авіації загального призначення.

**Ключові слова:** транспорт, двигун, діагностика, несправність, відмова, ізовий цикл, експертиза.

**Хрулев Олександр Едуардович**<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., докторант, alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6841-9225>.

**Сарасва Ірина Юрївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, тел. +38050-64-00-787, e-mail: [sarayeva9@gmail.com](mailto:sarayeva9@gmail.com).

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

## СТРУКТУРА АДАПТИВНОЇ РЕЗОНАНСНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МІСЬКИМ ГРОМАДСЬКИМ ПАСАЖИРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

Іванов І. Є.<sup>1</sup>, Вдовиченко В. О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ПрАТ Запоріжавтотранс

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** В роботі на основі ситуаційно-структурного підходу, що запропонований в якості інваріантної основи багаторівневого аналізу міського громадського пасажирського транспорту сформована структура комплексної адаптивної резонансної моделі управління. Запропонована структура ґрунтується на встановленні класифікаційних ознак якості транспортного обслуговування населення та містить базові шари розпізнавання передумов її забезпечення в межах різних рівнів, що відповідають стратегічним типам управління міським пасажирським транспортом: покращення мобільності та підвищення якості транспортного обслуговування, економічне стимулювання, ресурсна ефективність транспортної інфраструктури, безпека дорожнього руху, екологічний вплив.*

***Ключові слова.** міський пасажирський транспорт, якість транспортного обслуговування населення, комплексне управління, ідентифікаційно-структурний аналіз.*

### Вступ

Характерною особливістю сучасного розвитку міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) є необхідність вирішення завдань пов'язаних з розглядом складних, важко описуваних процесів взаємодії об'єктів, явищ і процесів в межах багаторівневих функціональних підсистем. Проблема підвищення якості транспортного обслуговування населення (ЯТОН) МГПТ сьогодні повинна вирішуватися на основі комплексного розв'язання сукупності локальних технічних, технологічних, організаційних та соціальних завдань, що обумовлюється тісним взаємозв'язком різних аспектів функціонування міської транспортної системи, як одного з показників забезпечення якості життя населення [1]. У зв'язку з цим важливим є розвиток системних досліджень в напрямку встановлення нових можливостей вирішення завдань управління ЯТОН на основі обліку складних системних властивостей МГПТ, в тому числі, шляхом конструювання міжрівневих взаємозв'язків та встановлення методичних регламентів узгодження параметрів вимог споживачів, пропозиції транспортної підприємств та умов функціонування транспортної інфраструктури.

Формування системи управління ЯТОН стає складною задачею, яка для свого вирішення потребує формалізації апарату іден-

тифікаційно-структурного аналізу [2]. Такий аналіз передбачає виділення сукупності інструментальних засобів ситуаційно-структурного управління МГПТ через логічну формалізацію протікання процесів в межах всіх середовищ їх реалізації. Основне призначення ідентифікаційно-структурного аналізу МГПТ полягає у встановленні загального алгоритму виділення ієрархії проблеми забезпечення ЯТОН та пошуку ефективних заходів її розв'язання в умовах багатоваріативності управління.

### Аналіз публікацій

Задача розробки системи управління ЯТОН є нетривіальною та складною, що обумовлює необхідність застосування науково обґрунтованих підходів. Аналізуючи роботи [2-9] можливо класифікувати існуючі підходи до управління МГПТ з точки зору покращення сукупності ключових параметрів ЯТОН за наступними категоріями:

- скорочення часу пересування пасажирів маршрутною мережею [2, 3];
- зниження часу очікування в об'єктах пасажирської інфраструктури [4, 5];
- підвищення ефективності роботи рухомого складу на маршрутах [6, 7];
- зниження негативних екологічних наслідків роботи транспорту [8, 9].

Огляд представлених робіт дозволив встановити, що вони у своїй більшості носять суцільно локальний характер та спрямовані на покращення ЯТОН за окремим критерієм. Одновекторність підходів до підвищення ЯТОН частково компенсується наявністю зв'язку між технологічними показниками, однак у повній мірі не може врахувати одночасно вимоги споживачів, провізні можливості МГПТ, ресурси транспортної інфраструктури та вимоги суспільства.

Останнім часом в ряді наукових праць [10, 11] розглядаються питання розробки та імплементації програмного забезпечення та інтелектуальних інформаційних систем управління МГПТ, що відповідає тенденції постійного розвитку транспортних технологій. Але представлені роботи за своїм змістом спрямовані на опис технічного оснащення та не враховують питання міжрівневого обліку взаємного впливу технологічних параметрів МГПТ та зовнішнього середовища.

Система МГПТ є емерджентною, оскільки забезпечує єдність міського простору, на відміну від кожного окремого її елемента, що мають особливості які відрізняють їх від інших об'єктів. Всі елементи системи пов'язані між собою та здійснюють взаємний вплив. Результати досліджень системи управління МГПТ проведені впродовж останніх років [12, 13] підтверджують її складність та неоднорідність. Система складається із множини елементів: органи державного регулювання та управління, маршрути, транспортні підприємства різних форм власності. Система МГПТ також є ієрархічною, що обумовлено наявністю декількох рівнів: окрема одиниця рухомого складу, маршрут, взаємодія різних видів транспорту, поєднання окремих елементів, що забезпечують ефективне функціонування. В роботі [14] представлено взаємодію через оцінку конфліктів інтересів. Однак запропоновані моделі містять оцінку конфліктів лише шляхом економічного порівняння.

Важливе значення для розвитку транспортних систем має системний підхід та міжрівнева узгодженість параметрів управління МГПТ. В роботі [15] автор відокремлює наступні ключові моменти, необхідні для розвитку та ефективного функціонування системи МГПТ: виділяються органи управління, транспортні підприємства та споживча підсистема. Такий підхід не враховує умови функціонування транспортної інфраструктури та параметрів впливу на соціально-екологічні аспекти функціонування МГПТ.

В роботі [16] запропонований системний підхід до формування когнітивних транспортних систем з виділенням сукупностей рівнів управління: сенсорний рівень, телекомунаційний, інформаційний, когнітивний. Однак як і попередні роботи вона спрямована на представлення загальних рівнів технічного оснащення системи управління.

Визначення основних цілей розвитку системи МГПТ обумовлено наявністю ресурсних обмежень, соціальних та екологічних норм, фінансових можливостей. Сьогодні спостерігається тенденція до збільшення впливу різних умов здійснення технологічних процесів МГПТ, що призводить до актуалізації питання розробки та впровадження програм його управління, з урахуванням соціальної значимості транспортного обслуговування населення та необхідності підвищення ефективності при певному рівні якості транспортного обслуговування населення.

Виходячи з представленого аналізу літературних джерел та враховуючи соціальну значущість ЯТОН виникає об'єктивна потреба у розробці структур комплексного управління МГПТ з позицій підвищення ЯТОН на основі моделей аналізу поточних умов та міжрівневого обліку.

### Мета та постановка задачі

Метою дослідження є розробка структури комплексної адаптивної резонансної моделі управління якістю транспортного обслуговування міським громадським пасажирським транспортом. Досягнення цієї мети обумовлено вирішенням таких задач:

- проведення ідентифікаційно-структурного аналізу синтаксичних структурних моделей та встановлення базового продукційного зв'язку зміни ЯТОН в залежності від прийнятого варіанту керуючих дій в межах комплексного управління МГПТ;
- формування загальної структури контуру оцінювання ефективності комплексного управління МГПТ на основі виділення сукупності індикаторів та локальних критеріїв складових ЯТОН;
- на основі принципів адаптивної резонансної теорії управління розробити модель багаторівневого узгодження локальних параметрів та сформувати послідовність кількісної порівняльної їх оцінки за базовими блоками, що відповідають стратегічним типам управління МГПТ: покращення мобільності та підвищення ЯТОН, економічне стимулю-

вання, ресурсна ефективність транспортної інфраструктури, безпека дорожнього руху, екологічний вплив.

### Структура управління якістю транспортного обслуговування населення

Принцип ідентифікаційно-структурного управління, сформульований як можливість управління об'єктом у вигляді складної системи, на основі ідентифікації структур його стану в просторі можливих ситуацій з вибраними альтернативами впливу [17]. Адаптацію ситуаційно-структурного підходу до вибору альтернатив управління ЯТОН можна представити у вигляді синтаксичного структурного уявлення про стан елементів рівнів МГПТ на яких реалізується її формування (технічний, технологічний та споживчий). Вирішення задач пошуку оптимальних альтернативних рішень управління МГПТ інтерпретуються, як завдання ідентифікаційно-структурного аналізу синтаксичних структурних моделей та передбачає встановлення базових продукційних правил зміни ЯТОН в залежності від варіанту керуючих дій.

Ситуаційно-структурний підхід застосовується в якості інваріантної основи системного аналізу складних об'єктів в процесі реалізації принципу комплексного управління

МГПТ. Необхідною умовою використання ідентифікаційно-структурного аналізу в процесі управління складними системами є адекватний логічний опис елементів, що визначає цілісні властивості станів підсистем МГПТ. Оскільки необхідно, щоб структурний опис був симетричним відносно аспекту системного уявлення, апарат структурного моделювання МГПТ повинен забезпечувати однакове, з точки зору синтаксису, формалізоване відображення структур різних аспектів управління ЯТОН.

До вибору апарату структурного моделювання, який задовольняє вимогам стратегічного управління МГПТ, пропонується підходити з позицій можливостей синтаксичної формалізації описів його елементів і завдань ідентифікаційно-структурного аналізу. Під синтаксичним структурним описом в подальшому будемо розуміти синтаксичні моделі формальних структур МГПТ, тобто структур, що відображають властивості зв'язності різних рівнів формування ЯТОН без конкретизації специфіки аспекту опису, що визначає сутність елементів і видів відносин. Такі судження дозволяють представити комбінований вид управління ЯТОН МГПТ у вигляді структурного контуру (рис. 1).

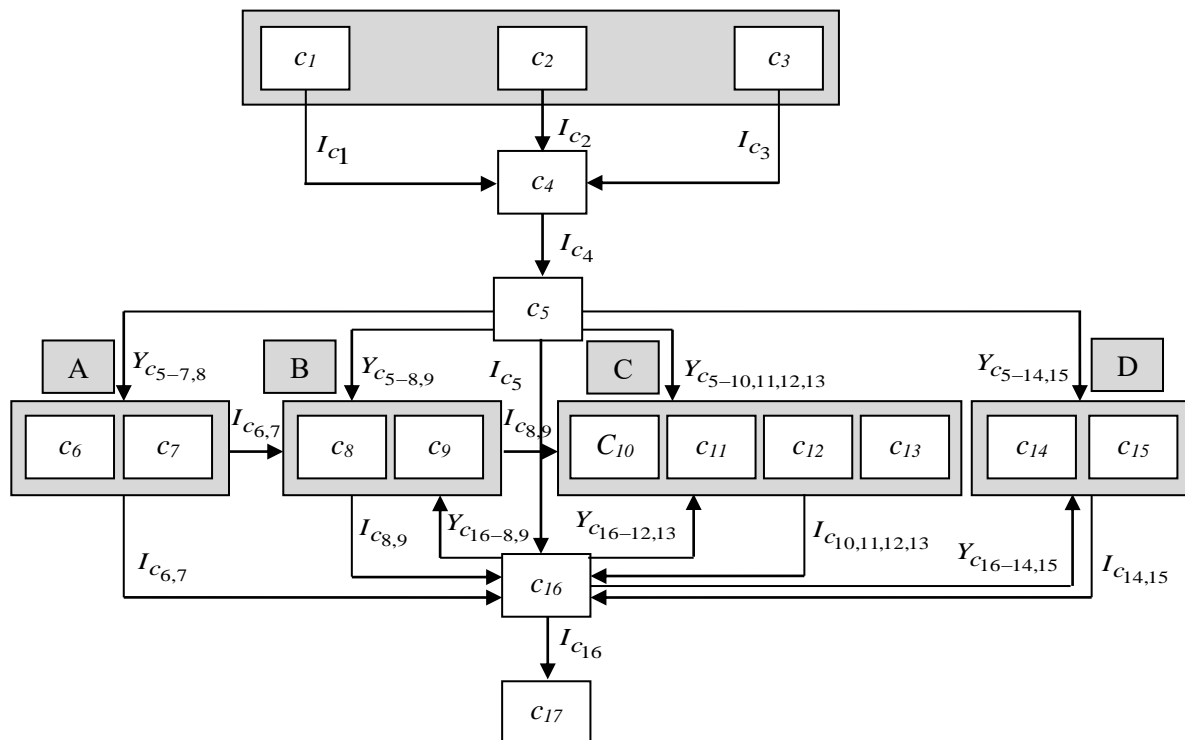


Рис. 1. Структура зв'язку контуру управління ЯТОН



Основою для формування сукупності управлінських дій є вихідні інформаційні потоки, що представляються двома ієрархічними рівнями. На першому рівні встановлюється значення загального попиту населення на пересування у місті ( $I_{c1}$ ), що характеризує абсолютний розмір пересувань населення між транспортними районами міста у відповідний період часу. Подальша деталізація та уточнення загального попиту дозволяють встановити фактичні пасажиропотоки на маршрутах мережі МГПТ ( $I_{c2}$ ). Комплексним доповненням до інформаційного простору про загальний обсяг пересувань та пасажиропотоки на маршрутах є визначення питомої ваги пасажирів ( $I_{c3}$ ), що користуються індивідуальним та громадським міським пасажирським транспортом.

Одним з ключових етапів управління ЯТОН є моніторинг параметрів оцінювання за допомогою методів інтелектуальної обробки даних. Перед реалізацією такої процедури проводиться класифікаційний розподіл об'єктів моніторингу на типові групи аналізу на основі отриманої інформації з попереднього ієрархічного рівня ( $I_{c1}$ ,  $I_{c2}$ ,  $I_{c3}$ ). Об'єктами моніторингу виступають маршрути МГПТ, однак, можливе проведення аналізу за окремими районами обслуговування або елементами пасажирської транспортної інфраструктури. Базовим інструментом для проведення такого моніторингу є інформаційна система, що передбачає облік параметрів формування споживчих вимог та технологічних параметрів транспортного обслуговування. Систематизовані за об'єктами вимоги споживачів та рівень їх задоволення ( $I_{c4}$ ) є вихідною інформацією для проведення аналізу поточного стану організації технологічного процесу транспортного обслуговування населення та визначення причин зниження ЯТОН. На даному етапі управління важливим є їх ранжування з позицій формування у подальшому послідовності реалізації сукупності управлінських заходів.

Управлінські заходи, що спрямовані на підвищення ЯТОН розподіляються на чотири групи: А ( $c_6$ ,  $c_7$ ), В ( $c_8$ ,  $c_9$ ), С ( $c_{10}$ ,  $c_{11}$ ,  $c_{12}$ ,  $c_{13}$ ), D ( $c_{14}$ ,  $c_{15}$ ). До першої групи входять елементи стратегічного управління вулично-дорожньою мережею (ВДМ) міста та маршрутною мережею МГПТ. В основу прийняття рішень про параметричну реорганізацію ВДМ або зміну розташування зупин-

них пунктів покладена продукційна модель, що включає зв'язок між причиною зниження параметрів технологічної якості та можливістю її підвищення за рахунок впровадження заходів  $c_6$ ,  $c_7$ . Друга група управлінських заходів передбачає впровадження дій спрямованих на зниження часу рейсу та скорочення витрат пасажирів на поїздку. При визначенні параметрів цього рішення враховується інформація про параметри руху на ВДМ та розташування зупинних пунктів ( $I_{c6,7}$ ). Третя група спрямована на вибір раціональних параметрів транспортної пропозиції, яка передбачає формування раціональної структури МГПТ з урахуванням потреб у міжмаршрутному резерві рухомого складу. При плануванні кількості рухомого складу, його місткості та рівня резерву враховуються параметри тривалості рейсу та часу руху ( $I_{c8,9}$ ).

Четверта група управлінських заходів передбачає розробку та впровадження дій пов'язаних з узгодженням розкладу руху на маршрутах з потребами споживачів та пропускною спроможністю елементів транспортної інфраструктури.

Під впливом зовнішніх чинників у ході реалізації виробничої програми управлінських дій можуть виникати збої у роботі, які призводять до зниження ефективності технологічного процесу та погіршення ЯТОН. Ступінь відповідності виробничої програми реалізованої в ході впровадження управлінських заходів на МГПТ відносно вимог споживачів перевіряється на етапі оперативного управління ( $c_{16}$ ). У разі встановлення невідповідності вимогам споживачів приймаються заходи оперативного впливу в межах груп В, С, D. Циклічність локальних контурів управління ( $B, C, D \rightarrow c_{16} \rightarrow B, C, D \rightarrow c_{16}$ ) дозволяє забезпечити наближення параметрів транспортного обслуговування до вимог сервісного рівня. Важливим елементом управління ЯТОН є впровадження інформаційного забезпечення пасажирів ( $c_{17}$ ) яке ґрунтується на обліку фактичних параметрів функціонування об'єктів МГПТ. Представлені в структурі управління ЯТОН МГПТ етапи наведені в таблиці 1.

Після виділення основних елементів структури управління необхідно встановити індикативну модель зв'язку. Для формалізації виду такої моделі доцільно застосувати синтаксичну форму представлення. У загальному вигляді синтаксична структурна модель

формалізовано представлена кортежем  $S_C^u = \langle U_q, R_e^u, R_v^u, R_c^u \rangle$ . В якості носія моде-

лі ( $U_q$ ) використовується дві підмножини  $U_q = \langle U_{qe}, U_{qpc} \rangle$ .

Таблиця 1 – Елементи функціональної структури управління ЯТОН

Позначення	Найменування елементу
$c_1$	Визначення загального поточного та перспективного попиту населення на пересування
$c_2$	Встановлення розподілу пасажиропотоку по маршрутам мережі у часі
$c_3$	Розподіл за пріоритетом здійснення пересування (індивідуальний або МГПТ)
$c_4$	Моніторинг параметрів ЯТОН на основі методів інтелектуальної обробки даних
$c_5$	Аналіз стану організації процесу та встановлення елементів зниження ЯТОН
$c_6$	Організація пріоритетного руху МГПТ на ділянках вулично-дорожньої мережі
$c_7$	Раціональний розподіл зупинних пунктів на маршрутах
$c_8$	Вибір раціональних режимів руху на маршрутах
$c_9$	Планування часу рейсу на маршрутах
$c_{10}$	Вибір раціональної місткості транспортних засобів
$c_{11}$	Розрахунок потрібної кількості транспортних засобів
$c_{12}$	Розподіл рухомого складу між маршрутами
$c_{13}$	Міжмаршрутне резервування рухомого складу
$c_{14}$	Адаптація розкладу руху до формування попиту на зупинних пунктах у часі
$c_{15}$	Координація розкладу руху транспортних засобів через спільні зупинні пункти
$c_{16}$	Оперативне управління рухом транспортних засобів
$c_{17}$	Інформування про розклад прибуття та рівень наповнення рухомого складу

Підмножина  $U_{qe}$  представляє собою сукупність параметрів, що описують ЯТОН для споживчого рівня та складається з елементів ( $U_{ct}, U_{cp}, U_{cu}, U_{ce}$ ). Підмножина  $U_{qpc}$  має характер допоміжних елементів носія  $U_{qe}$  та відображає параметри ЯТОН технічного ( $U_{pg}, U_{pn}, U_{pt}, U_{pci}, U_{pw}$ ) та технологічного ( $U_{et}, U_{ev}, U_{eh}, U_{el}, U_{er}$ ) рівнів. Така форма представлення дозволяє формально встановити співвідношення та пріоритети серед рівнів оцінювання ЯТОН: головним є споживчий рівень, а технічний та технологічний – забезпечують її досягнення. Складові кортежу  $\langle R_e^u, R_v^u, R_c^u \rangle$  є предикатами (судженнями), що встановлюють ступінь впливу елементів управління на ЯТОН. Предикат  $R_e^u$  відображає види співвідношень між підмножинами  $U_{qpc}$  та  $U_{qe}$ , що по суті є оціночною шкалою впливу підвищення технічної та технологічної якості на підвищення сервісної якості. Предикат  $R_v^u$  описує вплив етапів управління, пов'язаних з реалізацією етапів горизонтального управління в межах функціональних груп:  $\forall c_i \in M_v$  де  $M = AUBUCUD$ . Предикат  $R_c^u$  призна-

чений для обліку впливу етапів загальносистемного характеру:  $\forall c_i \in M_n$  де  $M_n = M_c / M_v$ . В якості базових суджень про вплив  $U_{qpc}$  на  $U_{qe}$  можуть бути використані запропоновані оцінки переходу ступенів відповідності ЯТОН ( $A_d \rightarrow A_b \rightarrow A_a \rightarrow A_w \rightarrow A_v$ ). Кожен основний елемент носія синтаксично ідентифікується в множині  $U_q$  за допомогою сукупності локальних предикатів, що входять до загальної множини керуючих заходів  $M_c$ . Ключовим моментом формалізації моделі управління є встановлення правил відтворення параметрів керуючих впливів  $c_i = \left\{ p_i^{c_j} \right\}, j = \overline{1, n_i^c}$  на ступень сервісної відповідності ЯТОН  $A_e, e = \overline{1, k_q}$ . У межах кожного окремого етапу управління реалізуються заходи, що відображаються сукупністю параметрів загальною кількістю  $n_i^c$ . Узагальнений (гіпотетичний) вид правил відтворення параметрів керуючих впливів представляється відображенням  $A_e : p_i^{c_j} \rightarrow U_{qe}, \forall c_i \in M_v, i = \overline{1, n_i^c}$ . Встановлення характеристичних закономірностей у вигляді емпіричної функції виду



$A_e = f(p_i^{c_j})$  реалізується шляхом проведення експериментальних досліджень.

### Індикатори оцінювання функціонування громадського пасажирського транспорту в містах

Аналіз поточного стану є важливою частиною управління МГПТ та має своєю метою встановлення причинно-наслідкового зв'язку між параметрами та умовами підвищення ЯТОН. Під таким аналізом розуміється накопичення і оцінювання великих масивів інформації, що стосуються елементів технологічного процесу які мають за мету встановлення відповідності певним критеріям ЯТОН та виділення пріоритетності формування управлінських рішень. За змістом та характером проведення такий аналіз являє собою технологічний аудит функціонування МГПТ. У ході аудиту встановлюється відповідність параметрів оціночним критеріям. Сам по собі технологічний аудит МГПТ є частиною управління ЯТОН, що дозволяє встановити раціональну послідовність впровадження етапів керуючих заходів груп А, В, С та D.

Виконання технологічного аудиту МГПТ є досить складною процедурою, так як ефективність операцій складніше об'єктивно оцінити, ніж загальні техніко-експлуатаційні показники продуктивності рухомого складу

або економічну ефективність перевезень. При порівняльній характеристиці технологічного аудиту з техніко-експлуатаційним та економічним аудитом можна відзначити таку особливість: ці види аудиту спрямовані на відображення процесу у загальному результаті роботи рухомого складу, технологічний аудит спрямований на визначення ефективності окремих операцій. Наступна відмінність полягає в тому, що техніко-експлуатаційний та економічний аудит орієнтований у часі на минулі події, носить ретроспективний характер, а технологічний аудит орієнтований на майбутню діяльність організації. Можна припустити, що технологічний аудит МГПТ має більшу схожість за процедурою з ідентифікацією стану елементів технологічного процесу та спрямований на виділення перспективних шляхів його удосконалення. За ступенем використання інформації і висновків є також принципові відмінності: інформація технологічного аудиту носить більш локалізований та конкретизований характер. Користувачами цієї інформації є фахівці з організації та планування перевезень. Основою для проведення технологічного аудиту МГПТ який має мету встановлення відповідності фактичних умов роботи вимогам населення до ЯТОН є виділення причинно-наслідкового зв'язку її зниження (табл. 2).

Таблиця 2 – Причино-наслідковий зв'язок зниження ЯТОН

Номер	Причини зниження ЯТОН	Наслідки впливу на зниження ЯТОН
1.	Транспортні затори на ВДМ	Зниження експлуатаційної швидкості руху маршрутного транспорту
2.	Збільшення часу рейсу	Зниження провізних можливостей
3.	Нераціональне розташування зупинних пунктів	Збільшення часу рейсу та зниження продуктивності рухомого складу
4.	Непродуктивні простої на зупинних пунктах	Збільшення часу рейсу та зниження продуктивності рухомого складу
5.	Конфліктність проїзду зупинних пунктів	Збільшення часу простою та зниження продуктивності рухомого складу
6.	Невідповідність місткості рухомого складу пасажиропотоку	Дефіцит провізних можливостей
7.	Недостатня кількість рухомого складу	Дефіцит провізних можливостей, зниження рівня регулярності руху
8.	Вихід рухомого складу з лінії	Низький рівень надійності сполучення
9.	Невідповідність інтервалів руху умовам формування пасажирообміну	Зростання часу очікування пасажирами
10.	Відсутність моніторингу попиту на перевезення	Нераціональність розподілу рухомого складу між маршрутами та видами
11.	Відсутність інформаційного супроводження транспортного процесу	Неможливість планування пересування, нерівномірність заповнення складу
12.	Зовнішні впливи (метеорологічні умови, аварійні ситуації та ін.)	Зниження провізних можливостей, блокування руху

Для оцінювання покращення мобільності та підвищення ЯТОН може бути застосований критерій у вигляді, що відображає ступінь задоволення потреб населення. З ураху-

ванням принципів оцінювання, загальний вид критерію покращення мобільності та підвищення ЯТОН для окремого маршруту (об'єкта) МГПТ набуває наступного вигляду:

$$Y_{qs} = \frac{\sum_{\tau=1}^{T_p} \sum_{i=1}^{n_{sp}} \sum_{j=1}^{q_{\tau i}^{sp}} \left( a_j^{ct} \cdot \rho_{ij}^{ct} + a_j^{cp} \cdot \rho_{ij}^{cp} + a_j^{cu} \cdot \rho_{ij}^{cu} + a_j^{ce} \cdot \rho_{ij}^{ce} \right)}{n_{yc} \cdot \sum_{\tau=1}^{T_p} \sum_{i=1}^{n_{sp}} q_{sp\tau i}}, \quad (1)$$

де  $T_p$  – тривалість роботи маршруту, год;

$n_{sp}$  – кількість зупинних пунктів;

$q_{\tau i}^{sp}$  – кількість пасажирів, що вирушають з  $i$ -го пункту, пас.;

$a_j^{ct}, a_j^{cp}, a_j^{cu}, a_j^{ce}$  – ступінь відповідності вимогам  $j$ -го пасажирів: очікування, міжмаршрутної пересадки, рівня інформаційного забезпечення, часу посадки транспортний засіб;

$Y_{ce}$  – кількість параметрів оцінювання пасажирями споживчої ЯТОН;

$\rho_{ij}^{ct}, \rho_{ij}^{cp}, \rho_{ij}^{cu}, \rho_{ij}^{ce}$  – питома вага пасажирів зупинного пункту які одержали ступінь сервісної ЯТОН на рівні  $a_j^{ct}, a_j^{cp}, a_j^{cu}, a_j^{ce}$ .

Критерій економічного стимулювання використання та розвитку МГПТ представляється у вигляді питомого валового прибутку:

$$Y_{ei} = \frac{\sum_{\tau=1}^{T_p} \left( \sum_{i=1}^{n_{sp}} q_{\tau i}^{sp} \cdot k_{rsp}^g \cdot C_r^s + D_r^s - \sum_{j=1}^{n_{rm}} \left( C_j^{nm} + C_j^{3m} \cdot V_j^{er} \right) \cdot A_{\tau j}^r \right)}{\sum_{\tau=1}^{T_p} \sum_{i=1}^{n_{sp}} q_{sp\tau i}}, \quad (2)$$

де  $k_{rsp}^g$  – питома вага пільгових пасажирів, що відправляється з зупинного пункту;

$C_r^s$  – величина соціально допустимого тарифу на маршруті, грн;

$D_r^s$  – середній обсяг дотацій, грн/доба;

$n_{rm}$  – кількість моделей рухомого складу;

$A_{\tau j}^r$  – кількість рухомого складу;

$C_j^{nm}, C_j^{3m}$  – постійні та змінні витрати на експлуатацію  $j$ -ї моделі, грн/год (грн/км);

$V_j^{er}$  – експлуатаційна швидкість, км/год.

Критерій використання пропускної спроможності транспортної інфраструктури спрямований на встановлення її ресурсної ефективності. Для її оцінки використовується рівень середньозваженої швидкості руху учасників транспортного потоку, що здійс-

нюють пересування відповідною ділянкою вулично-дорожньої мережі (ВДМ):

$$Y_{ti} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{vt}} V_{s_i}^z \cdot N_{s_i}^z}{\sum_{i=1}^{n_{vt}} N_{s_i}^z}, \quad (3)$$

де  $V_{s_i}^z, N_{s_i}^z$  – середня швидкість та інтенсивність транспортного потоку  $i$ -го виду транспорту, км/год (авт/год).

Критерій безпеки дорожнього руху встановлюється у вигляді мінімаксної функції, що відображає потенційну можливість виникнення аварійної події на маршруті:

$$Y_{bt} = \sum_{i=1}^{q_e^{st}} \min_{q_i \in Q_e^{st}} \max_{p_i \in P_e^{st}} \int U(u_i) P(u_i) du_i, \quad (4)$$

де  $q_e^{st}$  – кількість чинників впливу.

Вплив транспорту на навколишнє середовище включає в себе різні види забруднення. Відповідність екологічним умовам може бути визначена областю допустимих експлуатаційних показників на просторі рішень, що задовольняють вимогам їх відповідності:

$$Y_{ec} = \sup(\psi_c^{ze}(l_{et}, l_{eu})), l_{et} \in L_t, l_{eu} \in L_u, (5)$$

де  $\psi_c^{ze}$  – показник, що відображає область допустимих значень параметрів за умовою їх екологічної відповідності;

$l_{et}, l_{eu}$  – межа допустимого простору експлуатаційних параметрів немаршрутного

транспорту та МГПТ з умов забезпечення екологічної відповідності;

$L_t, L_u$  – множина експлуатаційних параметрів немаршрутного транспорту та МГПТ.

Проблема вирішення задач багатокритеріальної оптимізації при управлінні МГПТ не є новою. На рис. 2 представлений контур формування критерію оцінювання ефективності комплексного управління МГПТ.

Загальна структура контуру формування оцінювання ефективності комплексного управління МГПТ в подальшому дозволяє сформулювати модель багаторівневого узгодження локальних параметрів. Основою такої моделі є виділення ступенів оцінки ЯТОН та встановлення типових характеристичних видів керуючих заходів.

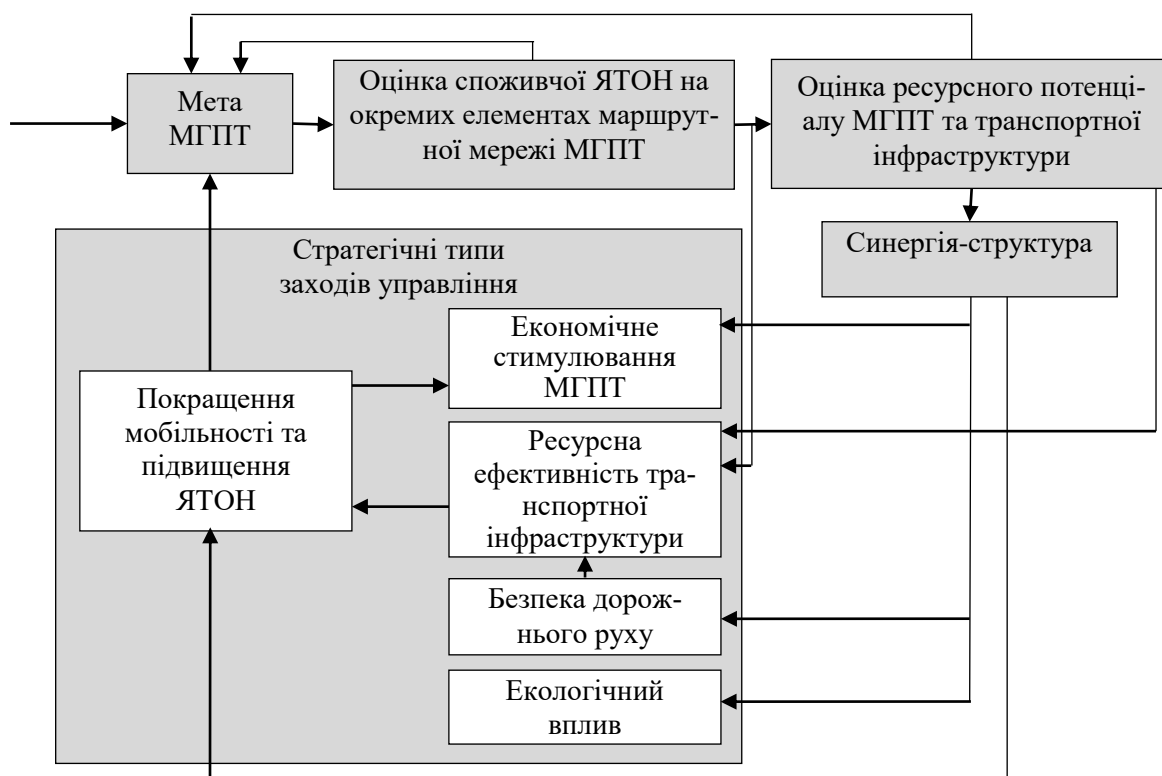


Рис. 2. Контур формування критерію оцінювання комплексного управління МГПТ

### Проектування структури адаптивної резонансної моделі управління МГПТ

Серед способів вирішення багатокритеріальних оптимізаційних задач значного поширення набуло використання методу головного критерія. В цьому випадку в якості головного критерія обирається показник який найбільше повно дає можливість оцінити відповідність поставленій меті, а інші - пере-

ходять до системи обмеження. Основною особливістю при визначенні ступені ЯТОН на основі встановлення відповідності наданих послуг вимогам споживачів є відсутність «жорсткого нормативу» значень базових показників оцінювання. Це пояснюється тим, що для різних об'єктів МГПТ (перш за все маршрутів) можуть значно відрізнятися техніко-технологічні та споживчі умови роботи (різний пасажиропотік, кількість рухомого

складу, інтенсивність, швидкість руху та ін.). За таких умов доцільним є впровадження методики оцінювання ЯТОН через встановлення ступеня відповідності вимогам пасажирів. В якості методологічної основи для розробки моделі обліку вимог та багаторівневого узгодження локальних параметрів може бути застосована адаптивна резонансна теорія яка сьогодні набула поширення при формуванні штучних нейронних мереж. Основна ідея полягає в тому, що в якості образів приймається стан об'єкту МГПТ який відповідає відповідному ступеню ЯТОН. За таких умов розпізнавання образів (ступенів ЯТОН) є результатом очікувань які виходять від споживачів та сенсорної інформації вищого (керуючого) рівня. Причому очікування приймають форму, що схожа на прототипи або нормативи, які потім порівнюються з реальними властивостями об'єкта через співставлення сукупності показників транспортного обслуговування. Це порівняння лежить в основі формування правил категоріальної приналежності. Коли різниця між очікуванням і спостережуваними показниками параметрів оцінки не перевищує певний поріг («пильність») вважається, що спостережуваний об'єкт належить до певної категорії ступеню ЯТОН. Таким чином система пропонує рішення задачі визначення ефективності системи управління МГПТ через встановлення закономірностей без порушення вже існуючої структури зв'язку.

Архітектура моделі передбачає виділення п'яти блоків, що відповідають стратегічним типам управління МГПТ: покращення мобільності та підвищення ЯТОН ( $B_{qs}$ ), економічне стимулювання ( $B_{ei}$ ), ресурсна ефективність транспортної інфраструктури ( $B_{re}$ ), безпека дорожнього руху ( $B_{ts}$ ), екологічний вплив ( $B_{ec}$ ). В межах кожного блоку встановлюються умови відповідності керуючих впливів МГПТ локальним вимогам. При цьому необхідно визначити критерії відповідності. Для цього застосовуються методика розпізнавання стану підсистем на основі обліку вхідних параметрів управління.

На базовому рівні  $B_{qs}$  структура модуля складається зі шарів порівняння ( $V_{qs}^{co}$ ) та розпізнавання ( $V_{qs}^{re}$ ). Вхідний вектор базово-

го рівня  $y^i = y_1^i, \dots, y_n^i, \dots, y_N^i$ ,  $i = \overline{1, q_p}$  має  $N$  компонент, що визначають споживчу ЯТОН. До складу компонент  $y$  входить сукупність оціночних параметрів: час очікування пасажиром транспортного засобу ( $y_{ct}^i$ ), час міжмаршрутної пересадки пасажирів ( $y_{cp}^i$ ), рівень інформаційного забезпечення пасажирів ( $y_{cu}^i$ ), час посадки пасажирів в транспортний засіб ( $y_{ce}^i$ ). Кількість елементів оціночних компонент ( $i$ ) визначається обсягом вибірки опитування пасажирів яку встановлюють виходячи з умов забезпечення достовірності інформаційного простору. Вхідний вектор  $y^m = y_1^m, \dots, y_n^m, \dots, y_N^m$  відображає значення сервісних параметрів оцінювання ЯТОН, що можуть бути забезпечені впровадженням керуючих заходів. Значення елементів вектору  $y^m$  встановлюються на основі визначення матриць переходу «технічна – споживча якість» шляхом проведення експериментальних досліджень. В межах шару розпізнавання  $V_{qs}^{re}$  встановлюються  $M_{qs}^{re}$  класів образів, що відтворюють ступінь відповідності споживчої якості. Кожен образ – це один з прийнятих оціночних рівнів ЯТОН: відмінно ( $A_v$ ), добре ( $A_w$ ), задовільно ( $A_a$ ), погано ( $A_b$ ), дуже погано ( $A_d$ ).

На рис. 3 показана конфігурація мережі адаптивної резонансної моделі управління ЯТОН МГПТ, представлена у вигляді п'яти рівнів ( $B_{qs}$ ,  $B_{ei}$ ,  $B_{re}$ ,  $B_{ts}$ ,  $B_{ec}$ ). Нижній рівень ( $B_{qs}$ ) призначений для формування умов покращення мобільності та підвищення ЯТОН. До його складу входить п'ять функціональних модулів: два шари - «шар порівняння» і «шар розпізнавання», приймач 1, приймач 2 і «скидання». Ці модулі забезпечують керуючі функції, необхідні для навчання моделі і класифікації ефективності керуючих дій. Основну роботу по класифікації виробляють шар порівняння і шар розпізнавання. Дані шари можуть бути реалізовані за допомогою нейронних мереж. Схеми приймачів і схема скидання керують режимом роботи нейронної мережі та можуть бути ре-

алізовані у вигляді звичайних логічних схем або у вигляді нейронів.

Мережа адаптивної резонансної моделі являє собою векторний класифікатор. Вхідний вектор класифікується в залежності від того, на якій з безлічі раніше запам'яталих образів він схожий. Своє класифікаційне рішення мережа адаптивної резонансної моделі виражає в формі збудження одного з нейронів розпізнавального шару. Якщо вхідний вектор не відповідає жодному з образів (ступеня відповідності сервісної ЯТОН), що вже запам'ятовані, створюється нова категорія шляхом запам'ятовування образу, ідентично-

го новому вхідному вектору. Якщо визначено, що вхідний вектор схожий на один з раніше встановлених з точки зору певного критерію подібності, вектор буде змінюватися (навчатися) під впливом нового вхідного вектору таким чином, щоб стати більш схожим на цей вхідний вектор. Образ, що вже запам'ятований не буде змінюватися, якщо поточний вхідний вектор не опиниться досить схожим на нього. Таким чином, вирішується дилема стабільності – пластичності. Новий образ може створювати додаткові класифікаційні категорії, проте він не може змусити змінитися існуючу пам'ять.

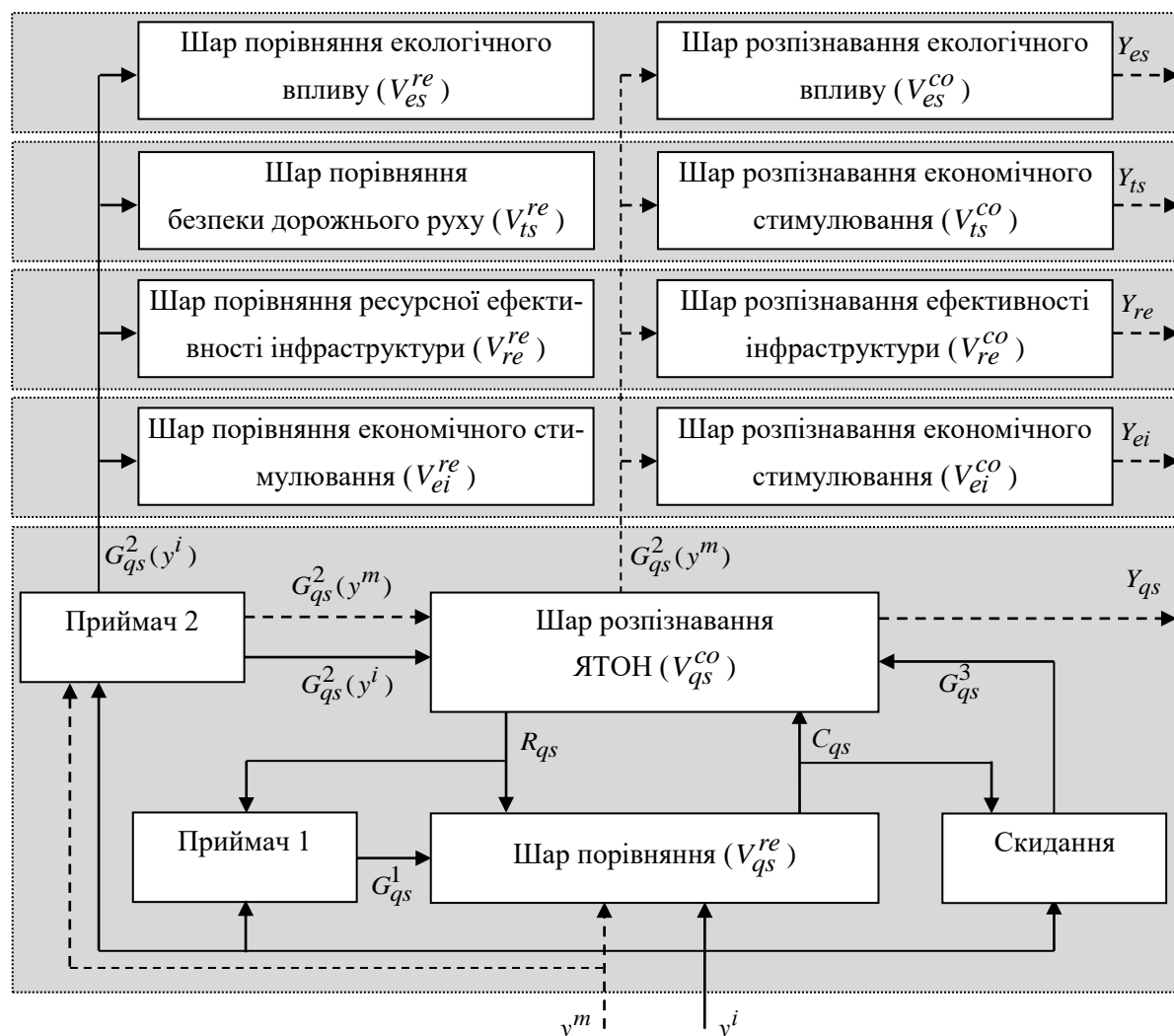


Рис. 3. Структурна схема адаптивної резонансної моделі оцінки ефективності управління ЯТОН МГПТ

Робота моделі складається з двох етапів: навчання та оцінювання. На етапі навчання відбувається процедура ідентифікації станів ЯТОН виходячи з умови подачі масиву вхідних показників які відображають сервісну ЯТОН. Ці дані отримуються шляхом реалізації процедури накопичення відгуків спожи-

вачів на надані транспортні послуги в межах окремих об'єктів МГПТ (маршрутів мережі). Загальна кількість респондентів ( $q_p$ ) визначається за методикою обсягу вибірки та повинна забезпечувати необхідний рівень її репрезентативності. Вихід «приймач 1» за-

безпечує одиничний сигнал для шару порівняння ( $G_{qs}^1 = 1$ ), якщо на вхід мережі поданий вектор  $y^i$  (нульовий вектор на вході неприпустимий) і якщо вихід шару розпізнавання дорівнює нулю ( $G_{qs}^2(y^i) = 0$ ). Якщо на вхід поданий вектор  $y^i$ , який відповідає правилам розподілу на ступені відповідності ЯТОН, блок «приймач 2» формує на виході одиничний сигнал ( $G_{qs}^2(y^i) = 1$ ) і тим самим дозволяє роботу шару розпізнавання. Перевіряється критерій подібності для векторів  $y^i$  і  $C_{qs}$ . Вектор  $C_{qs}$  представляє собою правила розподілу оцінок ЯТОН відповідно до ступенів відповідності. Критерій складається в порівнянні значень показників в векторах  $y^i$  і  $C_{qs}$ . Кількісна порівняльна оцінка проводиться у вигляді відносини з деякими пороговим рівнем подібності  $\beta_{qs}$ . Якщо поріг не перевищено, то схожість вважається поганою і схема скидання виробляє сигнал гальмування для нейрона в шарі розпізнавання. Вихід схеми скидання - через двійковий вектор з  $N$  компонентами. Схема скидання є динамічною і «пам'ятає» свої стани протягом однієї класифікації. Поріг  $\beta_{qs}$  є зовнішнім параметром по відношенню до мережі і задається користувачем в інтервалі від 0 до 1. Чим менше  $\beta_{qs}$ , тим менше схожі вектори будуть віднесені мережею до одного класу. Кожного разу коли відбувається перехід через «приймач 2» відбувається визначення базових значень локальних критеріїв, що відповідають стратегічним типам управління МГПТ (рівні  $B_{ei}$ ,  $B_{re}$ ,  $B_{ts}$ ,  $B_{ec}$ ). Процедура навчання триває до тих пір поки не будуть оброблені всі значення множини вхідного вектору базового рівня  $y^i = y_1^i, \dots, y_n^i, \dots, y_N^i$ ,  $i = \overline{1, q_p}$  (всі результати анкетування пасажирів). Лише після завершення процедури навчання можлива реалізація оцінювання ефективності заходів управління МГПТ. Кожний керуючий захід який реалізується в межах технічного та технологічного середовища передбачає одержання відповідного відгуку у вигляді параметрів споживчої ЯТОН. Для встановлення такого зв'язку використо-

вуються матриці переходу, що встановлюються для кожного об'єкта експериментальним шляхом на основі сервісно-ресурсного моделювання. Вектор параметрів ЯОН  $y^m$  одержаних в результаті впровадження сукупності керуючих заходів проходить перевірку в модулях «приймач 1» та «приймач 2». Якщо його значення відповідають правилам модуля «приймач 2» (входить до кожного ступеня оцінювання) то відбувається встановлення зміни ЯТОН. У разі коли спостерігається покращення ЯТОН (перехід в напрямку  $A_v \rightarrow A_w$ ) то рішення може бути перевірене на відповідність локальним критеріям рівнів  $B_{ei}$ ,  $B_{re}$ ,  $B_{ts}$ ,  $B_{ec}$ . Така перевірка передбачає встановлення трьох типів змін: позитивне, нейтральне та негативне. Матриця оцінки ефективності управління МГПТ представлена в нечіткій формі у вигляді сукупності продукційних правил. Нечіткі продукційні правила встановлюють характеристичний зв'язок між причиною зниження ЯТОН та управлінськими заходами.

Таким чином процедура формування управління МГПТ складається з двох основних блоків: встановлення меж ступенів відповідності параметрів ЯТОН на основі реалізації процедури розпізнавання образів та оцінка ефективності через виділення ступені впливу на внутрішні та зовнішні рівні.

### Висновки

Основним завданням проектування системи управління МГПТ є розробка детального плану процесу, за допомогою якого формуються управлінські рішення, проводиться оцінка доцільності їх реалізації та може бути встановлена послідовність їх виконання. Передумовою проектування такого апарату є вимоги до формування управлінських рішень у вигляді єдиної об'єднаної функціональної системи. Для розробки системи управління МГПТ доцільно застосувати метод аналітичного розбиття загальної системи на підсистеми на основі принципів ідентифікаційно-структурного аналізу до структурних моделей опису ЯТОН та встановлення базового продукційного зв'язку її зміни. Такий підхід передбачає представлення опису управління МГПТ у вигляді сукупності взаємопов'язаних підпроцесів, що дає можливість в подальшому деталізувати та адаптувати її до практичного застосування.

Основою для системи управління МГПТ є представлення її у вигляді комплексної задачі, що для свого вирішення потребує розробки та формалізації апарату ідентифікаційно-структурного багаторівневого аналізу ЯТОН як основоположного інструментарію оцінки його ефективності.

Вирішення завдання організації системи комплексного управління МГПТ з метою підвищення ЯТОН є складною багатоетапною процедурою до складу якої входять етапи: виявлення місць та джерел зниження ЯТОН; розподіл та наліз інформації; формування схеми процесів в системі управління; розробка сукупності альтернатив управлінських рішень; розробка механізму визначення сфери впливу управлінської пропозиції та багаторівневого узгодження рішень; розробка системи допомоги прийняття управлінських рішень та процедури їх підтвердження; масштабування системи управління в реальному процесі.

Сформована структура комплексної адаптивної резонансної моделі управління МГПТ ґрунтується на встановленні класифікаційних ознак ЯТОН та містить базові шари порівняння та розпізнавання умов її забезпечення. Представлена процедура відображає загальну послідовність етапів, що у подальшому можуть бути формалізовані у вигляді локальних моделей підтримки управлінських рішень.

### Литература

1. Lee R. J., Sener I. N. (2016). Transportation planning and quality of life: Where do they intersect? *Transport policy*. 2016. Vol. 48. 146-155.
2. Горбачев П. Ф., Макаричев О. В., Чижик В. М. (2013). Оценка времени ожидания при различных способах организации движения транспортных средств на маршруте. *Автомобильный транспорт*, 33. 82-86.
3. Dixit M., Brands T., van Oort N., Cats O., Hoogendoorn S. (2019). Passenger travel time reliability for multimodal public transport journeys. *Transportation Research Record*, 2673(2). 149-160.
4. Wei Z. H., Cai-Liang J. (2005). Theoretical analysis of the interchange passengers in urban transport terminals. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 10. 23-30.
5. Vdovychenko V. (2018) Influence of reserve of carrying capacity of mass of points is on the sentinel parameters of outage of passenger of transport vehicles. *Technology audit and production reserves*. 1/2(39). 69-76.

6. Доля В. К., Лежнева О. І. (2004). Аспекти ефективності пасажирських перевезень. *Комунальне господарство міст*, (58). 158-163.
7. Вдовиченко В.О. Оцінка ресурсних можливостей міського пасажирського транспорту. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2014. №8. 35-39.
8. Tamaki T., Nakamura H., Fujii H., Managi S. (2019). Efficiency and emissions from urban transport: Application to world city-level public transportation. *Economic Analysis and Policy*, 61. 55-63.
9. Fan J. L., Wang J. X., Li F., Yu H., Zhang X. (2017). Energy demand and greenhouse gas emissions of urban passenger transport in the Internet era: A case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 165. 177-189.
10. Mangiaracina R., Perego A., Salvadori G., Tumino A. (2017). A comprehensive view of intelligent transport systems for urban smart mobility. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(1). 39-52.
11. Ferreira M. C., Fontesz T., Costa V., Dias T. G., Borges J. L., e Cunha J. F. (2017). Evaluation of an integrated mobile payment, route planner and social network solution for public transport. *Transportation research procedia*, 24. 189-196.
12. Вдовиченко В. О. Структура оцінки ефективності міського громадського пасажирського транспорту з позицій сталого розвитку. *Наукові нотатки*. 2017. 59. 38-44.
13. Keller C., Struwe S., Titov W., Schlegel T. Understanding the usefulness and acceptance of adaptivity in smart public transport. *International Conference on Human-Computer Interaction*. July, 2019. 307-326.
14. Корягин М. Е. (2011). Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. *Наука*. 139.
15. Фролова О. Н., Тибалова С. О. (2015). Системный подход к управлению на транспорте. *Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития*, (18). 197-202.
16. Малыгин И. Г., Комашинский В. И., Афонин П. Н. (2015). Системный подход к построению когнитивных транспортных систем и сетей. *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России»*, (4). 68-73.
17. Щербань А. Б. (2010). Классификация задач идентификационно-структурного анализа. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*, (2). 3-12.

### References

1. Lee R. J., Sener I. N. (2016). Transportation planning and quality of life: Where do they intersect? *Transport policy*. 2016. Vol. 48. 146-155.

2. Gorbachev P. F., Makarichev O. V., Chizhik V. M. (2013). Otsenka vremeni ozhidaniya pri razlichnykh sposobakh organizatsii dvizheniya transportnykh sredstv na marshrute [Waiting time estimation for different methods of route vehicle operation organization]. *Avtomobilnyi transport*, 33. 82-86.
  3. Dixit M., Brands T., van Oort N., Cats O., Hoogendoorn S. (2019). Passenger travel time reliability for multimodal public transport journeys. *Transportation Research Record*, 2673(2). 149-160.
  4. Wei Z. H., Cai-Liang J. (2005). Theoretical analysis of the interchange passengers in urban transport terminals. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 10. 23-30.
  5. Vdovychenko V. (2018) Influence of reserve of carrying capacity of massage of points is on the sentinel parameters of outage of passenger of transport vehicles. *Technology audit and production reserves*. 1/2(39). 69-76.
  6. Dolia V. K., Lezhneva O. I. (2004). Aspekty efektyvnosti pasazhyrskoykh perevezen [Aspects of passenger transportation efficiency]. *Komunalne hospodarstvo mist*, (58). 158-163.
  7. Vdovychenko V. O. Otsinka resursnykh mozhlyvostei miskoho pasazhyrskoho transportu [Assessment of resource capabilities of urban passenger transport]. *Transportni systemy ta tekhnolohii perevezen*. 2014. №8. 35-39.
  8. Tamaki T., Nakamura H., Fujii H., Managi S. (2019). Efficiency and emissions from urban transport: Application to world city-level public transportation. *Economic Analysis and Policy*, 61. 55-63.
  9. Fan J. L., Wang J. X., Li F., Yu H., Zhang X. (2017). Energy demand and greenhouse gas emissions of urban passenger transport in the Internet era: A case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 165. 177-189.
  10. Mangiaracina R., Perego A., Salvadori G., Tumino A. (2017). A comprehensive view of intelligent transport systems for urban smart mobility. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(1). 39-52.
  11. Ferreira M. C., Fontesz T., Costa V., Dias T. G., Borges J. L., Cunha J. F. (2017). Evaluation of an integrated mobile payment, route planner and social network solution for public transport. *Transportation research procedia*, 24. 189-196.
  12. Vdovychenko V. O. Struktura otsinky efektyvnosti miskoho hromadskoho pasazhyrskoho transportu z pozytsii staloho rozvytku [Structure of the evaluation of the efficiency of urban public passenger transport from the standpoint of sustainable development]. *Naukovi notatky*. 2017. 59. 38-44.
  13. Keller C., Struwe S., Titov W., Schlegel T. Understanding the usefulness and acceptance of adaptivity in smart public transport. *International Conference on Human-Computer Interaction*. July, 2019. 307-326.
  14. Koryagin M. E. (2011). Ravnovesnyie modeli sistemyi gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyah konflikta interesov [Equilibrium models of the urban passenger transport system in the context of a conflict of interests]. *Nauka*. 139.
  15. Frolova O. N., Tibalova S. O. (2015). Sistemnyi podhod k upravleniyu na transporte [Systematic approach to the management of transport]. *Ekonomika i upravlenie: analiz tendentsiy i perspektiv razvitiya*, (18). 197-202.
  16. Malyigin I. G., Komashinskiy V. I., Afonin P. N. (2015). Sistemnyi podhod k postroeniyu kognitivnykh transportnykh sistem i setey [Systematic approach to building cognitive transport systems and networks]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii*, (4). 68-73.
  17. Scherban A. B. (2010). Klassifikatsiya zadach identifikatsionno-strukturnogo analiza [Classification of problems of identification and structural analysis]. *Izvestiya vyisshih uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tehnicheskie nauki*, (2). 3-12.
- Іванов Ігор Євгенович**<sup>1</sup>, к.т.н, доцент, +38 061 213-82-76, e-mail: [zpavtotrance@ukr.net](mailto:zpavtotrance@ukr.net)  
**Вдовиченко Володимир Олексійович**<sup>2</sup>, д.т.н., проф. каф. Транспортних технологій, +38 050-403-17-10, e-mail: [Vval2301@gmail.com](mailto:Vval2301@gmail.com)  
<sup>1</sup>ПрАТ Запоріжавтотранс, 69063, м. Запоріжжя, вул. Покровська, 30.  
<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

**Structure of adaptive resonant model of managing the quality of city public passenger transportation**

**Abstract. Problem.** The need to develop and implement city passenger transport management systems is explained by the current trend to account the integrated efficiency of technological processes implementation within enterprises, transport infrastructure and socio-ecological environment. Also, the assessment of management efficiency should reflect the list of requirements to social significance of public transportation quality. The introduction of city passenger transport management system is a complex task that requires development and formalization of the apparatus for identification and structural multilevel analysis of the quality of public transportation as a fundamental tool for assessing its effectiveness. **Methodology.** By adapting the principles of identification and structural analysis to syntactic structural models of describing the quality of transportation and establishing the basic production connection of its change, a set of instrumental directions for city public passenger transport management is stressed through formalization of processes within the basic levels of



their evaluation. Identification and structural analysis of city passenger transport means establishing a general algorithm for forming a hierarchy of problematic tasks of ensuring the quality of transportation and find effective measures to solve them in a multivariate management. The formed structure of the complex adaptive resonant model of passenger transport management is based on establishing the classification signs of public transportation quality and contains the basic layers of comparison and recognition of conditions for its maintenance. **Originality.** The situational and structural approach is offered as an invariant basis for the system analysis of difficult objects when implementing the principles of complex management of city passenger transport. It is proposed to approach the choice of the structural modeling apparatus that satisfies the selected requirements of the strategic management of city passenger transport from the standpoint of the possibilities of syntactic formalization of descriptions of its levels and the tasks of identification and structural analysis. **Practical value.** Based on the principles of adaptive resonance theory, the structure of the model of multilevel coordination of local control parameters is developed and a sequence of their quantitative

comparative evaluation is formed according to the basic units corresponding to strategic types of city passenger transport management: improving mobility and quality of transportation, economic incentives, resource efficiency of transport infrastructure, road safety, environmental impact. The developed general structure of the contour of integrated city public transport management allows in prospect to form a model of multilevel coordination of local parameters and is a methodological basis for implementation of automated decision support systems.

**Key words:** city public transport, quality of transport services, integrated management, identification and structural analysis.

**Igor Ivanov<sup>1</sup>**, PhD, Associate Professor, +38 061 213-82-76, e-mail: [zpavtotrance@ukr.net](mailto:zpavtotrance@ukr.net)

**Volodymyr Vdovychenko<sup>2</sup>**, doctor of Technical Sciences, Prof. Transport technologies Department, +38 050-403-17-10, e-mail: [Vval2301@gmail.com](mailto:Vval2301@gmail.com)

<sup>1</sup>Prat «Zaporizhzhavtotrans», 30, Pokrovskaya str., Zaporizhzhia, 69063, Ukraine.

<sup>2</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА ДАНИМИ РЕЄСТРАТОРІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ АВТОТЕХНІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Данець С. В.<sup>1</sup>, Яловенко В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр  
Міністерства внутрішніх справ України

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація*** Розглянуті основні тенденції розвитку методів оцінки руху транспортних засобів за даними реєстраторів при проведенні автотехнічних досліджень дорожньо-транспортних пригод. Відмічено, що сучасні відеореєстратори крім стандартного фіксування подій у вигляді відеозапису мають додаткові функції фіксування параметрів руху транспортних засобів, що дає змогу більш об'єктивно та поглиблено досліджувати обставини дорожньо-транспортних пригод. Був проведений експеримент за результатами якого, було встановлено, що точність та відображення отриманих даних з відеореєстратора за допомогою G-сенсора в даний час потребує вдосконалення та оптимізації.

***Ключові слова:*** транспортний засіб, відеореєстратор, сенсор, сповільнення, параметри руху, програмне забезпечення, відеозапис, експертиза.

### Вступ

Безпека дорожнього руху в наш час - це невід'ємна складова розвитку суспільства. Постійно зростаюча чисельність транспортних засобів (ТЗ) є вагомим етапом розвитку економіки країн, але зростання кількості ТЗ на дорогах створює небезпеку для здоров'я та життя громадян, оскільки разом з цим зростає чисельність дорожньо-транспортних пригод (ДТП).

Для автотехнічних досліджень (експертизи) ДТП автомобільні відеореєстратори – це досить новий вид мобільних пристроїв, спеціально призначених для фіксації подій з подальшим їх відтворенням в якості доказів на випадок спірних ситуацій на дорозі. Матеріали, отримані за допомогою автомобільних реєстраторів використовуються в досудовому розслідуванні, судовій і страховій практиці.

Зазвичай відеореєстратори дозволяють записувати, зберігати та відтворювати відео, аудіо інформацію. Відеореєстратори обладнані G-сенсором, мають функцію запису в окремий файл непередбачуваних подій, які можуть виникнути при русі автомобіля: різка зміна траєкторії руху, прискорення, гальмування, удар.

Близько 25% ДТП відбуваються через перевищення швидкості руху ТЗ. Швидкість руху транспортних засобів - це один з основних параметрів, який значно впливає на виникнення і розвиток механізму ДТП. Саме тому встановлення швидкості є сутте-

вою складовою в питаннях ДТП [1].

В рамках дослідження запису з відеореєстратора можна дослідити причинно-наслідковий зв'язок між діями водія та настанням аварії. Основне завдання дослідження даної роботи, лежить в оцінці параметрів руху ТЗ за записом з відеореєстраторів, які використовуються при дослідженні ДТП.

### Аналіз публікацій

При експертному аналізі ДТП встановлюється наукова обґрунтованість характеристики механізму ДТП у всіх його фазах розвитку, визначаються причини, умови та дії окремих його учасників [2]. В ході проведення експертного аналізу експерти, які досліджують ДТП, мають змогу надати відповідь на важливе питання: чи це був нещасний випадок, або ДТП відбулося в результаті невідповідних дій його учасників, що знехтували вимогами Правил дорожнього руху.

Відеореєстратор є доступним та доволі поширеним пристроєм серед водіїв, які мають за мету захистити себе при виникненні суперечливих ситуацій, після настання ДТП. Розвиток технологій дав змогу поєднати компактний розмір пристрою з легкістю у використанні та доволі якісним фіксуванням подій у вигляді відеозапису.

Оскільки власники ТЗ все частіше встановлюють відеореєстратори, то з'являється можливість використання їх при дослідженні

ДТП з метою встановлення параметрів руху ТЗ і інших учасників, наприклад, таких, як: швидкість руху ТЗ, уповільнення та прискорення ТЗ, момент та час небезпеки [3].

В одній із статей де автори займалися дослідженням оцінювання невизначеності вимірювання швидкості автомобіля при проведенні автотехнічної експертизи ДТП, було розглянуто технічних засобів, які дозволяють фіксувати рух ТЗ в процесі ДТП: відеореєстратори, навігатори, системи EDR – Event Data Recorder [4]. Але в даній роботі автори розглядають кожен засіб окремо, а вказана система EDR у більшості експлуатованих автомобілів в Україні не фіксує дані по зіткненню, або зовсім відсутня. В свою чергу сучасні відеореєстратори, поєднують в собі функції GPS-трекера, запису прискорення (сповільнення) за G-сенсором та запису відеофайлів. Науковці з Японії, також проводять дослідження відеореєстраторів, як способу запису і фіксації параметрів руху ТЗ, оскільки на основі своїх досліджень, дослідники прийшли до висновку, що відеореєстратори являються ефективними засобами більш детального аналізу аварій. У своїх дослідженнях вони змогли поєднати відеореєстратор та деселерограф, що дало змогу під час запису відео, одночасно фіксувати і значення сповільнення ТЗ [5]. Оскільки дослідження, ще тривають і подібних комплексів, досі не представлено у продажу для водіїв, постає актуальність розгляду можливостей відеореєстраторів, які представлені у вільному продажі.

Судовий експерт сектору автотехнічних досліджень Харківського науково-дослідницького експертно-криміналістичного центру Міністерства внутрішніх справ України Лисенко М.Р. зазначає, що впровадження засобів відеореєстрації на автомобільному транспорті, на теперішній час є актуальним завданням з метою підвищення безпеки дорожнього руху, виконання якого дозволить зменшити кількість ДТП. Автор описує метод визначення швидкості руху ТЗ за допомогою звичайного відеозапису, без розгляду додаткових параметрів руху ТЗ, які також можуть фіксуватися сучасними відеореєстраторами [6].

В свою чергу Кабінет Міністрів України у своєму розпорядженні від 21 жовтня 2020 р. № 1360-р «Про схвалення стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 рік» зазначає од-

нією із своїх стратегій з підвищення безпеки дорожнього руху - це запровадження проведення сучасного дистанційного моніторингу руху транспортних засобів з використанням системи GPS [7]. Дана стратегія досить актуальна, оскільки система GPS моніторингу, як вказувалось вище, вже вмонтована в сучасні відеореєстратори.

Науковці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) сумісно з експертами науково-дослідного експертно-криміналістичного центру (НДЕКЦ) при ГУМВС України в Харківській області проводили експерименти [1]. В цих експериментах був задіяний відеореєстратор Globex HC-104, який мав доволі вузький набір додаткових функцій. Саме тому, виходячи з вище вказаного, було прийнято рішення, дослідити крім стандартної функції відеозапису, додаткові функціональні можливості відеореєстраторів. Сучасні відеореєстратори мають доволі широкий набір додаткових функцій, які можуть зафіксувати більш детально параметри руху транспортного засобу в різній проміжки часу, під час розвитку ДТП. Прикладами фірм виробників таких відеореєстраторів можуть бути 70mai, Gazer та MiVue з моделями 70mai Dash Cam Pro Plus+, Gazer F155 та MiVue-j85 [10, 11, 12].

При використанні інформації з відеореєстраторів при проведенні автотехнічних досліджень ДТП виникає проблема у вигляді відсутності спеціальних методик та методів дослідження параметрів руху ТЗ за додатковими даними запису з відеореєстраторів обладнаних G-сенсором та GPS.

### **Мета та постановка задачі**

Метою роботи є оцінка можливості використання параметрів руху ТЗ за даними відеореєстраторів, обладнаних G –сенсором та GPS, при проведенні автотехнічних досліджень ДТП, на прикладі відеореєстратора MiVue-j85.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- оцінити функціональні можливості відеореєстратора MiVue-j85 та його супутнє програмне забезпечення;
- оцінити точність вимірювання відеореєстратором MiVue-j85 параметрів руху ТЗ, за результатами експериментальних випробувань;
- на основі оцінки точності вимірювання параметрів руху ТЗ та функціональних

можливостей, зробити висновок, щодо можливості застосування відеореєстратора MiVue-j85 під час проведення автотехнічних досліджень ДТП.

### Оцінка функціональних можливостей відеореєстратора MiVue-j85

З метою встановлення можливості використання в автотехнічних дослідженнях ДТП записів з відеореєстраторів обладнаних G-сенсором, на прикладі відеореєстратора преміум сегменту MiVue-j85(рис.1), за результатами реальних відеозаписів в різних дорожніх умовах, була виконана оцінка фу-

нкціональних можливостей відеореєстратора (табл. 1), за його технічними характеристиками.



Рис. 1. Відеореєстратор MiVue-j85

Таблиця 1 – Функціональні можливості відеореєстратора MiVue-j85

Назва параметру	Вимірювальна величина	В якому вигляді надається	Спосіб перегляду інформації
Швидкість руху автомобіля	км/год	В цифровому вигляді при перегляді відеозапису	На телефоні або комп'ютері з встановленими офіційними додатками MiVue Pro та MiVue Manager
Прискорення ТЗ відносно G за координатами (x, y, z)	Відносно G.	В цифровому вигляді при перегляді відеозапису	На телефоні або комп'ютері з встановленими офіційними додатками MiVue Pro та MiVue Manager
Геолокація	Географічна широта та довгота	В цифровому вигляді при перегляді відеозапису	На комп'ютері з встановленим офіційним додатком MiVue Manager

Даний тип відеореєстратора здатен реалізувати заявлені функціональні можливості завдяки використанню спеціального програм-

ного забезпечення MiVue Pro та MiVue Manager (рис. 2).

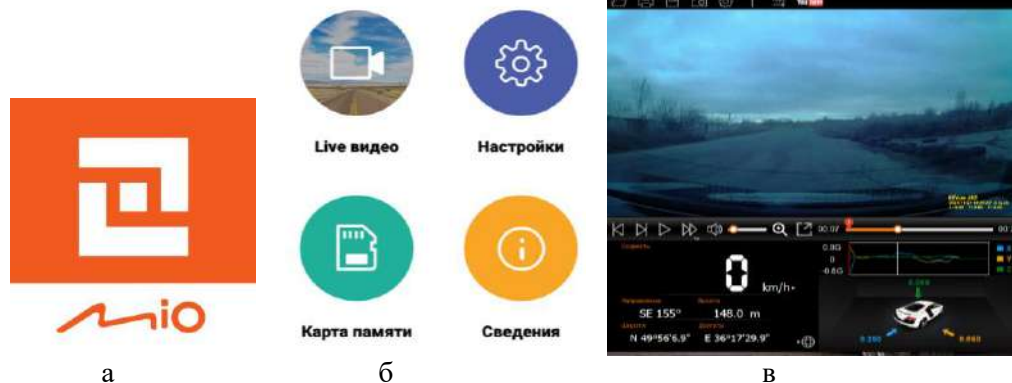


Рис. 2. Програмне забезпечення відеореєстратора MiVue-j85: а – логотип програмного забезпечення MiVue Pro; б – головне вікно програмного забезпечення MiVue Pro; в – головне вікно програмного забезпечення MiVue Manager

### Оцінка точності вимірювання параметрів руху ТЗ відеореєстратором MiVue-j85 за результатами експериментальних випробувань

Для оцінки точності вимірювань величин прискорення (сповільнення) за даними G-сенсора відеореєстратора MiVue-j85 були виконанні експериментальні випробування.

Випробування проводилися на сухому ас-

фальтобетонному покритті, горизонтального профілю. Водій під час руху застосовував екстрене гальмування, шляхом одноразового натиснення на педаль гальма до повної зупинки транспортного засобу.

Об'єктом випробування є процес руху та гальмування автомобіля Nissan Qashqai, реєстраційний номер AX3900IM, 2019 року випуску, який був обладнаний вказаним вище ві-

деореєстратором. Автомобіль, обладнаний шинами марки Hankook з глибиною протектору 7 мм. Пробіг ТЗ 8568 км. За даними діагностики, ТЗ на момент випробування знаходився в справному технічному стані.

Згідно інструкції до експлуатації відеореєстратора MiVue-j85 [12], перед застосуванням відеореєстратора були проведені налаштування наступним чином. На смартфон встановлюється відповідне програмне забезпечення MiVue Pro. За допомогою Wi-Fi з'єднання встановлюємо зв'язок між відеореєстратором та смартфоном, після чого в головному меню обираємо меню «Налаштування». В вищевказаному меню, обираючи певні пункти, здійснюємо правильне позиціонування відеокамери з урахуванням квадратів розмітки картини (рис. 3).

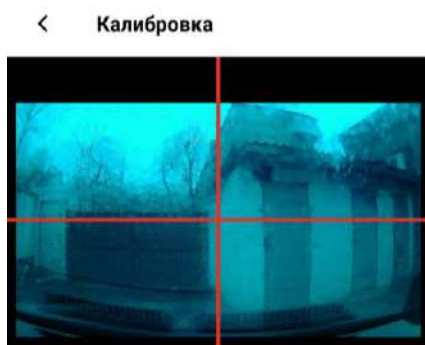


Рис. 3. Позиціонування відеокамери

Налаштовуємо функції g-сенсору для режиму руху заходимо в меню налаштувань (рис. 4, а), та вибираємо розділ «G-сенсор» (рис. 4, б), після чого обираємо чутливість датчику. При проведенні експерименту чутливість G-сенсору змінювалась вибірково оператором у трьох наведених у характеристиках режимах (висока, середня, низька).

При звичайному перегляді відеозапису з відеореєстратора MiVue-j85, який здійснюється за допомогою смартфона, можна побачити лише індикацію поточних параметрів руху ТЗ таких, як дату, час, швидкість та прискорення за трьома координатами (рис. 5). Вбудована у реєстратор GPS-навігація дозволяє разом з відеозаписом записувати GPS-дані про швидкість руху ТЗ і його місце розташування.

Слід зазначити, що виробники відеореєстраторів, як правило, не вказують розмірність до величини прискорення. Це ускладнює подальшу роботу експерта. Тому навіть за умови наявності сертифікованих приладів, які дозволяють вимірювати усталене сповільнення, порівняти результати, неможливо.

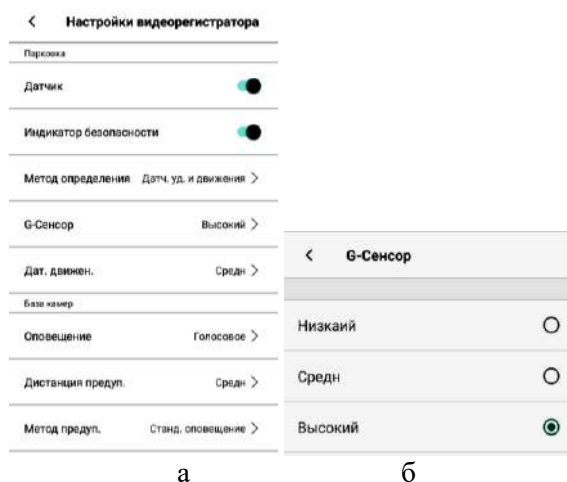


Рис. 4. Програмне налаштування відеореєстратора: а – меню налаштувань відеореєстратора; б – вибір чутливості G-сенсору



Рис. 5. Поточна індикація параметрів руху автомобіля

Завдяки використанню програмного забезпечення MiVue Manager, яке встановлюється на персональний комп'ютер, при наявності карти запису, на якій збережено відеозапис, можна отримати більш розширені параметри руху ТЗ (рис. 6, рис. 7). Програмне забезпечення MiVue Manager, дозволяє відобразити покази G-сенсору в графічному вигляді (рис. 7) на протязі всього відеозапису та географічні координати місця знаходження автомобіля. За допомогою сервісів Google Maps, при внесенні зафіксованих координат, можна отримати інформацію про приблизне розташування автомобіля в момент запису у вигляді відмітки (рис. 8), слід відзначити, що під час випробувань рух автомобіля здійснювався між двома будівлями № 18 та № 16 рухаючись до вул. Каразіна.

Для більшої наочності автомобіль і напрямок руху, було відображено на (рис. 8), як бачимо реальне розташування автомобіля та зафіксоване за допомогою GPS, відрізняються.





Рис. 6. Розширені параметри на відеозаписі у спеціальному програмному забезпеченні MiVue Manager



Рис. 7. Графіка показів g-сенсору

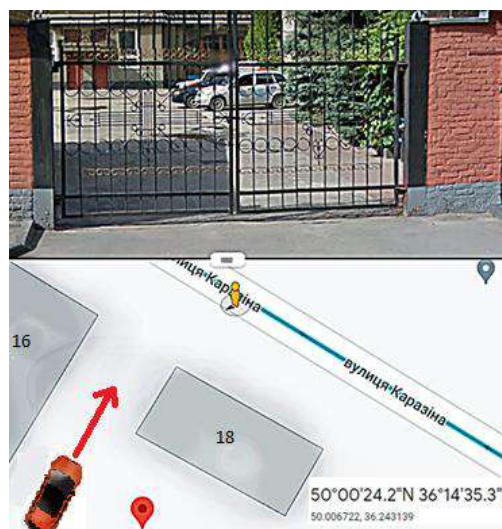


Рис. 8. Відображення місця розташування ТЗ після ведення зафіксованих геоданих

В ході аналізу даних, отриманих при проведенні ходових випробувань, було встановлено, що отримані дані не співпадають по часу з подіями, які фіксуються на відеозаписі, присутня затримка фіксації параметрів (табл. 2).

Таблиця 2 – Затримка фіксації параметрів, відносно відеозапису

Опція відеореєстратора	Параметр вимірювання	Отримані дані на момент зупинки ТЗ	Затримка фіксації даних, відносно відеозапису
GPS	географічні координати	50°00'24.2"N 36°14'35.3"E	1-3 с
	швидкість руху ТЗ	34 км/год.	1-2 с
G-сенсор	прискорення (сповільнення)	в графічному вигляді	0,2-0,5 с

В подальшому було встановлено, що недоліком даної системи, яка поєднує відеореєстратор MiVue-j85 та програмне забезпечення MiVue Manager є те, що з графіків прискорення не зовсім розуміло розмірність величини, що вимірює G-сенсор відеореєстратора. Також на графіку нема зв'язку між показниками G-сенсору та часом руху ТЗ, до того ж присутня значна затримка при вимірюванні швидкості руху відносно відеозапису, яка в свою чергу фіксується за допомогою GPS. Крім того, значення швидкості та індикація часу прив'язані тільки до картинки відеозапису і не мають зв'язку з графіками прискорень, тим більш присутня похибка при синхронізації відеозапису та зафіксованими даними.

Цей недолік унеможливує застосування отриманих з записів відео реєстраторів параметру сповільнення та значення швидкості руху ТЗ в певний момент часу відносно відеозапису у автотехнічних дослідженнях так, як

допускає значну похибку при подальших розрахунках.

### Висновки

Для застосування параметрів руху ТЗ за даними відеореєстраторів, обладнаних G-сенсором, при проведенні автотехнічних досліджень необхідно, щоб на відеозаписі були синхронізовані між собою: сам відеозапис, час, швидкість та прискорення. У відеореєстратора MiVue-j85 така синхронізація не відбувається, покази G-сенсора та швидкість руху не співпадають в обраний момент часу з подіями зафіксованими на відеозаписі, а саме: автомобіль почав гальмувати на відеозаписі, а його покази швидкості залишилися незмінні і тільки через 1-2 секунди покази починають змінюватись, аналогічна ситуація з показами G –сенсора з затримкою 0,2-0,5 с.

Для можливості проведення експертних автотехнічних досліджень потрібно, щоб виробники відеореєстраторів вказували розмір-

ність виміру параметрів G -сенсора. У відеореєстратора MiVue-j85 відсутня розмірність виміру параметрів G -сенсора.

Наявність інтегрованих у відеореєстратор GPS-навігації та G-сенсора, дають можливість визначити параметри руху ТЗ та координати розташування ТЗ в процесі зміни його динаміки руху, але зі значною похибкою, що не задовольняє вимоги експертів з дослідження ДТП.

### Литература

1. Сараєв, А. В., Данец С.В. Методи дослідження дорожньо-транспортних происшествий с использованием современных автоматизированных средств. Наука и техника. 2019. № 3. С. 256-264. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-256-264>
2. Словарь основных терминов судебной автотехнической экспертизы. В. Н. Аверьянов, Р. Г. Армадеров и др.; под ред. Ю. Б. Суворова. М.: ВНИИСЭ, 1988. 64 с.
3. Шевцов С.О., Данец С.В. Застосування автоматизованих засобів дослідження обставин ДТП. Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху: міжнародна науково-практична конференція: тези доп. (16–17 квітня 2013 р.). Х.: ХНАДУ, 2013. С. 162–164.
4. Оцінювання невизначеності вимірювання швидкості автомобіля при автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5297/14.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 13.01.2021).
5. Accidents and near-misses analysis by using video drive-recorders in a fleet test URL: [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/accidents\\_and\\_near-misses\\_analysis\\_by\\_using\\_videos\\_in\\_fleet\\_test.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/accidents_and_near-misses_analysis_by_using_videos_in_fleet_test.pdf) (дата звернення 16.02.2021).
6. Переваги наявності засобів відеореєстрації в автомобілі під час дорожньо-транспортної пригоди URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139/article/view/4493/4438> (дата звернення 13.01.2021).
7. Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1360-2020-%D1%80#n8> (дата звернення 13.01.2021).
8. Dash Cam 70mai. URL: <https://www.70mai.com/en/dash-cam-pro/> (дата звернення 12.01.2021).
9. Dash Cam gazer. URL: <https://www.gazer.com/ru/carelectronics/products/dashcameras/> (дата звернення 12.01.2021).
10. Dash Cam MiVue. URL: <https://www.mio.com.ua/> (дата звернення 12.01.2021).
11. Mio MiVue J85 інструкція. URL: [https://www.manualspdf.ru/mio/mivue-](https://www.manualspdf.ru/mio/mivue-j85/%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F?p=1)

[j85/%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F?p=1](https://www.manualspdf.ru/mio/mivue-j85/%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F?p=1) (дата звернення 12.01.2021).

12. Saraiev, O. and Gorb, Y., "A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car," SAE Technical Paper 2018-01-1893, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1893>
13. Danez S., Saraiev O. Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking. Technology audit and production reserves. 2018. №3/1(41).P. 22–28.
14. Сараєв О. В. Новітні технології дослідження обставин дорожньо-транспортної пригоди. *Вісник національного транспортного університету*. 2013. Вип. 28. С. 405–414.
15. Сараєв А. В., Данец С. В. Современные технологии исследования дорожньо-транспортного происшествия. *Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования*: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. (20–21 марта 2014 г.). Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 158–161.

### References

1. Saraev, A. V., Danets S.V. (2019) Metody issledovaniya dorozhno-transportnykh proisshествii s ispol'zovaniem sovremennykh avtomatizirovannykh sredstv. [Methods of research of road accidents with use of modern automated means]. *Nauka i tekhnika*. 3. 256-264. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-256-264> [in Russian]
2. V. N. Aver'yanov, R. G. Armaderov i dr.; pod red. YU. B. Suvorova. (1988) Slovar' osnovnykh terminov sudebnoi avtotekhnicheskoi ehkspertizy. [Dictionary of basic terms of forensic auto-technical examination]. M.: VNIIEH, 1988. 64 s. [in Russian]
3. Shevtsov S.O., Danets' S.V. (2013) Zastosuvannya avtomatizovanih zasobiv doslidzhennya obstavyn DTP. Problemi pidvishchennya rivnya bezpeki, komfortu ta kul'turi dorozhn'ogo rukhu. [Application of automated means of research of circumstances of road accident. Problems of increasing the level of safety, comfort and culture of road traffic]. *Mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsiya: tezi dop.* (16–17 kvitnya 2013 r.). KH.: KHNADU, 2013. S. 162–164. [in Ukrainian]
4. Ocinyuvannya nevznachenosti vimiryuvannya shvidkosti avtomobilya pri avtotekhnichnij ekspertizy dorozhno-transportnih prigod [Estimation of uncertainty of measurement of speed of the car at autotechnical expertise of road accidents] URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5297/14.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed: 13.01.2021). [in Ukrainian]
5. Accidents and near-misses analysis by using video drive-recorders in a fleet test URL: [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/accidents\\_and\\_near-misses\\_analysis\\_by\\_using\\_videos\\_in\\_fleet\\_test.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/accidents_and_near-misses_analysis_by_using_videos_in_fleet_test.pdf) (accessed: 16.02.2021).

6. Perevahy naiavnosti zasobiv videoreieistratsii v avtomobili pid chas dorozhno-transportnoi pryhody [Advantages of having video recording equipment in the car during a traffic accident] ULR: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139/article/view/4493/4438> (accessed: 13.01.2021). [in Ukrainian]
7. Pro skhvalennia Stratehii pidvyshchennia rivnia bezpeky dorozhnogo rukhu v Ukraini na period do 2024 roku [On approval of the Strategy for improving the level of road safety in Ukraine until 2024] ULR: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1360-2020-%D1%80#n8> (accessed: 13.01.2021) [in Ukrainian]
8. Dash Cam 70mai. ULR: <https://www.70mai.com/en/dash-cam-pro/> (accessed: 12.01.2021).
9. Dash Cam gazer. ULR: <https://www.gazer.com/ru/carelectronics/products/dashcameras/> (accessed: 12.01.2021).
10. Dash Cam MiVue. ULR: <https://www.mio.com/ua/> (accessed: 12.01.2021).
11. Mio MiVue J85 instruktsiya. [Instructions] ULR: <https://www.manualspdf.ru/mio/mivue-j85/%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F?p=1> (accessed: 12.01.2021). [in Russian]
12. Saraiev O., Gorb, Y. (2018) A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car," SAE Technical Paper 2018-01-1893, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1893>
13. Danez S., Saraiev O. (2018) Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking. Technology audit and production reserves. /1(41). 22–28.
14. Saraev O. V. (2013) Novitni tekhnologii doslidzhennya obstavin dorozhn'o-transportnoi prigodi. [The latest technologies for investigating the circumstances of a traffic accident]. Visnik natsional'nogo transportnogo universitetu. 28. 405–414. [in Ukrainian]
15. Saraev A. V., Danets S. V. (2014) Sovremennye tekhnologii issledovaniya dorozhno-transportnogo proisshestviya. [Modern technologies for investigation of road traffic accidents]. Al'ternativnye istochniki ehnergii na avtomobil'nom transporte: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (20–21 marta 2014 g.). Voronezh: VGLTA, 2014. S. 158–161. [in Russian]

**Данець Сергій Віталійович**<sup>1</sup>, кандидат технічних наук, завідувач сектора автотехнічних досліджень, [danez@ukr.net](mailto:danez@ukr.net), тел.+38 050-958-372, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>

**Яловенко Владислав Вячеславович**<sup>2</sup>, аспірант, каф. автомобілів ім. А.Б. Гредескула, [vadyalovenko6969@gmail.com](mailto:vadyalovenko6969@gmail.com), 38-097-98-26-411.

<sup>1</sup>Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх

справ України, 61036, Україна, м. Харків, вул. Ковтуна, 34.

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### Evaluating traffic parameters of vehicles according to registrars when conducting automotive research

**Abstract.** *The main tendencies in developing the methods of evaluating vehicles movement according to registrars when conducting automotive research of road accidents are considered. It is noted that modern video recorders, in addition to the standard recording of events in the form of video, have additional functions of recording the parameters of traffic, which allows more objective and in-depth investigation of the circumstances of road accidents. Goal.* *The aim of the work is development of the method of obtaining quantitative data that allow to estimate the parameters of vehicle movement on video recordings made with the help of DVR MiVue-j85. Methodology.* *Theoretical data of the functionality of the MiVue-j85 video recorder were verified and analyzed during the real experiment. The study includes an analysis of quantitative data to assess the parameters of vehicle movement on video recordings made using a video recorder MiVue-j85. Results.* *It is noted that this method currently has a number of disadvantages, which are the imperfect system of synchronization, display and recording of the received data using software designed for the DVR. The presence of integrated in the DVR GPS-navigation and G-sensor, make it possible to determine the parameters of the vehicle and the coordinates of the location of the vehicle in the process of changing its dynamics, but with a significant error that does not meet the requirements of accident research. Originality.* *For the first time, the method of obtaining vehicle motion parameters using a video recorder with a built-in G-sensor is shown. Practical value.* *The obtained results can be used in practice in the study of the circumstances of the accident. Application of the certain method will allow facilitating the process of reception of initial data, namely the parameters of vehicle movement when studying road accidents.*

**Key words:** *vehicle, video recorder, sensor, deceleration, motion parameters, software, video recording, examination.*

**Danets Serhii V.**<sup>1</sup>, PhD, Head of Automotive Engineering Research, [danez@ukr.net](mailto:danez@ukr.net), tel. +38 050-958-3725, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>

**Yalovenko Vladyslav V.**<sup>2</sup>, PhD student, Department of Automobiles named after A.B. Gredeskul, [vadyalovenko6969@gmail.com](mailto:vadyalovenko6969@gmail.com), tel. 097-98-26-411.

<sup>1</sup>Kharkiv State Research and Forensic Science Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine 61036, Ukraine, Kharkiv, st. Kovtuna, 34.

<sup>2</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine