

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

LUTSK NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ
ТА ТРАНСПОРТІ**

**ADVANCES
IN
MECHANICAL ENGINEERING
AND TRANSPORT**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSN 2313-5425

№2 (15)

2020

ЛУЦЬК LUTSK

Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2020.– №2(15).– 167 с.

В матеріалах наукового журналу висвітлюються результати наукових досліджень та науково-дослідних розробок в галузі машинобудування, автомобільного транспорту, транспортних систем і транспортних технологій на автомобільному транспорті, а також, математичного та комп'ютерного моделювання технічних процесів та систем.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації – КВ №20504-10304Р від
30.12.2013р.

**Науковий журнал включений до Переліку наукових фахових видань
України
згідно наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від
17.03.2020 р.**

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор: **Пустюльга Сергій Іванович**, д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет.

Заступник головного редактора: **Дударєв Ігор Миколайович**, д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет;

Видавничий редактор: **Самостян Віктор Русланович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет.

Відповідальний секретар: **Онищук Василь Петрович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет.

Члени редколегії: **Бартломейчик Миколай**, доктор інженерії, Гданський технологічний університет (Республіка Польща); **Заболотний Олег Васильович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Захарчук Віктор Іванович**, д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет; **Кравченко Олександр Петрович**, д.т.н., професор, Державний університет «Житомирська політехніка»; **Луїс Фролен Рібейро**, професор, Політехнічний Інститут Браганси (Португалія), **Мурований Ігор Сергійович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Налобіна Олена Олександрівна** д.т.н., професор, Національний університет водного господарства та природокористування, **Поляк Мілош**, PhD, професор, декан факультету управління транспортом та телекомунікацій Жилінського університету, (Словаччина), **Пуць Віталій Степанович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Сахно Володимир Прохорович**, д.т.н., професор, Національний транспортний університет; **Славінскас Стасіс**, д.т.н., професор, Університет Вітовта Магнуса (Каунас, Литва), **Таран Ігор Олександрович**, д.т.н., професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», **Цизь Ігор Євгенович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Шимчук Сергій Петрович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет.

Друкується за рішенням вченої ради
Луцького національного технічного університету
(Протокол №3 від 03.12.2020р.)

ЗМІСТ		CONTENT	
Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М. Фактори, що впливають на стійкість руху автомобілів і автопоїздів у гальмівному режимі та критерії її оцінки	5	M. Handziuk, D. Handziuk Factors affecting the stability of movement of cars and trains in brake mode and criteria for its evaluation.....	5
Давідіч Ю.О., Чумаченко І.В., Галкін А.С., Давідіч Н.В. Куш Є.І. Інформаційний підхід щодо визначення закономірностей вибору водіями маршрутів руху.....	11	Y. Davidich, I. Chumachenko, A. Galkin, N. Davidich, Y. Kush. Information approach to determination of patterns of choice the route by drivers.....	11
Дембіцький В.М. Павлюк В.І. Визначення норм часу на технічне обслуговування транспортного засобу для формування трудомісткості робіт.....	20	V. Dembitskiy, V. Pavliuk. Determination of the norms of time for maintenance of the vehicle for the formation of labor intensity of work.....	20
Кищун В. А., Мулярчук Д. Ю. Відновлення деталей прецизійних пар паливних форсунок BOSCH з електромагнітним приводом.....	29	V. Kyshchun, D. Muliarchuk. Reconditioning of parts of precision pairs BOSCH fuel injector with electromagnetic drive.....	29
Котенко В.І. Особливості формування попиту у моделюванні ланцюгів поставок зернових культур.....	35	V. Kotenko Features of demand formation in the modeling of grain supply chains	35
Литвин В.В., Таран І.О. Кількісна оцінка впливу облаштування паркувальних місць у крайній правій смузі на ефективність дорожнього руху.....	41	V. Litvin., I. Taran. Quantative evaluation of effect by arrangement of parking spaces within a right line on the traffic efficiency	41
Літвінова Я.В., Білоног В.В. Удосконалення методичного підходу до побудови раціональних маршрутів перевезення вантажів автотранспортом.....	54	Ya. Litvinova, V. Bilonog. The methodical approach improvement to the designing of rational routes for freight transit by automobile trasportation	54
Маяк М.М., Прогній П.Б., Матвійшин А.Й., Попович П.В., Шевчук О.С., Островерхов В.М., Коцур А.С., Романишин О.В. Особливості розвитку ринку вантажних і пасажирських перевезень.....	64	M. Maiak, P. Prohnii, A. Matviyishyn, P. Popovych, O. Shevchuk, V. Ostroverkhov, A.Kotsur, O. Romanyshyn. Features of the development of the market of cargo and passenger transportation	64
Меленчук Т.М., Кирилюк Є.В. До питання формування системи оцінки якості перевезення пасажирів в містах.....	72	T. Melenchuk, Y. Kyryliuk. On the issue of forming a system for assessing the quality of passenger transportation in cities.....	72
Монастирський Ю.А., Максимова О.С., Потапенко В.В., Максименко І.С. Аналіз адекватності моделі технічної експлуатації системи технологічного автотранспорту	79	Yu. Monastyrskiy, O. Maksymova, V. Potapenko, I. Maksymenko Analysis of the appropriate model of the system of technological motor transport.....	79
Попович П.В., Побережний Л.Я., Мурований І. С., Шевчук О.С., Прогній П. Б., Побережна Л.Я., Плотиця В.М. Дослідження комфорту в громадському транспорті м. Тернополя	88	P. Popovych, O. Shevchuk, L. Poberezhny, I. Murovani, P. Prohnii, L. Poberezhna, V. Plotytsia. Research of comfort in public transport of Ternopil...	88
Постранський Т.М., Афонін М.О., Бойків М.В. Вплив проекрованої схеми організації кругового руху на нерегульованому перехресті міських вулиць на тривалість транспортної затримки.....	99	T. Postransky, M. Afonin, M. Boikiv. Influence of the roundabout traffic scheme project instead of the unregulated intersection of city streets on the transport delay duration	99

Пустюльга С.І., Пуць В.С., Клак Ю.В. Багатокритеріальна оптимізація розкрою плит ЛДСП для індивідуального меблевого виробництва.....	106	S. Pustiulha, V. Puts, Y. Klak. Multicriterion optimization will cut out flags for individual furniture production.....	106
Півторак Г.В., Голомовзій В.М., Жила М.П. Оцінка впливу зміни параметрів функції переваги на розподіл попиту на переміщення між транспортними районами міста.....	118	H. Pivtorak, V. Holomovzyu, M. Zhyla. Assessment of the influence of changes in the parameters of the utility function on the trip distribution between the transport zones of the city	118
Самостян В. Р. Ефективне використання підходів для імітаційного моделювання логістичних процесів.....	127	V. Samostian. Efficient use of approaches for simulation modeling of logistics processes	127
Сахно В.П., Яценко Д.М., І.С , Диких О.В., Стельмашук В.В., Онищук В.П. До вибору типу двигуна при модернізації БТР-70.....	134	V. Sakhno, D.Jachenko, O. Dykich, V. Stelmashchuk, V. Onyshchuk. To choose the type of engine when modernizing BTR-70.....	134
Хітров І.О., Кристопчук М.Є., Пашкевич С.М. Оціночні показники розвитку маршрутної системи громадського пасажирського транспорту міста Дубно	147	I. Khitrov, M. Krystopchuk, S. Pashkevych. Estimated indicators of the development of the public passenger transport route system in Dubno.....	147
Чеберячко С.І., Дерюгін О.В., Третьак О.О., Муха О.А. Оцінка ергономічних ризиків здоров'ю робітників автосервісу	155	S. Cheberyachko, O. Deryugin, O. Tretyak, O. Mukha. Evaluating ergonomic health risks to car service employees	155
Перелік рецензентів	165	List reviewers	165

Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М.
Луцький національний технічний університет

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СТІЙКІСТЬ РУХУ АВТОМОБІЛІВ І АВТОПОЇЗДІВ У ГАЛЬМІВНОМУ РЕЖИМІ ТА КРИТЕРІЇ ЇЇ ОЦІНКИ

З огляду на зростання інтенсивності руху на сучасних автомагістралях, необхідно підвищити безпеку транспортних засобів для уникнення аварійних ситуацій, що несуть за собою погіршення здоров'я людей та значні матеріальні втрати при пошкодженні транспортних засобів та вантажів. Особливо гостро це питання стосується автомобільних поїздів, процес руху та гальмування яких набагато складніший ніж в одиничних автомобілів. Необхідно щоб гальмівна система дозволяла регулювати швидкість руху автопоїзда у широкому діапазоні, протидіяла заносам, а також унеможливила складання ланок транспортного засобу та його зіткнення з іншими автомобілями, тобто забезпечувала відповідну стійкість. Водій повинен максимально контролювати поведінку транспортного засобу під часу руху, а за потреби швидко та безпечно зупинити його.

Поліпшення експлуатаційних властивостей автопоїздів у сучасних умовах руху є одним із пріоритетних завдань для забезпечення високого рівня безпеки їх експлуатації з максимальною ефективністю використання. Досягнення даних вимог можливе лише за умови врахування можливих змін технічного стану автопоїздів у процесі експлуатації. Зокрема, значну увагу слід відвести змінам, які можуть відбутися у гальмівній системі ланок автопоїзда, що можуть спричинити порушення оптимальних показників регулювання й розподілу гальмівних сил по осях та бортах транспортного засобу, що неминуче призводить до втрати стійкості його руху навіть при незначних швидкостях, особливо при максимальному завантаженні.

Зважаючи на це у роботі проведено аналіз факторів, що впливають на стійкість руху автомобілів і автопоїздів у гальмівному режимі та основних критеріїв стійкості і ефективності гальмування транспортних засобів, а також огляд нормативних документів, що їх регламентують.

Ключові слова: стійкість, гальмівний режим, гальмівний шлях, ефективність гальмування, питома гальмівна сила, усталене сповільнення, динамічний коридор, бокове ковзання, пробуксовування, смуга руху, напрям руху, лінійне відхилення, кутове відхилення, кут складання.

ВСТУП

Для досягнення високих показників продуктивності використання автопоїздів при здійсненні вантажоперевезень необхідно створити умови для їх експлуатації з максимальною ефективністю, тобто із максимальним завантаженням та при русі на максимальних швидкостях. Для цього, в першу чергу, потрібно забезпечити дотримання даними транспортними засобами основних експлуатаційних властивостей, що визначають безпеку руху. Серед найбільш важливих техніко-експлуатаційних властивостей автопоїздів, що забезпечують безпеку їх руху, варто виокремити стійкість, зокрема у гальмівному режимі. Адже втрата стійкості часто приводить до створення дорожньо-транспортних пригод, що супроводжуються травмуванням та значними матеріальними втратами.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблемі дослідження стійкості руху автомобіля та автопоїзда присвячено багато робіт, оскільки вона є важливою характеристикою, яка визначає його поведінку під впливом зовнішніх факторів. Дослідженню стійкості транспортних засобів при гальмуванні присвячені роботи Антонова Д.А., Волкова В.П., Закина Я.Х., Косолапова Г.М., Литвинова А.С., Ляпунова О.М., Малюгіна П.М., Певзнера Я.М., Подригало М.А., Полякова В.М., Ревіна О.О., Ревіна С.О., Сахна В.П., Солнцева О.М., Соцкова Д.О., Фалькевича Б.С., Хамова І.В., Хачатурова А.А., Чудакова Є. О. та інших науковців.

Дослідженню маневреності та стійкості руху автопоїздів компоновальної схеми «автомобіль-тягач - двовісний підкатний візок - тривісний напівпричіп» присвячені роботи [1], [2].

Проведений аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних науковців дозволив з'ясувати, що в своїх працях дослідники не використовують єдино прийнятого тлумачення поняття стійкості транспортного засобу в гальмівному режимі руху. В більшості, кожен з них акцентує увагу на певних окремих особливостях даної властивості. Проте, незважаючи на певне розходження у тлумаченні терміну, усі автори вважають стійкість важливою характеристикою транспортного засобу, яка дозволяє йому зберігати заданий напрямок руху, не відхилятися від нього під впливом прикладених сил та моментів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є аналіз факторів, що впливають на стійкість руху автомобілів і автопоїздів у

гальмівному режимі та критеріїв її оцінки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідники виділяють різні фактори, які порушують стійкість руху транспортних засобів у гальмівному режимі.

Зокрема, у роботі [3] автор, аналізуючи фактори, які впливають на стійкість автомобіля при гальмуванні, поділяє їх на дві групи: зовнішні та внутрішні.

Зовнішні: дорожні фактори, пов'язані зі зміною погодно-кліматичних умов, які впливають на зчеплення шин з опорною поверхнею, та провокують появу ділянок з поперечною неоднорідністю коефіцієнта зчеплення; наявність поперечних нахилів дорожнього покриття; вплив відцентрових сил, які діють на криволінійних ділянках доріг; вплив аеродинамічних сил, прикладених в боковому напрямку.

Внутрішні: фактори, обумовлені технічним станом конструктивних елементів автомобіля.

У роботі [4] виділено три основні групи факторів:

- зовнішні, які залежать від погодно-кліматичних умов та стану дороги;
- внутрішні, які залежать від технічного стану автомобіля,
- конструктивні, що залежать від досконалості конструкції гальмівної системи автомобіля.

У роботі [5] автор вважає, що порушення стійкості автомобіля може виникнути при визначених умовах його взаємодії з опорною поверхнею, а також внаслідок інерційних та аеродинамічних явищ. До таких умов автор відносить нерівності дорожньої поверхні, наявність поздовжніх та поперечних нахилів, нерівномірність сил зчеплення, а також різницю у величині дотичних реакцій на правому та лівому колесах.

У роботі [6] критеріями стійкості автор обрав кути повороту автомобіля-тягача та причепів у горизонтальній площині та відхилення автопоїзда за межі «безпечного коридору», шириною 3 м. На основі проведеного дослідження автор встановив, що нерівномірність впливу гальмівних моментів спричиняє втрату стійкості автопоїзда при гальмуванні з початкових швидкостей, які відповідають експлуатаційним нормам для даного транспортного засобу. Найбільш нестійкою ланкою досліджуваного автопоїзда є автомобіль-тягач, який першим виходив за межі «безпечного коридору» у всіх досліджених випадках гальмування. Автор вважає, що для оцінки розподілу гальмівних сил по осях транспортного засобу можна використовувати поняття питомих гальмівних сил осей автомобіля або ланок автопоїзда. Оптимальний розподіл гальмівних сил по осях транспортного засобу відбуватиметься тоді, коли питомі гальмівні сили всіх осей будуть рівними.

У ході проведених досліджень науковці, окрім факторів, що впливають на стійкість, виокремили ряд показників, які дозволяють характеризувати стійкість автомобілів при гальмуванні, проводити її оцінку.

Зокрема у роботі [9] автор виокремив два критерії для її оцінки: початок бокового ковзання осі, яке супроводжується пробуксовуванням і боковим ковзанням внутрішнього колеса та початок пробуксовування і бокового ковзання внутрішнього колеса осі.

У роботі [5] у якості критерію стійкості при заносі запропоновано використовувати критичну кутову швидкість $\omega_{кр}$:

$$\omega_{кр} = \phi g / v,$$

де ϕ – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;

v – швидкість руху транспортного засобу.

На основі проведених досліджень автор з'ясував, що при $\omega \leq \omega_{кр}$ рух транспортного засобу стійкий, а при $\omega > \omega_{кр}$ рух нестійкий.

У роботі [10] автор запропонував такі критерії для оцінки стійкості та ефективності гальмування автомобіля (рисунки 1):

- δ – лінійне відхилення від заданої смуги руху;
- δ^* – лінійне відхилення від лінії напрямку руху;
- γ – кутове відхилення від лінії напрямку руху;
- S_T – гальмівний шлях;
- $\Delta\gamma$ – порівняльний критерій по кутовому відхиленні;
- $\Delta\delta$ – порівняльний критерій по лінійному відхиленні;
- ε_s – порівняльний критерій ефективності гальмування;
- $\Delta\omega_1$ – приріст кутової швидкості автомобіля через 1 секунду після початку гальмування;
- $\Delta\gamma_1$ – приріст курсового кута автомобіля через 1 секунду після початку гальмування.

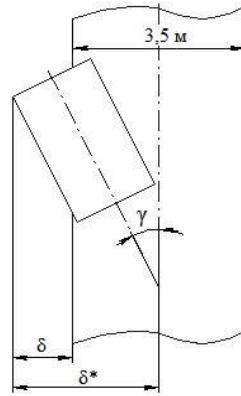


Рисунок 1 – Критерії оцінки стійкості транспортного засобу при гальмуванні

На основі аналізу умов руху автомобілів по автомагістралях встановлено [3], що найбільш повно їх положення характеризує динамічний коридор, який утворюється максимально віддаленими точками кузова автомобіля при його гальмуванні. Оцінка технічної стійкості автомобіля на основі порівняння отриманого при дослідженні динамічного коридору із коридором, визначеним нормативними документами, дозволить наблизити встановлені обмеження до вимог щодо безпеки руху.

У роботі [11] використано такі критерії для оцінки стійкості автомобіля:

- лінійне відхилення автомобіля від заданої траєкторії;
- кутове відхилення автомобіля від заданої траєкторії;
- час спрацювання гальмівних механізмів
- відхилення центра мас автомобіля від заданої траєкторії.

На основі проведених досліджень автор стверджує, що при дорожніх випробуваннях стійкості руху автомобіля при гальмуванні можна обмежитися лише оцінкою відхилення центра його мас від заданої траєкторії.

На основі аналізу вітчизняних та міжнародних нормативних документів, які регламентують гальмівні якості транспортних засобів у роботі [4] виділено п'ять критеріїв стійкості та ефективності гальмування автомобілів:

- лінійне відхилення транспортного засобу від заданої траєкторії руху;
- кутове відхилення транспортного засобу від заданого напрямку руху;
- кут складання автопоїзда;
- величина гальмівного шляху;
- максимальне і середнє сповільнення.

Досліджуючи вплив нерівномірності дії гальмівних механізмів на показники стійкості автопоїзда при гальмуванні у роботі [6] в якості критеріїв стійкості використано кути повороту автомобіля-тягача та причепів у горизонтальній площині та відхилення автопоїзда від заданого «безпечного коридору» шириною 3 м.

На сьогодні гальмівні властивості транспортних засобів та показники їх стійкості у гальмівному режимі регламентують такі нормативні документи:

- ДСТУ 2886:94 “Автотранспортні засоби. Гальмівні властивості. Терміни та визначення”;
- ДСТУ 3736:98 “Стійкість дорожньо-транспортних засобів. Терміни та визначення”;
- ДСТУ 3310:96 “Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуванням”;
- ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002 (Правила ЄЕК ООН № 13) “Єдині технічні приписи щодо офіційного схвалення типу транспортних засобів категорій M N та O стосовно гальмування”;
- ДСТУ 3649:2010 “Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання” [12-16].

Зокрема, з їх використанням встановлюються основні терміни та визначення, що стосуються гальмівних властивостей, визначаються особливості проведення досліджень та відбувається нормування гальмівних властивостей автомобілів та автопоїздів.

Згідно із нормативним документом [12] основними критеріями стійкості та ефективності гальмування транспортних засобів є:

- лінійне відхилення від коридору руху шириною 3,5 м;
- загальна питома гальмівна сила γ_T ; коефіцієнт нерівномірності гальмівних сил осі;
- тривалість спрацювання гальмівної системи;
- усталене сповільнення $j_{уст}$;
- гальмівний шлях S_T ;
- початкова швидкість гальмування V_0 ;
- час гальмування t_T .

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведений аналіз дозволив з'ясувати, що проблема стійкості руху автомобільних поїздів у гальмівному режимі досліджена достатньо повно. Проте, меншою мірою досліджені питання прогнозування стійкості автопоїзда в процесі гальмування з урахуванням змін, що відбуваються в ходовій частині в умовах експлуатації, а також змін у гальмівній системі. Зокрема, більш детального аналізу потребує дослідження впливу характеру розподілу гальмівних сил по осях та бортах автопоїзда та величини і характеру перекоосу осей ланок автопоїзда на показники стійкості його руху в гальмівному режимі. Особливої уваги потребує вивчення спільного впливу даних факторів.

ВИСНОВОК

На основі аналізу факторів, що впливають на стійкість руху автомобілів і автопоїздів у гальмівному режимі можна стверджувати, що основними з них є зовнішні, які залежать від погоднокліматичних умов та стану дороги, внутрішні, які залежать від технічного стану автомобіля та конструктивні, що залежать від досконалості конструкції гальмівної системи автомобіля.

В якості критеріїв оцінки стійкості руху автомобілів і автопоїздів у гальмівному режимі можна використати критерії, зазначені в ДСТУ 3649:2010.

При виборі критеріїв оцінки стійкості руху варто враховувати тип транспортного засобу та його конструктивні особливості.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гандзюк М.О., Селезньов Е.Л., Гандзюк Д.М. Розробка плоскої математичної моделі руху модульного триланкового причіпного автопоїзда у складі «автомобіль-тягач - двовісний підкатний візок з неповоротними осями (dolly) - тривісний напівпричіп // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник, випуск 55, Луцьк: Редакційно-видавничий відділ Луцького НТУ, 2016 – С.72-79.
2. Сахно В.П. Математичне моделювання триланкових автопоїздів в поздовжній, вертикальній і поперечній площинах / В.П. Сахно, В.М. Поляков, В.М. Глінчук // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. Науковий журнал, 2013. - Вип. 3. - С.73-84.
3. Ревин А.А. Повышение эффективности, устойчивости и управляемости при торможении автотранспортных средств: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / А.А. Ревин. – Волгоград, 1983. – 601 с.
4. Соцков Д.А. Повышение активной безопасности автотранспортных средств при торможении: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / Д.А. Соцков. – Владимир, 1988. – 410 с.
5. Певзнер Я. М. Теория устойчивости автомобиля / Я.М. Певзнер. – М.: Машгиз, 1947. – 159 с.
6. Солнцев А.Н. Совершенствование процесса торможения автопоезда большой габаритной длины: дис. на соискан. учен. степ. канд. техн. наук / А.Н. Солнцев. – М., 2004. – 169 с.
7. Стоянов Г. А. Обобщенный критерий для оценки безопасности движения автомобиля при торможении / Г.А. Стоянов, В.В. Иванов, В.А. Иларионов // Автомобильная промышленность. – 1979. – №8. – С. 19-21.
8. Кравчук П.М. Нормування гальмівних властивостей колісних транспортних засобів в Україні / П.М. Кравчук, Р.Ю. Нілов, Ю.В. Бабін // Науково-виробничий журнал Автомобільний транспорт: У реаліях міжнародного права. – 2014. – № 2(238). – С. 8-10.
9. Чудаков Е.А. Боковая устойчивость автомобиля при торможении / Е.А. Чудаков. – М.: Машгиз, 1952. – 183 с.
10. Хамов И.В. Повышение устойчивости легкового автомобиля при торможении путем применения противозаносных систем: дис. на соискан. учен. степ. канд. техн. наук / И.В. Хамов. – М., 1989. – 210 с.
11. Малюгин П.Н. Возможности и пути улучшения устойчивости движения автомобиля при торможении: дис. на соискан. учен. степ. канд. техн. наук / П.Н. Малюгин. – Омск, 1985. – 229с.
12. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання: ДСТУ 3649:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – Офіц. вид. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 28 с. – (Національний стандарт України).

13. Автотранспортні засоби. Гальмівні властивості. Терміни та визначення : ДСТУ 2886:94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1996. – 28 с. – (Державний стандарт України).

14. Стійкість дорожньо-транспортних засобів. Терміни та визначення : ДСТУ 3736:98. – [Чинний від 1999-07-01]. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 1999. – III, 11 с. – (Державний стандарт України).

15. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуванням : ДСТУ 3310:96. – [чинний від 1997-01-01]. – Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 1996. – 10 с. – (Державний стандарт України).

16. ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного схвалення типу транспортних засобів категорій M N та O стосовно гальмування: Правила ЄЕК ООН № 13. - [Чинні від 14.01.2008]. – Женева : Європейська Економічна Комісія Організації Об'єднаних націй, 2008. – 276 с.

REFERENCES

1. Gandzyuk, M.O., & Seleznev, E.L., & Gandzyuk, D.M. (2016). Rozrobka ploskoyi matematychnoyi modeli rukhu modul'noho trylankovoho prychipnoho avtopoyizda u skladi «avtomobil'-tyahach - dvovisnyu pidkatnyu vizok z nepovorotnymy osyamy (dolly) - tryvisnyu napivprychip» [Development of flat mathematical model of motion of the module three-unit towed lorry convoy in composition a «car-tractor is a biaxial pidkatny light cart with irrevocable axes (dolly) is a triaxial semitrailer]. *Naukovi notatky - The Scientific notes*, 55, 72-79 [in Ukrainian].

2. Sakhno, V.P. (2013). Matematychnе modelyuvannya trylankovykh avtopoyizdiv v pozdovzhniy, vertykal'niy i poperechniy ploshchynakh [Mathematical modeling of three-axle road trains in longitudinal, vertical and transverse planes]. *Visnyk Donets'koyi akademiyi avtomobil'noho transport - Bulletin of the Donetsk Academy of Motor Transport*, 3, 73-84 [in Ukrainian].

3. Revin, A.A (1983) Povyishenie effektivnosti, ustoychivosti i upravlyaemosti pri tormozhenii avtotransportnih sredstv [Increase of efficiency, stability and controllability at braking of motor vehicles]. *Doctor's thesis. Volgograd* [in Russian].

4. Sotskov, D.A. (1988). Povyishenie aktivnoy bezopasnosti avtotransportnih sredstv pri tormozhenii [Increase of active safety of motor vehicles during braking]. *Doctor's thesis. Vladimir* [in Russian].

5. Pevzner, Ya. M. (1947). Teoriya ustoychivosti avtomobilya [Theory of car stability]. Moscow: Mashgiz [in Russian].

6. Solntsev, A.N. (2004). Sovershenstvovanie protsesa tormozheniya avtopoezda bolshoy gabaritnoy dlinyi [Improvement of the process of braking a road train of large overall length]. *Ph.D. thesis. Moscow* [in Russian].

7. Stoyanov, G.A., & Ivanov, V.V., & Ilarionov, V.A. (1979). Obobshchennyiy kriteriy dlya otsenki bezopasnosti dvizheniya avtomobilya pri tormozhenii [Generalized criterion for assessing the safety of vehicle movement during braking]. *Avtomobilnaya promyshlennost - Automotive industry*, 8, 19-21 [in Russian].

8. Kravchuk, P.M., & Nilov, R.Yu., & Babin, Yu.V. (2014). Normuvannya galmivnih vlastivostey kolisnih transportnih zasobiv v Ukraini [Standardization of brake properties of wheeled vehicles in Ukraine]. *Naukovo-virobnichiy zhurnal Avtomobilniy transport: U realiyah mlzhnarodnogo prava - Research and Production Journal Road Transport: In the realities of international law*, 2 (238), 8-10 [in Ukrainian].

9. Chudakov, E.A. (1952). Bokovaya ustoychivost avtomobilya pri tormozhenii [Lateral stability of the vehicle during braking]. Moscow: Mashgiz [in Russian].

10. Khamov, I.V. (1989). Povyishenie ustoychivosti legkovogo avtomobilya pri tormozhenii putem primeneniya protivozanosnyih sistem [Increasing the stability of a passenger car during braking by using anti-skid systems]. Moscow [in Russian].

11 Malyugin, P.N. (1985). Vozmozhnosti i puti uluchsheniya ustoychivosti dvizheniya avtomobilya pri tormozhenii [Opportunities and ways to improve the stability of the vehicle when braking]. *Ph.D. thesis. Omsk* [in Russian].

12. Kolisni transportni zasoby. Vimogi schodo bezpechnostI tehlnchnogo stanu ta metodi kontrolyuvannya [Wheeled vehicles. Requirements for safety of technical condition and control methods] (2011). *DSTU 3649:2010 from 01th July 2011*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine, [in Ukrainian].

13. Avtotransportni zasoby. Halmivni vlastyivosti. Terminy ta vyznachennia [Motor vehicles. Brake properties. Terms and definitions]. (1996). *DSTU 2886:94 from 01th January 1996*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine, [in Ukrainian].

14. Stiiikist dorozhno-transportnykh zasobiv. Terminy ta vyznachennia [Sustainability of road vehicles. Terms and definitions]. (1999). *DSTU 3736:98 from 01th July 1999*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine, [in Ukrainian].

15. Zasoby transportni dorozhni. Stiiikist. Metody vyznachennia osnovnykh parametriv vyprovuvanniam [Means of transport road. Stability. Methods of determining the main parameters of the test]. (1996). *DSTU 3310:96 from 01th January 1997*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine, [in Ukrainian].

16. Yedyni tekhnichni prypysy shchodo ofitsiinoho skhvalennia typu transportnykh zasobiv katehorii M N ta O stosovno halmuvannia [Uniform technical prescriptions concerning the official approval of vehicles of categories M N and O with respect to braking]. (2008). *DSTU UN/ECE R 13-09:2002 from 14th January 2008*. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe.

M. Handziuk, D. Handziuk Factors affecting the stability of movement of cars and trains in brake mode and criteria for its evaluation.

Given the increasing intensity of traffic on modern highways, it is necessary to increase the safety of vehicles to avoid accidents that lead to deterioration of human health and significant material losses from damage to vehicles and goods. This issue is especially acute for road trains, the process of movement and braking of which is much more complex than for single cars. It is necessary that the braking system allows you to adjust the speed of the road train in a wide range, counteract skidding, as well as prevent the assembly of the vehicle and its collision with other cars, ie provide adequate stability. The driver must control the behavior of the vehicle while driving and, if necessary, stop it quickly and safely.

Improving the performance of road trains in modern traffic conditions is one of the priority tasks to ensure a high level of safety of their operation with maximum efficiency. Achieving these requirements is possible only if you take into account possible changes in the technical condition of road trains during operation. In particular, considerable attention should be paid to changes that may occur in the braking system of the road train, which can lead to violations of the optimal regulation and distribution of braking forces on the axles and sides of the vehicle, which inevitably leads to loss of stability even at low speeds, especially at maximum load.

In view of this, the analysis of the factors influencing the stability of cars and road trains in braking mode and the main criteria of stability and efficiency of braking of vehicles, as well as a review of regulations governing them.

Keywords: stability, braking mode, braking distance, braking efficiency, specific braking force, steady deceleration, dynamic corridor, lateral sliding, slipping, lane, direction of movement, linear deviation, angular deviation, folding angle.

ГАНДЗЮК Микола Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

ГАНДЗЮК Дмитро Миколайович, магістр із спеціальності «Автомобілі і автомобільне господарство», аспірант Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyukd@gmail.com.

Mykola HANDZIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

Dmitriy HANDZIUK, Magistr of Transport, Postgraduate Student of Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyukd@gmail.com.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.386

Давідіч Ю.О., Чумаченко І.В., Галкін А.С., Давідіч Н.В. Куш Є.І.
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИБОРУ ВОДІЯМИ МАРШРУТІВ РУХУ

Робота присвячена розробці ефективних методів прогнозування параметрів транспортних потоків в містах. Аналіз літературних джерел показав, що проектування транспортних систем міст базується на визначенні закономірностей формування транспортних потоків та розподілу їх по ділянкам вулично-дорожньої мережі. Стан потоків визначається колективним рухом водіїв транспортних засобів, які реалізують свої потреби в пересуваннях. Істотний вплив на параметри руху транспортних засобів мають психофізіологічні та індивідуальні якості водія, що визначаються властивостями центральної нервової системи. Врахування закономірностей вибору маршрутів руху водіями з різним типом нервової системи при визначенні параметрів транспортних потоків дасть змогу отримати найбільш адекватні результати прогнозування параметрів транспортних систем міст. Проведення натурного обстеження і обробка його результатів дозволило отримати всі дані, необхідні для визначення закономірностей вибору маршрутів руху водіями з типом нервової системи «холерик». Як показник, що описує вибір водіїв маршруту руху, було обрано частку кореспонденції транспорту між районами відправлення та прибуття, що реалізовується відповідними альтернативними маршрутами руху. Дослідження показало, що зміна частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик» з достатньою точністю описується регресійним рівнянням, в якому як змінні виступають параметри маршрутів за довжиною та швидкістю руху. Статистична оцінка отриманої моделі свідчить про допустимість її використання для прогнозування параметрів транспортних потоків в міських проектах сталого розвитку. Отримані результати дозволяють визначити розподіл вантажних і пасажирських потоків мережею міста, що дозволяє вирішувати локальні завдання на рівні обслуговування роздрібних мереж. Механізм формування завдання на перевезення з урахуванням впливу людського фактору дозволяє врахувати, окрім параметрів транспортних засобів, дороги та середовища, вплив людського фактору, що істотно позначається на технології транспортного процесу: графіках роботи, швидкості сполучення тощо.

Ключові слова: інформаційна технологія, транспортна система, маршрут руху, кореспонденція, модель, адекватність, водій

ВСТУП

Ефективний розвиток сучасного суспільства нерозривно пов'язаний з розвитком комп'ютерної техніки та інформаційних технологій [1]. Інформаційні технології, які можуть використовуватися в повсякденній проектній діяльності, допомагають вирішити задачі проектування найбільш адекватних інформаційних систем [2]. Загальні принципи побудови і функціонування транспортних систем аналізуються через призму реалізованих в них інформаційних технологій. Оскільки транспортні та пасажирські потоки відрізняються значною мінливістю в часі, їх своєчасна координація є неодмінною умовою ефективності перевізного процесу, де одну з провідних ролей відіграє їх якісне інформаційне забезпечення [3].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ефективне функціонування транспортних систем вже неможливо без широкого використання інформаційних технологій [5]. Передумова розумного міста полягає в тому, що, маючи правильну інформацію, в потрібний час, громадяни, постачальники послуг і муніципальна влада зможуть приймати більш правильні рішення, які призведуть до підвищення якості життя мешканців і загальної стійкості міста [6]. Надання даної інформації можливо за допомогою технічного забезпечення інформаційних технологій [7]. Це повинно бути одним з напрямків державної політики, в якій планувальні рішення розвитку міст необхідно узгоджувати з розвитком транспорту [8]. При проведенні наукових досліджень попит на переміщення мешканців міста важко передбачити. Внаслідок цього, планування транспортних потоків шляхом прогнозування їх параметрів є одним з найважливіших та найскладніших завдань на транспорті. Підвищення ефективності реалізації планів управління в транспортних системах за допомогою сучасних засобів інформаційних технологій є актуальною проблемою [9]. Проектування транспортних систем міст базується на визначенні закономірностей формування транспортних потоків та розподілу їх по ділянкам вулично-дорожньої мережі. Потоки транспортних засобів виступають як особливе фізичне явище. Вони мають свої закономірності і характеристики, що не можуть бути застосовані до кожного окремого автомобіля [10]. Стан потоків визначається колективним рухом водіїв транспортних засобів, які реалізують

свої потреби в пересуваннях. При визначення маршруту руху водії формують мету пересування. Вона полягає в мінімізації втрат, які пов'язані з поїздкою. Це може бути час руху, витрати нервової енергії. Крім того, можливо максимізувати свою безпеку з найменшим відхиленням від комфортних умов. При цьому поїздка може здійснюватися декількома маршрутами прямування [11]. Кожний маршрут з альтернативних водій описує функцією корисності. За думкою дослідників, цю функцію можливо представити як лінійну залежність від характеристик альтернативних маршрутів [12]. Усі можливі варіанти пересування водій оцінює з урахуванням безлічі випадкових впливів. Це може бути наявний у даний момент ресурс часу, стан здоров'я, погодні умови тощо. Результатом цієї оцінки виступає рішення водія щодо маршруту руху, яке є незалежним від інших учасників руху [13]. Крім того, дослідники визначають, що водій, частіше за все, зв'язує ступінь небезпеки тієї або іншої ситуації із ступенем складності управління автомобілем і ухваленням рішення в ній. В якійсь мірі з безпекою пов'язаний критерій, що дає оцінку зусиль водія з управління автомобілем. Можливо, в даній ситуації необхідно враховувати і психофізіологічні особливості водіїв. Вони поряд з цілями поїздки, віком і майстерністю водіння, визначають колективне поведіння учасників руху, що лежить в основі формування і розподілу транспортних потоків [14]. Великий вплив на параметри руху транспортних засобів мають психофізіологічні та індивідуальні якості водія [15, 16]. За думкою дослідників, цей фактор в теперішній час недостатньо досліджений. Науковці пропонують об'єднувати індивідуальні характеристики людей з однаковими властивостями центральної нервової системи [17]. За їх думкою, таке групування дозволить зменшити втрати індивідуальних особливостей в порівнянні з використанням тотальних характеристик. Дані емоційні властивості і якості темпераменту дослідники вважають загальними показниками схильності до небезпеки. За думкою науковців, властивості нервових процесів утворюють певні комбінації, які визначають тип нервової системи, або тип вищої нервової діяльності [18]. Він складається з характерної для окремих індивідів сукупності основних властивостей нервової системи - сили, врівноваженості і рухливості процесів збудження і гальмування. Ці властивості нервової системи і обумовлюють пристосування тваринного організму до оточуючих умов, тобто вчинену взаємодію організму як системи із зовнішнім середовищем, забезпечують існування організму [19]. Дослідники виділяють чотири найбільш яскраво виражених типів нервової системи, їх співвідношення і зв'язок з темпераментом. Виділені дослідниками нервової системи по основних характеристиках відповідають чотирьом класичним типам темпераменту: сильний, урівноважений, жвавий - сангвінік; сильний, урівноважений, інертний - флегматик; сильний, неуврівноважений тип з переважанням збудження - холерик; слабкий тип - меланхолік. Науковці в своїх дослідженнях проводили дослідження структури населення по типу нервової системи. При обстеженні контингенту працівників було отримано таке співвідношення: сангвініків - 26-30%, холериків - 28-31%, флегматиків - 25-27%, меланхоліків - 15-19% [20]. Науковці розуміють тип нервової системи як природжений, слабо схильний змінам під впливом середовища і виховання. На їх думку, властивості нервової системи утворюють фізіологічну основу темпераменту, який є психічним виявом загального типу нервової системи [17]. Як довели дослідники, сила та стійкість нервової системи визначають поведінку і дії водія [21]. Отже, тому й вибір маршруту руху залежить від типу нервової системи водія та його темпераменту. Таким чином, однією з найважливіших ланок при розробці інформаційних технологій проектування транспортних систем міст є інформаційне забезпечення закономірностей формування транспортних потоків та розподіл їх по ділянкам вулично-дорожньої мережі [4]. Цей процес безпосередньо пов'язаний з вибором водіями маршрутів руху між районами міста. Врахування закономірностей цього вибору при визначенні параметрів транспортних потоків дасть змогу отримати найбільш адекватні результати прогнозування параметрів транспортних систем міст.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є формалізація математичного опису впливу параметрів маршрутів на зміну частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водіями з типом нервової системи – «холерик».

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- виявлення факторів, що впливають на закономірності вибору водіями маршрутів руху;
- математична формалізація впливу параметрів маршрутів на зміну частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водіями з типом нервової системи «холерик».

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення закономірностей вибору водіями маршрутів руху повинно базуватися на аналізі факторів, що впливають на параметри пересування. При організації та управлінні транспортними потоками у містах існує система взаємопов'язаних первинних і розрахункових показників, що характеризують умови дорожнього руху і впливають на вибір водіями маршруту руху [22]. Для подальшого дослідження закономірностей розподілу кореспонденцій транспортних засобів вулично-дорожньою мережею міста було відібрано ряд показників, що характеризують альтернативні маршруту руху. У якості цих показників було обрано довжину маршруту, що характеризує відстань поїздки автомобіля. Як правило, багато водіїв вважають, що їх витрати будуть мінімальними при мінімальному пробігу. Проте довжина шляху є тільки просторовою характеристикою і не враховує такі фактори, як кількість смуг, інтенсивність руху, наявність перехресть і затримок, пов'язаних з пропуском транспортних потоків конфліктуючих напрямків та ін. Вплив даних факторів відбивається на часі поїздки. Час поїздки є більш об'єктивним параметром умов руху, проте і більш складним для визначення, адже включає у себе вплив різних факторів. Інтенсивність транспортного потоку впливає на умови руху. На вулично-дорожній мережі можливо виділити окремі ділянки і зони, де рух досягає максимальних розмірів, тоді як на інших ділянках він у декілька разів менше. Така просторова нерівномірність відображає, перш за все, нерівномірність розміщення вантажо- та пасажиротворюючих пунктів і місць їх тяжіння. Визначаючи умови руху, інтенсивність впливає на швидкість руху транспортних засобів. Кількість регульованих та нерегульованих перехресть впливає на швидкість руху і визначає можливі зупинки транспортних засобів та зміни напрямків руху. Швидкість транспортного потоку визначає умови руху. Даний показник суттєво впливає на час поїздки. Ширина проїзної частини впливає на пропускну здатність ділянки дороги, що в свою чергу не може не позначатися на умовах руху. Вище наведені показники було обрано у якості факторів, що фіксувалися під час проведення натурних досліджень. Для вирішення цієї задачі було розроблено відповідну анкету (рис. 1).

Ваш вік _____
Ваш стаж водіння _____
Вкажіть марку Вашого автомобіля _____
П.І.Б. обліковця _____
Дата проведення опитування _____
Тип нервової системи _____
 Укажіть, яким маршрутом Ви будете їхати від пункту відправлення до пункту призначення

Рисунок 1 - Анкета вибору водіями маршрутів руху

Анкетне обстеження виконувалося серед водіїв, які регулярно виконують пересування в місті і кожен день приймають рішення про вибір маршруту руху. На початку обстеження в анкету заносилися дані про вік водія, стаж водіння та марку автомобіля. Також визначався тип нервової системи для врахування індивідуальних особливостей опитуваних з використанням типологічного опитувальника [23]. На другому етапі водіям пропонувалося вибрати маршрути руху вулично-дорожньою мережею міста між різними районами відправлення та призначення. Таким чином проводилось опитування для тридцяти сукупностей пунктів відправлення та призначення, які мали різне розташування в місті Харкові. Для визначених маршрутів проводилися обстеження його параметрів та умов руху з використанням раніш запропонованих методик [24]. Результати дослідження було згруповано по типам нервової системи водіїв.

Таким чином, після проведення натурального обстеження і обробки його результатів було отримано всі дані, необхідні для визначення закономірностей вибору водіями маршрутів руху. У якості показника, якій описує вибір водіїв маршруту руху, було обрано частку кореспонденції транспорту між районами відправлення та прибуття, що реалізовується відповідними альтернативними маршрутами руху.

В рамках даної статті було проведено дослідження закономірностей вибору маршруту руху водіями з найбільш поширеним типом нервової системи – «холерик». Результати розрахунків параметрів моделі зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик», наведені в таблицях 1-3.

Модель зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик» має такий вигляд:

$$\Delta K^{hol} = 0,47 \cdot V_m / V_{krat} - 0,18 \cdot L_m / L_{krat} \quad (1)$$

Таблиця 1 - Межі вимірювання факторів моделі зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик»

Фактор	Позначення, розмірність	Межі вимірювання
Відношення швидкості руху маршрутом до швидкості руху на найкоротшому маршруті	V_m / V_{krat}	0,68-1,75
Відношення довжини маршруту до найкоротшої довжини маршруту	L_m / L_{krat}	1-1,86

Таблиця 2 - Характеристика моделі зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик»

Фактор	Коефіцієнт	Стандартна похибка	Критерій Стьюдента	
			розрахунковий	табличний
Відношення швидкості руху маршрутом до швидкості руху на найкоротшому маршруті	0,47	0,22	2,17	2,02
Відношення довжини маршруту до найкоротшої довжини маршруту	- 0,18	0,009	2,83	2,02

Таблиця 3 - Довірчі інтервали коефіцієнтів моделі зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик»

Фактор	Нижня межа	Верхня межа
Відношення швидкості руху маршрутом до швидкості руху на найкоротшому маршруті	0,03	0,77
Відношення довжини маршруту до найкоротшої довжини маршруту	-0,29	-0,01

Після розробки регресійної моделі проводилася її статистична оцінка. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Результати оцінки моделі зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик»

Показник	Значення
Критерій Фішера : табличний	2,09
розрахунковий	111,21
Коефіцієнт множинної кореляції	0,99
Середня похибка апроксимації, %	13,12

Результати досліджень показали, що при визначенні закономірностей зміни частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик» з усіх досліджуваних факторів значимими виявилися тільки чотири, які утворюють певні співвідношення. Про це свідчить розрахункове значення критерію Стьюдента, яке більше табличного значення. Тіснота зв'язку між залежною змінною і факторами, що впливають на її рівень, визначалася коефіцієнтом множинної кореляції. Його значення свідчить про

високий ступінь тісноти зв'язку між значеннями частки кореспонденції і відібраними факторами. Оцінка адекватності розробленої моделі проводилась за показником середньої помилки апроксимації. Її значення відповідає допустимим межах.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання методів психофізіологічних досліджень дозволило оцінити тип нервової системи та темпераменту водія. Це дало можливість вперше визначити ступінь впливу параметрів вулично-дорожньої мережі на вибір маршруту руху водіями з типом нервової системи «холерик» при пересуванні між районами міста. На відміну від існуючого підходу планування параметрів транспортного процесу, передбачається, що при розгляді організації руху транспортних засобів необхідно враховувати тип нервової системи водіїв, що впливає на вибір маршруту руху. Було виявлено, що параметри руху на різних маршрутах надають диференційований вплив на водіїв з типом нервової системи «холерик». Внаслідок цього, планувати параметри транспортних потоків доцільно з урахуванням типу нервової системи водіїв. Представлена модель показує значення частки кореспонденцій автомобілів, яка буде реалізована по маршруту з відповідними параметрами. Їх використання дозволить прогнозувати навантаження вулично-дорожньої мережі. Внаслідок цього, виникає можливість оцінки впливу інфраструктури на стан транспортної системи міст.

Такий підхід до формування потоків міського транспорту дозволив врахувати людський фактор та параметри вулично-дорожньої мережі. Однак він не забезпечує повного моніторингу формування потоків. Він враховує тільки тип нервової системи водія. Однак, на вибір маршруту руху впливає також вік та кваліфікація водія. Результати вимірювань дозволяють організаторам транспортного процесу визначати можливі траси маршрутів для водіїв з різним типом нервової систем. Тому представлена модель може бути використана для прогнозування параметрів транспортних потоків, приймаючи людський фактор як резерв для підвищення ефективності процесу руху транспортних засобів.

Отримана модель зміни частки кореспонденції автомобілів, що реалізується альтернативними маршрутами руху при керуванні водіями з типом нервової системи «холерик» може бути використана при проектуванні навантаження вулично-дорожньої мережі, в якій параметри транспортного процесу та водіїв узгоджуються з діапазоном змін факторів моделі. Різноманітність діапазону даних представлених факторів охоплює реальні дані руху автомобілів по містах України. Відповідно до проведеного аналізу, представлені результати можуть бути застосовані в будь-якому місті чи транспортній системі, якщо дані про варіації схожі або включені у запропоновану модель. У цьому випадку модель повинні враховувати конкретні міські обмеження. Представлений підхід розширює знання, отримані при вирішенні проблем організації транспортного процесу та моніторингу формування потоків транспорту у містах.

ВИСНОВКИ

В роботі були виявлені закономірності вибору водіями маршрутів руху. Дослідження показало, що зміна частки кореспонденції, що реалізується альтернативними маршрутами руху, під час керування водієм з типом нервової системи «холерик» з достатньою точністю описується регресійним рівнянням, в якому як змінні виступають параметри маршрутів за довжиною та швидкістю руху. Статистична оцінка отриманої моделі свідчить про допустимість її використання для прогнозування параметрів транспортних потоків в міських проектах сталого розвитку. Отримані результати дозволили визначити розподіл вантажних і пасажирських потоків мережею міста, що дозволяє вирішувати локальні завдання на рівні обслуговування роздрібних мереж. Основною метою яких, є раціональне обслуговування замовлень і мінімізація загальних логістичних витрат. Механізм формування завдання на перевезення з урахуванням впливу людського фактору дозволяє, окрім параметрів транспортних засобів, дороги та середовища, врахувати вплив людського фактору, що істотно позначається на технології транспортного процесу: графіках роботи, швидкості сполучення та інші.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шашкова І. Г. Информационные технологии на транспорте / І. Г. Шашкова // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 1 – С. 68-68.
2. Тарабанов Н. А. Особенности использования информационных технологий в проектной деятельности / Н. А. Тарабанов // Гуманитарная информатика: Сб. статей / Под ред. Г.В. Можяевой. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2008. – С. 102-110.
3. Якубович А. Н. Информационные технологии на автотранспорте / А. Н. Якубович, Н. Г. Куфтинова, О. Б. Рогова. – Москва: МАДИ, 2017. – 252 с.

4. Закономірності формування транспортних потоків у містах [Електронний ресурс] / – Режим доступу: http://4exam.info/book_195_glava_14_3.2_Zakonomirnosti_formuvannja_transportnikh_potokiv_u_mistakh.html (дата звернення: 17.09.2019).
5. Проблемы внедрения информационных технологий в транспортных компаниях [Електронний ресурс] / – Режим доступа: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/10/it2.htm> (дата звернення: 10.06.2019).
6. Khansari N. Impacting sustainable behavior and planning in smart city / N. Khansari, A. Mostashari, M. Mansouri // International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning, 2014, 1(2).
7. Технічні засоби інформаційних технологій [Електронний ресурс] / – Режим доступу: https://stud.com.ua/59752/informatika/tehnichni_zasobi_informatsiynih_tehnologiy (дата звернення: 12.06.2019).
8. Banister D. The sustainable mobility paradigm / D. Banister // Transport policy, 2008, 15(2). – P. 73-80.
9. Гожий О. П. Інформаційні технології динамічного планування та прийняття рішень на основі ймовірно-статистичних методів : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / О. П. Гожий. – Миколаїв, 2016. – С. 9–11.
10. Давідч Ю. О. Проектування автотранспортних технологічних процесів з урахуванням психофізіології водіїв: Монографія / Ю. О. Давідч. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 292 с.
11. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 423 с.
12. Брайловский Н. О. Моделирование транспортных систем / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. – М. : Транспорт, 1978. – 125 с.
13. Макаров И. П. Автоматизация управления городским транспортом / И. П. Макаров, В. З. Ямпольский. – М.: Транспорт, 1981. – 152 с.
14. Брайловский Н. О. Управление движением транспортных средств / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. – М. Транспорт, 1975. –112 с.
15. Galkin A. Improving the Safety of Urban Freight Deliveries by Organization of the Transportation Process Considering Driver's State / A. Galkin, N. Davidich, L. Filina-Dawidowicz, Yu. Davidich // Transportation Research Procedia, 2019, 39. – P. 54–63.
16. Galkin A. Modelling Truck's Transportation Speed on the Route Considering Driver's State / A. Galkin, N. Davidich, T. Melenchuk, Ye. Kush, Yu. Davidich, O. Lobashov // Transportation Research Procedia, № 30. - 2018. - P. 207-215.
17. Крушельницька Я.В. Фізіологія і психологія праці / Я. В. Крушельницька. – К.: КНЕУ, 2003. - 367 с.
18. Котик М. А. Психология и безопасность / М. А. Котик. — Таллинн: Валгус, 1989. – 448 с.
19. Теплов Б. М. Современное состояние вопроса о типах высшей нервной деятельности человека и методика их определения. Типологические свойства нервной системы и их значение для психологии / Б. М. Теплов // Психология индивидуальных различий. – М., 2000. – С. 163-178.
20. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1980. – 311 с.
21. Крушельницька Я.В. Фізіологія і психологія праці / Я. В. Крушельницька. – К.: КНЕУ, 2003. - 367 с.
22. Гюлев Н. У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора: Дис.... канд. техн. наук: 05.21.01 / Н. У. Гюлев – Харьков: ХАДИ, 1993. – 174 с.
23. Полищук В. П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В. П. Полищук В. П. – К. : КАДИ, 1983. – 95 с.
24. Атлас для экспериментального исследования отклонения в психологической деятельности человека. – К.: Здоровье, 1980. – 91 с.
25. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения / Хомяк Я. В. – К. : Вища школа, 1986. – 271 с.

REFERENCES

1. Shashkova I. G. Informatsionnyye tekhnologii na transporte / I. G. Shashkova // Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. – 2015. – № 1 – S. 68-68.

2. Tarabanov N. A. Osobnosti ispol'zovaniya informatsionnykh tekhnologiy v proyektnoy deyatelnosti / N. A. Tarabanov // Gumanitarnaya informatika: Sb. statey / Pod red. G.V. Mozhayevoy. – Tomsk: Izd-vo Tom. Un-ta, 2008. – S. 102-110.
3. Yakubovich A. N. Informatsionnyye tekhnologii na avtotransporte / A. N. Yakubovich, N. G. Kuftinova, O. B. Rogova. – Moskva: MADI, 2017. – 252 s.
4. Zakonomirnosti formuvannya transportnykh potokiv u mistakh [Elektronnyy resurs] / – Rezhym dostupu: http://4exam.info/book_195_glava_14_3.2._Zakonomirnosti_formuvannja_transportnykh_potokiv_u_mistakh.html (data zvernennya: 17.09.2019).
5. Problemy vnedreniya informatsionnykh tekhnologiy v transportnykh kompaniyakh [Yelektronnyy resurs] / – Rezhim dostupa: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/10/it2.htm> (data zvernennya: 10.06.2019).
6. Khansari N. Impacting sustainable behavior and planning in smart city / N. Khansari, A. Mostashari, M. Mansouri // International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning, 2014, 1(2).
7. Tekhnichni zasoby informatsiynykh tekhnologiy [Elektronnyy resurs] / – Rezhym dostupu: https://stud.com.ua/59752/informatika/tehnichni_zasobi_informatsiynih_tehnologiy (data zvernennya: 12.06.2019).
8. Banister D. The sustainable mobility paradigm / D. Banister // Transport policy, 2008, 15(2). – P. 73-80.
9. Hozhyy O. P. Informatsiyi tekhnolohiyi dynamichnoho planuvannya ta pryynyattya rishen' na osnovi ymovirnisno-statystychnykh metodiv : dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.06 / O. P. Hozhyy. – Mykolayiv, 2016. – S. 9–11.
10. Davidich YU. O. Proektuvannya avtotransportnykh tekhnolohichnykh protsesiv z urakhuvannyam psikhofiziolohiyi vodiiv: Monohrafiya / YU. O. Davidich. – Kharkiv: KHNADU, 2006. – 292 s.
11. Dryu D. Teoriya transportnykh potokov i upravleniye imi / D. Dryu. – M. : Transport, 1972. – 423 s.
12. Braylovskiy N. O. Modelirovaniye transportnykh sistem / N. O. Braylovskiy, B. I. Granovskiy. – M. : Transport, 1978. – 125 s.
13. Makarov I. P. Avtomatizatsiya upravleniya gorodskim transportom / I. P. Makarov, V. Z. Yampol'skiy. – M.: Transport, 1981. – 152 s.
14. Braylovskiy N. O. Upravleniye dvizheniyem transportnykh sredstv / N. O. Braylovskiy, B. I. Granovskiy. – M. Transport, 1975. –112 s.
15. Galkin A. Improving the Safety of Urban Freight Deliveries by Organization of the Transportation Process Considering Driver's State / A. Galkin, N. Davidich, L. Filina-Dawidowicz, Yu. Davidich // Transportation Research Procedia, 2019, 39. – P. 54–63.
16. Galkin A. Modelling Truck's Transportation Speed on the Route Considering Driver's State / A. Galkin, N. Davidich, T. Melenchuk, Ye. Kush, Yu. Davidich, O. Lobashov // Transportation Research Procedia, № 30. - 2018. – P. 207-215.
17. Krushel'nyts'ka YA.V. Fiziolohiya i psikholohiya pratsi / YA. V. Krushel'nyts'ka. – K.: KNEU, 2003. - 367 s.
18. Kotik M. A. Psikhologiya i bezopasnost' / M. A. Kotik. — Tallinn: Valgus, 1989. – 448 s. 19. Teplov B. M. Sovremennoye sostoyaniye voprosa o tipakh vysshey nervnoy deyatelnosti cheloveka i metodika ikh opredeleniya. Tipologicheskiye svoystva nervnoy sistemy i ikh znacheneye dlya psikhologii / B. M. Teplov // Psikhologiya individual'nykh razlichiy. – M., 2000. – S. 163-178. 20. Lobanov Ye. M. Proyektirovaniye dorog i organizatsiya dvizheniya s uchetom psikhofiziologii voditelya / Ye. M. Lobanov. – M. : Transport, 1980. – 311 s.
19. Teplov B. M. Sovremennoye sostoyaniye voprosa o tipakh vysshey nervnoy deyatelnosti cheloveka i metodika ikh opredeleniya. Tipologicheskiye svoystva nervnoy sistemy i ikh znacheneye dlya psikhologii / B. M. Teplov // Psikhologiya individual'nykh razlichiy. – M., 2000. – S. 163-178.
20. Lobanov Y. M. Proyektirovaniye dorog i organizatsiya dvizheniya s uchetom psikhofiziologii voditelya / Y. M. Lobanov. – M. : Transport, 1980. – 311 s.
21. Gyulev N. U. Vybora ratsional'nogo kolichestva avtobusov na marshrutakh goroda s uchetom vliyaniya chelovecheskogo faktora: Dis.... kand. tekhn. nauk: 05.21.01 / N. U. Gyulev – Khar'kov: KHADI, 1993. – 174 s.
22. Polishchuk V. P. Proyektirovaniye avtomatizirovannykh sistem upravleniya dvizheniyem na avtomobil'nykh dorogakh / V. P. Polishchuk V. P. – K. : KADI, 1983. – 95 s.

23. Atlas dlya eksperimental'nogo issledovaniya otkloneniya v psikhologicheskoy deyatel'nosti cheloveka. – K.: Zdorov'ye, 1980. – 91 s.

24. Khomyak Y. V. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya / Khomyak YA. V. – K. : Vishcha shkola, 1986. – 271 s.

Y. Davidich, I. Chumachenko, A. Galkin, N. Davidich, Y. Kush. Information approach to determination of patterns of choice the route by drivers

The paper is devoted to the development of effective methods for forecasting the parameters of urban traffic flows. The analysis of literature sources showed that the project of urban transport systems is based on determining the patterns of formation of traffic flows and their distribution on sections of the road network. The state of flows is determined by the collective movement of drivers of vehicles that meet their travel needs. The psychophysiological and individual qualities of the driver, which are determined by the properties of the central nervous system, have a great influence on the parameters of vehicle movement. Taking into account the regularities of the choice of traffic routes by drivers with different types of nervous system when determining the parameters of traffic flows will allow to obtain the most adequate results of forecasting the parameters of urban transport systems. Carrying out a field examination and processing of its results allowed to obtain all the data necessary to determine the patterns of choice of drivers with the type of nervous system "choleric" routes. As an indicator that describes the choice of drivers of the route, the share of transport correspondence between departure and arrival areas, which is implemented by the relevant alternative routes, was chosen. The study showed that the change in the proportion of correspondence realized by alternative routes, when driving a driver with the type of nervous system "choleric" is described with sufficient accuracy regression equation, in which the variables are the parameters of length and speed. Statistical evaluation of the obtained model indicates the admissibility of its use for forecasting the parameters of traffic flows in urban sustainable development projects. The obtained results allow to determine the distribution of freight and passenger flows by the city network, which allows to solve local problems at the level of service of retail networks. The mechanism of forming the task of transportation taking into account the influence of the human factor allows, in addition to the parameters of vehicles, roads and environment, to take into account the influence of the human factor, which significantly affects the technology of transport process: schedules, speeds.

Keywords: information technology, transport system, route, correspondence, model, adequacy, driver.

ДАВІДІЧ Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, професор кафедри транспортних систем і логістики, e-mail: Yuriy.Davidich@kname.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-4136-4084>.

ЧУМАЧЕНКО Ігор Володимирович, доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, завідувач кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, e-mail: pmkaf@kname.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0003-2312-2011>.

ГАЛКІН Андрій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, доцент кафедри транспортних систем і логістики, e-mail: galkin.tsl@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0003-3505-6170>.

ДАВІДІЧ Наталія Василівна, кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, доцент кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві, e-mail: shamanwelka@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7613-2956>.

КУШ Євген Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, доцент кафедри транспортних систем і логістики, e-mail: yevhen.kush@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-9439-7357>.

Yurii DAVIDICH, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, e-mail: Yuriy.Davidich@kname.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-4136-4084>.

Igor CHUMACHENKO, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, Head Project Management in Urban Economy and Construction Department, e-mail: pmkaf@kname.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0003-2312-2011>.

Andriy GALKIN, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Assistant Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, Assistant Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, e-mail: galkin.tsl@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4136-4084>.

Natalia DAVIDICH, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, Assistant Professor of the Project Management in Urban Economy and Construction Department, e-mail: shamanwelkax@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7613-2956>.

Yevhen KUSH, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Assistant Professor, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, Assistant Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, e-mail: yevhen.kush@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-9439-7357>.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.387

Дембіцький В.М. Павлюк В.І.
Луцький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМ ЧАСУ НА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОБІТ

У роботі розглянуті актуальні питання визначення норм часу на обслуговування і ремонт транспортних засобів для формування трудомісткості робіт технічного обслуговування та поточного ремонту рухомого складу підприємств автомобільного транспорту, що використовуватимуться під час їх технологічного розрахунку. На основі існуючих норм часу на виконання різних видів робіт запропоновано граф технічного обслуговування (ремонту) автомобіля за яким розроблено методика визначення норм часу та трудомісткості технічних впливів на автомобіль. Граф технічного обслуговування (ремонту) транспортних засобів служить графічною моделлю для подальших розрахунків норм часу та забезпечує перехід від об'єкта впливу до елементарних операцій. Такий підхід дозволяє розподілити елементарні операції і врахувати особливості їх виконання. Розроблена методика сприяє подальшому розвитку методів визначення трудомісткості технічного обслуговування для технологічного розрахунку підприємств автомобільного транспорту. Проведено аналіз величин трудомісткостей технічного обслуговування транспортних засобів. На прикладі, проведення регламентних робіт з технічного обслуговування нижчого порядку для автобуса за допомогою методів аналізу затрат робочого часу та використовуючи норми часу на слюсарні операції, здійснено орієнтовний розрахунок його сумарної трудомісткості. Отримані результати вказують на скорочення часу виконання операцій технічного обслуговування автобуса, а від так і зменшення встановленої трудомісткості близько 40 % у порівнянні з нормативом.

Ключові слова: технічне обслуговування, трудомісткість, технологічний розрахунок, автотранспортне підприємство.

ВСТУП

Питання нормування трудомісткості на технічне обслуговування і ремонт колісних транспортних засобів є завжди актуальним, оскільки залежить від особливостей конструкції і експлуатації оновленого і удосконаленого рухомого складу. Вдосконалення конструкції автомобілів відбувається дуже динамічно, змінюючи структуру і обсяги робіт у процесах технічного обслуговування і ремонту. Нормативи трудовитрат на виконання робіт з ТО і ремонту оновлених моделей і модифікацій використовуються фірмовим автосервісом і зазвичай мають обмежений доступ, можуть бути досить укрупненими, а інколи взагалі відсутні. Ті нормативи, з якими можна ознайомитися, часто значно відрізняються від норм технологічного проектування підприємств автомобільного транспорту. Особливо гостро ця проблема постає у випадку експлуатації транспортних засобів, які виготовляються в нашій країні, зокрема автобусів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Відповідно до Правил надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів [1] виконавець повинен надати замовнику наряд-замовлення на надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісного транспортного засобу, який, окрім іншого, повинен містити інформацію стосовно трудомісткості послуги. У Положенні про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту [2] містяться нормативи трудомісткості робіт за видами технічного обслуговування для класів автомобілів різного типу. Порівняння нормативів наведених у [2] та тих, що використовуються фірмовим сервісом, свідчить про значну розбіжність трудовитрат (таблиця 1).

Таблиця 1 – Порівняння нормативів трудомісткості робіт з технічного обслуговування де яких автомобілів

Колісні транспортні засоби тип, клас	Трудомісткість			
	За даними [2]		За даними фірмового автосервісу	
	ТО - 1	ТО - 2	ТО - 1	ТО - 2
люд-год на одне обслуговування				
Легкові автомобілі				
Особливо малого класу (робочий об'єм двигуна до 1,2 л)	2,0	7,5	1,1...2,1	1,7...4,5

Колісні транспортні засоби тип, клас	Трудомісткість			
	За даними [2]		За даними фірмового автосервісу	
	ТО - 1	ТО - 2	ТО - 1	ТО - 2
	люд-год на одне обслуговування			
Малого класу (робочий об'єм двигуна від 1,2 до 1,8 л)	2,3	9,2	0,9...2,9	1,6...4,0
Середнього класу (робочий об'єм двигуна від 1,8 до 3,5 л)	2,9	11,7	1,0...2,9	1,6...4,2
Вантажні бортові автомобілі з дизелями вантажністю до 8,0 т	3,4	13,8	0,7...1,5	1,8...3,2
Автомобілі-тягачі. Маса напівпричепа з вантажем до 26,0 т	3,85	16,17	3,0...5,4	7,4...8,8

Нормативи трудомісткості поточного ремонту, зазвичай, є диференційованими за виконанням окремих робіт. Аналіз нормативів питомої трудомісткості ремонту часто є утрудненим через їх відсутність, недостатність інформації та потребою збору і обробки статистичних даних. Дані наведені у таблиці 1 свідчать про необхідність диференційованого підходу щодо визначення трудомісткості технічного обслуговування колісних транспортних засобів.

Про необхідність обґрунтування величини трудомісткостей робіт з технічного обслуговування та ремонту автомобілів, під час технологічного розрахунку, через розбіжності у нормативах, йдеться, зокрема, у роботах [3, 4]. У роботі [5] проведений аналіз методів технологічного розрахунку підприємств автомобільного транспорту, демонструє визначення нормативів трудомісткості за відомими методами. В основному дослідження орієнтовані на розробку, з можливістю подальшої оптимізації, моделей розрахунку трудомісткості робіт з технічного обслуговування та ремонту автомобілів чи дослідження обсягів цих робіт [3–8]. В основі формування трудомісткостей виконання технічних впливів є норми часу на проведення певних робіт та окремих операцій. Важливість нормативного забезпечення процесів технічного обслуговування і ремонту підтверджується результатами досліджень наведеними у [9, 10].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є подальший розвиток методів розрахунку технічно обґрунтованих норм часу з технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів шляхом розробки методики з використанням диференційованих нормативів на окремі операції для певних видів робіт на прикладі технічного обслуговування автобуса. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- проаналізувати існуючі методи визначення норм часу на виконання технічних впливів;
- розробити порядок розрахунку норм часу на виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту автомобілів;
- удосконалити методику розрахунку норм часу на виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту автомобілів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз літературних джерел вказує, що визначення норм часу на виконання слюсарно-механічних, розбирально-збиральних та інших робіт технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів зазвичай здійснюється методом безпосереднього вимірювання та методом моментних спостережень, з використанням хронометражних, фотохронометражних способів дослідження [11]. На основі статистичних даних прийняті нормативи часу на операції слюсарної обробки деталей та слюсарно-збиральні роботи для дрібносерійного та одиничного виробництва [12]. Таким чином задача зводиться до розробки моделі розрахунку норм часу, з можливістю її адаптації для певних видів робіт та типів транспортних засобів.

Штучно-калькуляційний час ($T_{ШК}$), із врахуванням підготовчо-заключного часу ($T_{П-З}$) та штучного ($T_{Ш}$), визначиться [11]:

$$T_{ШК} = T_{П-З} + T_{Ш} = T_{П-З} + (T_{Обсл} + T_{ОП} + T_{Вос}) = T_{П-З} + T_{Обсл} + (T_{О} + T_{Д}) + (T_{В} + T_{Ос}) \quad (1)$$

де $T_{П-З}$, $T_{Ш}$ – час підготовчо-заключних робіт та штучний час, відповідно;

$T_{Обсл}$, $T_{ОП}$, $T_{Вос}$ – складові штучного часу: час обслуговування робочого місця, оперативний час, час на відпочинок та особисті потреби, відповідно;

$T_{О}$, $T_{Д}$ – складові оперативного часу: основний та допоміжний, відповідно;

$T_{В}$, $T_{Ос}$ – час на відпочинок та особисті потреби, відповідно.

У збірнику норм часу на технічне обслуговування і ремонт автомобілів і автобусів використовується методика для визначення норми часу T на одиницю об'єму роботи, виконану одним виконавцем, за оперативним часом T_{OP} . При цьому значення інших складових штучно-калькуляційного часу: $T_{П-З}$, $T_{Обс}$, T_B та T_{Oc} , визначаються відсотковим значенням від оперативного часу [13]:

$$T = T_{OP} \cdot \left(1 + \frac{t_{П-З} + t_{Обс} + t_B + t_{Oc}}{100} \right), \text{ (люд.-год)} \quad (2)$$

де $t_{П-З}$, $t_{Обс}$, t_B , t_{Oc} – відсоткові значення складових штучно-калькуляційного часу, що доповнюють операційний, % від T_{OP} .

Відповідно до [12] оперативний час (T_{OP}) виконання певного виду робіт (операцій) визначається за залежністю:

$$T_{OP} = T_H \cdot n \cdot k_k = T_H \cdot n \cdot k_y \cdot k_c \cdot k_\partial \cdot k_{np} \cdot k_n \quad (3)$$

де T_H – норма калькуляційного часу;

n – кількість однакових операцій або деталей;

k_k – коефіцієнт коригування який враховує особливості умов виконання роботи (операції):

$$k_k = k_y \cdot k_c \cdot k_\partial \cdot k_{np} \cdot k_n \quad (4)$$

k_y – коефіцієнт, який враховує умови роботи (положення) виконавців;

k_c – коефіцієнт, який залежить від складності операції або вузла автомобіля, який розбирається (збирається);

k_∂ – коефіцієнт, який враховує умови доступу до вузла, агрегату, деталі для виконання відповідних видів робіт;

k_{np} – коефіцієнт приведення норм часу на збиральні роботи до норм часу на розбиральні роботи;

k_n – коефіцієнт повторюваності, що враховує ймовірність додаткового виконання частини операції, що не є контрольною.

Час оперативний на виконання певного виду технічного обслуговування T_{TO} з врахуванням залежності (3) можна представити наступною залежністю:

$$T_{OP}^{TO} = \sum_{i=1}^j T_{OPi} = \sum_{i=1}^j T_H \cdot n \cdot k_k = \sum_{i=1}^j T_H \cdot n \cdot k_y \cdot k_c \cdot k_\partial \cdot k_{np} \cdot k_n \quad (5)$$

Оскільки регламенти робіт з технічного обслуговування та/або ремонту колісних транспортних засобів, їх систем, вузлів та агрегатів значно відрізняються обсягом, переліком та трудомісткістю залежно від ряду факторів доцільно їх представити у формі графу, який наведено на рисунку 1.

Наведений на рисунку 1 граф відображає процес проведення технічного впливу на автомобіль.

Нульовий рівень містить оперативний час, який затрачається на виконання однієї елементарної операції. Під елементарною операцією розуміється окремий прийом, що застосовується під час виконання завдання. Рівень один характеризує кількість однакових прийомів, які застосовуються в технологічному процесі. Рівень 2 описує місце виконання операції, що в свою чергу визначає коефіцієнт k_y (умови роботи виконавців) та коефіцієнт k_∂ (складність доступу до вузла, агрегату, деталі для виконання відповідних видів робіт).

Рівень 3 визначає перелік операцій, які необхідно виконати під час виконання робіт по технічному обслуговуванню та ремонту. Між рівнем 2 та 3 існують взаємозв'язки, максимальна кількість яких рівна добутку кількості операцій та кількості можливих місць їх виконання. Рівень 4 визначає об'єкт впливу, тобто вузол, систему або агрегат автомобіля, що в свою чергу впливає на значення коефіцієнта k_c .

Розрахунок норм часу виконання робіт з ТО і ремонту повинен здійснюватися в наступній послідовності:

- визначення виду обслуговування (рівень 5);
- визначення переліку об'єктів впливу (рівень 4);
- визначення виду операцій по кожному об'єкту впливу (рівень 3);
- визначення місць виконання операцій (рівень 2);
- визначення кількості точок впливу (рівень 1);
- визначення часу виконання однієї елементарної операції (рівень 0)
- розрахунок часу виконання робіт за залежністю (5), (рівень 0–5).

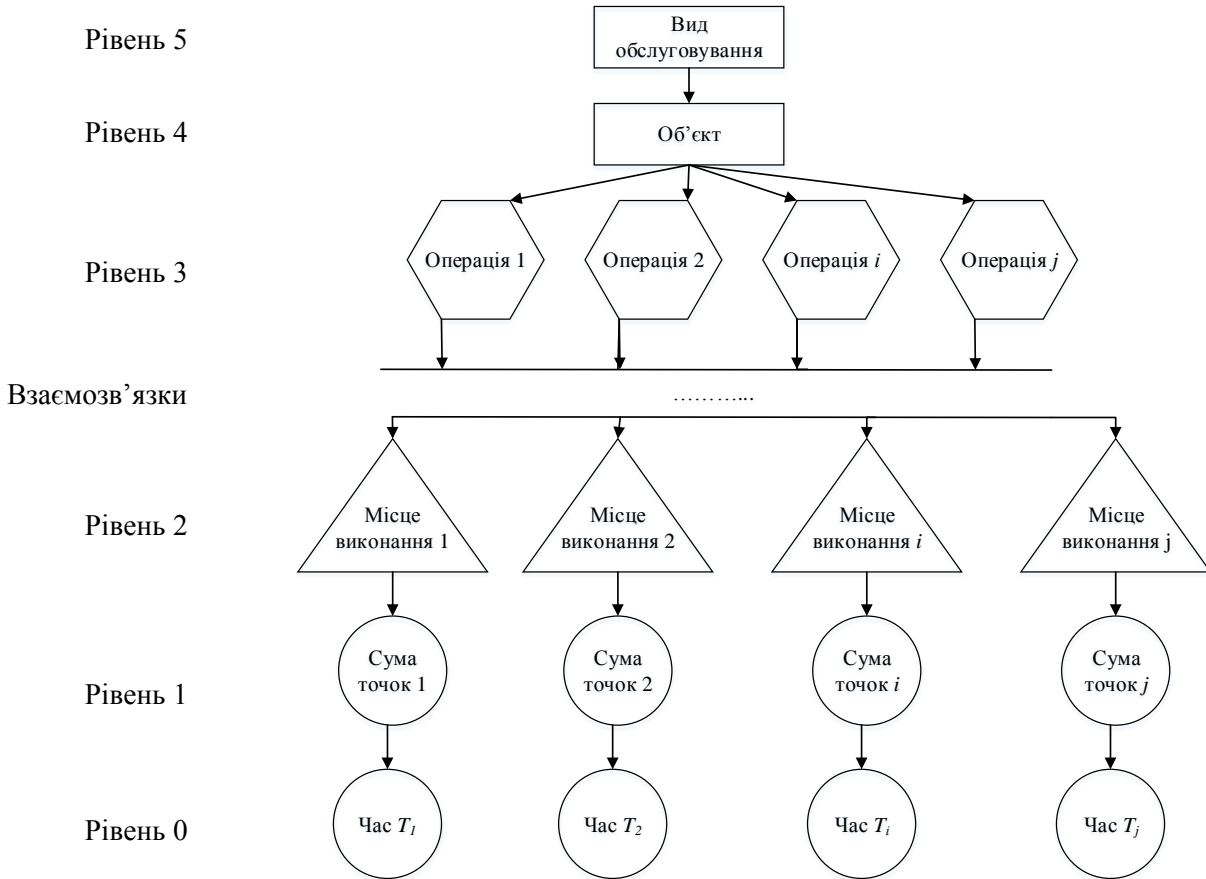


Рисунок 1 – Граф технічного обслуговування (ремонт) автомобіля

За запропонованою методикою здійснено розрахунок трудомісткості ТО-1 (ТО-20000) для автобуса А 22112. Згідно [15] складено перелік робіт (табл. 2).

Таблиця 2 – Регламент робіт ТО-20000 автобуса А 22112

№	Найменування об'єкта впливу	Операції ТО-1 (ТО-20000)	Місце виконання робіт	Кількість точок	Час на виконання операції, хв	Сумарний час, хв
	СИСТЕМИ ДВИГУНА					
1	Рідина системи охолодження	П	Моторний відсік, зверху	1	0,5	0,5
2	Олива і фільтр системи мащення двигуна	3	Моторний відсік, зверху	1	20	20
3	Паливний фільтр (попередній і основний)	3	Моторний відсік, зверху	2	4	8
4	Перевірка герметичності систем мащення, живлення паливом і повітрям	П	Моторний відсік, зверху, знизу	6	0,5	3
5	Повітряний фільтр, продувка	П	Моторний відсік, зверху	1	2	2
8	Перевірка роботи моторного гальма	П	Місце водія	1	1	1

№	Найменування об'єкта впливу	Операції ТО-1 (ТО-20000)	Місце виконання робіт	Кількість точок	Час на виконання операції, хв	Сумарний час, хв
10	Перевірка натяжки приводних пасів генератора, компресора, водяної помпи	П	Моторний відсік, зверху	1	1	1
11	Діагностика електронних систем двигуна і системи AdBlue	П	Місце водія	4	10	40
ТРАНСМІСІЯ						
1	Олива КПП	П	Моторний відсік, зверху	1	0,5	0,5
2	Перевірка вільного ходу педалі зчеплення, працездатність системи зчеплення	П	Місце водія	1	2	2
3	Робоча рідина приводу зчеплення	П	Місце водія	1	1	1
4	Змащування витискного підшипника і вилки	Зм	Моторний відсік, знизу	2	2	4
5	Перевірка кріплення фланців і проміжної опори карданного валу	П	Знизу автобуса	3	0,5	1,5
6	Змащування хрестовин, шліців і проміжної опори карданного валу	Зм	Знизу автобуса	4	1	4
7	Перевірка роботи механізму перемикання передач	П	Місце водія	1	1	1
АГРЕГАТИ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ						
1	Перевірка оливи редуктора ведучої осі	П	Знизу автобуса	1	1	1
2	Очищення сапуна ведучого моста, перевірка герметичності ущільнень	П	Знизу автобуса	2	1	2
3	Змащування пальців ресор	Зм	Знизу автобуса	4	1	4
4	Перевірка підшипників маточин передньої та задньої осей	П	Збоку автобуса	4	1	4
5	Змащування шкворнів	Зм	Знизу автобуса	2	1	2
6	Перевірка затяжки колісних гайок	П	Збоку автобуса	24	0,5	12
КЕРМОВЕ КЕРУВАННЯ						
1	Перевірка рівня рідини системи гідропідсилювача кермового керування	П	Моторний відсік, зверху	1	1	1
2	Герметичність системи гідравлічного підсилювача кермового керування	П	Моторний відсік, зверху	1	1	1
3	Вільний хід кермового колеса	П	Місце водія	1	2	2
4	Змащування наконечників кермових тяг	Зм	Знизу автобуса	3	1	3
5	Перевірка плавності роботи кермового керування	П	Місце водія	1	1	1
ГАЛЬМІВНА СИСТЕМА						
1	Змащування кулаків гальмівних механізмів	Зм	Знизу автобуса	4	1	4
2	Перевірка герметичності пневмосистеми	П	Знизу та збоку автобуса	2	0,5	1
3	Перевірка стану гальмівних накладок, барабанів, дисків	П	Збоку автобуса	8	0,5	4
4	Перевірка стоянкового гальма	П	Місце водія	1	2	2
ПНЕВМОСИСТЕМА						
1	Перевірка кріплення компресора, регуляторів рівня підлоги, ресиверів, трубопроводів	П	Знизу та збоку автобуса	14	0,5	7
2	Перевірка величини спрацьовування регулятора тиску системи	П	Місце водія	1	1	1
3	Перевірка стану пневморесор	П	Знизу автобуса	4	1	4
4	Перевірка механізмів приводу відкриття дверей	П	Салон автобуса	2	1	2
ПІДВІСКА						
1	Перевірка амортизаторів на підтікання	П	Знизу автобуса	4	0,5	2

№	Найменування об'єкта впливу	Операції ТО-1 (ТО-20000)	Місце виконання робіт	Кількість точок	Час на виконання операції, хв	Сумарний час, хв
2	Перевірка стану гумових і гумово-металевих шарнірів передньої і задньої підвісок, пневмобалонів	П	Знизу автобуса	8	0,5	4
3	Перевірка стану ресор	П	Знизу автобуса	2	1	2
4	Моменти затяжки різьбових з'єднань передньої і задньої підвісок	П	Знизу автобуса	12	0,5	6
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ						
1	Перевірка роботи систем освітлення, звукової і світлової сигналізації	П	Місце водія	8	0,2	1,6
2	Перевірка роботи панелі приладів і склоочисників	П	Місце водія	1	0,2	0,2
3	Перевірка кріплення клем генератора, стартера, акумуляторної батареї	П	Збоку автобуса	6	0,5	3
КУЗОВ						
1	Перевірка стану стекол, дзеркал, зовнішнього виду	П	Збоку автобуса	18	0,2	3,6
2	Перевірка роботи системи вентиляції і обігріву	П	Місце водія, салон автобуса	6	1	6
3	Змашування дверних механізмів	Зм	Салон автобуса	4	1	4
		П – перевірити; З – замінити; Зм – змастити	Всього	179	71,6	179,9

Під час визначення часу на виконання операцій враховано застосування відповідних засобів автоматизації робочого процесу.

Великий вплив на час виконання робіт має положення працівника. Час на виконання робіт відкоригований використовуючи коефіцієнти, які враховують умови роботи. Значення коефіцієнта k_y наведено у таблиці 3.

З врахуванням коригуючих коефіцієнтів час виконання робіт становитиме 179,9 хв або 3,0 год. Для вказаних робіт підготовчо-заклучний час ($t_{п-з}$) згідно до [13] становить 3,5%; $t_{обс}$ – 2,5%, t_B – 3,6% та t_{oc} – 2,4% від оперативного часу.

Таким чином, за залежністю (5), розрахований оперативний час на виконання ТО-20000 для автобуса А22112 становитиме 3,0 год, а норматив трудомісткості робіт ТО-20000, за залежністю (2) становитиме 3,36 люд.-год.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнту k_y .

Місце виконання робіт	Положення працівника	Значення коефіцієнту k_y .
Моторний відсік зверху	Стоячи із зігнутих корпусом	1,1
Знизу автобуса	Стоячи, роботи виконуються при стельовому положенні	1,3
Салон автобуса	Стоячи	1,0
Місце водія	Сидячи	1,0
Збоку автобуса	Стоячи	1,0

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до нормативів наведених у [2, 15, 16] для автобусів середнього класу трудомісткість ТО-1 становить 5,8...7,5 люд.-год. Співставляючи регламенти робіт з ТО-1 для сучасного транспортного засобу наведені у [14] та [16], відмічається значне зменшення їх переліку та обсягів. Так норма часу, отримана розрахунком, відрізняється від норм трудомісткості понад 40%. Таким чином, зважаючи на реальні трудомісткості робіт з обслуговування аналогічних автобусів малого та середнього класів можна стверджувати про раціональність запропонованої методики.

ВИСНОВОК

Розрахунки трудомісткості виконання робіт за запропонованою методикою отримання технічно обґрунтованих норм часу окремих видів робіт з технічного обслуговування колісних транспортних засобів свідчать про доцільність її практичного застосування. Отримані результати вказують на необхідність продовження досліджень, для вдосконалення даного методу, а також обґрунтування часу виконання елементарних операцій, з врахуванням складності конструкції транспортного засобу та кваліфікації виконавців.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів, затверджені наказом Міністерства інфраструктури України № 615 від 28.11.2014, зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 17 грудня 2014 за № 1609/26386.
2. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту затверджене наказом Міністерства транспорту України № 102 від 30.03.1998, зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 28 квітня 1998 за № 268/2708.
3. Мошковський С.О. Коригування питомих трудомісткостей ТО і ремонту легкових автомобілів під час технологічного розрахунку СТО / С.О. Мошковський, В.І. Павлюк, В.М. Дембіцький // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал – Луцьк: Луцький НТУ, 2017, № 1 (8). – с. 94 – 99.
4. Ощепков П. П., Храпова М. Ю. Модель расчёта трудоёмкости работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей // Вестник евразийской науки. 2016. №3 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-raschyota-trudoyomkosti-rabot-po-tehnicheskomu-obsluzhivaniyu-i-remontu-avtomobiley> (дата обращения: 23.10.2020).
5. Сергеева А. Г. Анализ методов технологического расчета предприятий автосервиса / А. Г. Сергеева, М. В. Полуэктов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 23 (157). – С. 157-159. – URL: <https://moluch.ru/archive/157/44128/> (дата обращения: 23.10.2020).
6. Тамер О.С. Разработка производственной программы при организации технологических процессов на участках УМР // Вестник ВУиТ. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-proizvodstvennoy-programmy-pri-organizatsii-tehnologicheskikh-protssesov-na-uchastkah-umr> (дата обращения: 23.10.2020).
7. Козлов А.В. Производственные программы по видам технического обслуживания и технического ремонта с учетом принятого режима работы автотранспортного предприятия // Вестник ВУиТ. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvennye-programmy-po-vidam-tehnicheskogo-obsluzhivaniya-i-tehnicheskogo-remonta-s-uchetom-prinyatogo-rezhima-raboty> (дата обращения: 23.10.2020).
8. Кириллов А. В. Исследование объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобильного транспорта // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 2. – С. 431–435. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/46104.htm>.
9. Мастепан С. М. Створення системи нормативного забезпечення процесів технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів / С. М. Мастепан // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Автомобіле- та тракторобудування. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2012. – № 64 (970). – С. 50-57.
10. Волков В. П. Формування напрямків розвитку нормативного забезпечення виробничих процесів на ПАТ / В. П. Волков, С. М. Мастепан, В. Ю. Риждова, І. М. Фоменко // Наукові нотатки. - 2016. - Вип. 55. - С. 59-63. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2016_55_13
11. Нестеренко С.А., Агеева І.В., Сурженко Н.В. Організація виробництва: Нормування праці. Навчальний посібник. URL: <http://feb.tsatu.edu.ua/ebook/mn/ov/page5.html>
12. Общестроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. Изд. 2-е, М., «Машиностроение», 1974, 220 с (ЦБПНТ при НИИТ труда).
13. РД 03112178-1023-99. Сборник норм времени на техническое обслуживание и ремонт легковых, грузовых автомобилей и автобусов. Том 1. Москва 2005. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293846/4293846166.htm>
14. Автобус міський А22112. Настанова щодо експлуатування. А22112-0000010-20 НЕ. Луцьк, 2017, 155 с.

15. ОНТП-01-91 [Електронний ресурс]. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. Минавтотранс РСФСР – М.: Росавтотранс, 1991. URL: <http://ventportal.com/ua/node/468>.

16. Нормативы численности рабочих, занятых техническим обслуживанием и текущим ремонтом подвижного состава автомобильного транспорта. – М., 1988, 207 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293846/4293846556.htm>

REFERENCES

1. Pravyla nadannia posluh z tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu kolisnykh transportnykh zasobiv (2014), zatverdzeni nakazom Ministerstva infrastruktury Ukrainy № 615 vid 28.11.2014, zareiestrovani v Ministerstvi yustytzii Ukrainy vid 17 hrudnia 2014 za № 1609/26386.

2. Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia i remont dorozhnykh transportnykh zasobiv avtomobilnoho transportu (1998) zatverdzhene nakazom Ministerstva transportu Ukrainy № 102 vid 30.03.1998, zareiestrovani v Ministerstvi yustytzii Ukrainy vid 28 kvitnia 1998 za № 268/2708.

3. Moshkovskiy S.O., P avliuk V.I., Dembitskiy V.M. (2017) Koryhuvannia pytomykh trudomistkosti TO i remontu lehkovykh avtomobiliv pid chas tekhnolohichnoho rozrakhunku STO. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. Naukovyi zhurnal, 1 (8), 94–99.

4. Oshchepkov P. P., Khrapova M. Yu. (2016) Model raschyota trudoyomkosti rabot po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu avtomobiley. Vestnik evraziyskoi nauki, 3 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-raschyota-trudoyomkosti-rabot-po-tehnicheskomu-obsluzhivaniyu-i-remontu-avtomobiley>

5. Serheeva A. H., Poluektov M. V. (2017) Analiz metodov tekhnolohicheskoho rascheta predpriyatiyi avtoservisa. Tekst : neposredstvennyy, Molodoy uchenyy, 23 (157), 157–159. URL: <https://moluch.ru/archive/157/44128/>

6. Tamer O.S. (2019) Razrabotka proizvodstvennoy prohrammy pri orhanyzatsii tekhnolohicheskikh protsessov na uchastkakh UMR. Vestnyk VUyT, 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-proizvodstvennoy-programmy-pri-organizatsii-tehnologicheskikh-protsessov-na-uchastkah-umr>

7. Kozlov A.V. (2019) Proyzvodstvennye prohrammy po vidam tekhnicheskoho obsluzhivaniya i tekhnicheskoho remonta s uchetom priniatoho rezhyma raboty avtotransportnoho predpriyatiya. Vestnik VUyT, 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proyzvodstvennye-programmy-po-vidam-tehnicheskogo-obsluzhivaniya-i-tehnicheskogo-remonta-s-uchetom-prinyatogo-rezhyma-raboty>

8. Kyryllov A. V. (2016) Issledovaniye obyemov rabot po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu avtomobilnoho transporta. Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal «Kontsept», T. 2., 431–435. URL: <http://e-koncept.ru/2016/46104.htm>

9. Mastepan S. M. (2012) Stvorennia systemy normatyvnoho zabezpechennia protsesiv tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu transportnykh zasobiv. Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Temat. vyp. : Avtomobile- ta traktorobuduvannia, 64 (970), 50–57.

10. Volkov V. P., Mastepan S. M., Ryzhova V. Yu., Fomenko I. M. (2016) Formuvannia napriamkiv rozvytku normatyvnoho zabezpechennia vyrobnychkykh protsesiv na PAT. Naukovi notatky. Vyp. 55, 59–63. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2016_55_13

11. Nesterenko S.A., Ahieieva I.V., Surzhenko N.V. Orhanizatsiia vyrobnytstva: Normuvannia pratsi. Navchalnyi posibnyk. URL: <http://feb.tsatu.edu.ua/ebook/mn/ov/page5.html>

12. Obshchestroitelnye normativy vremeni na slesarnoyu obrabotku detalei i slesarno-sborochnye raboty po sborke mashyn. Melkoseryynoe i edinichnoe proizvodstvo (1974) Izd. 2-e, – М.: Mashynostroenie(TsBPNT pri NIIT truda). URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293738/4293738245.htm>

13. RD 03112178-1023-99. (1999) Sbornik norm vremeni na tekhnicheskoe obsluzhyvanie i remont lehkovykh, hruzovykh avtomobiley i avtobusov. Tom 1. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293846/4293846166.htm>

14. Avtobus miskiy A22112. (2017) Nastanova shchodo ekspluatuvannia. A22112-0000010-20 NE., – Lutsk, 155.

15. ONTP-01-91 (1991) Obshchesoiuznie normy tekhnolohicheskoho proektirovaniia predpriyatiy avtomobilnoho transporta, – М.: Rosavtotrans. URL: <http://ventportal.com/ua/node/468>

16. Normativy chislennosti rabochikh, zaniatykh tekhnicheskim obsluzhivaniem i tekushchim remontom podvizhnoho sostava avtomobilnoho transporta (1988), – М., 207. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293846/4293846556.htm>

V. Dembitskyi, V. Pavliuk. Determination of the norms of time for maintenance of the vehicle for the formation of labor intensity of work.

The paper considers topical issues of determining the norms of time for maintenance and repair of vehicles to form the labor intensity of maintenance and current repair of the rolling stock of road transport enterprises, which will be used during their technological calculation. On the basis of the existing norms of time for performing various types of work, a graph of technical maintenance (repair) of a car was proposed, according to which a methodology for determining the norms of time and labor intensity of technical influences on a car was developed. The graph of maintenance (repair) of vehicles serves as a graphical model for further calculations of time norms and provides the transition from the object of influence to the elementary operations. This approach allows you to distribute the elementary operations and take into account the peculiarities of their implementation. Developed a method contributes to the further development of methods for determining the labor intensity of maintenance for the technological calculation of road transport enterprises. The analysis of the values of the labor intensity of vehicle maintenance is carried out. On the example of carrying out routine maintenance of the low order for a bus using methods of analyzing the costs of working time and using the time norms for locksmith operations, an approximate calculation of its total labor intensity was carried out. The results obtained indicate a reduction in the time for performing bus maintenance operations, and, accordingly, a decrease in the established labor intensity of about 40% compared to the normative value.

Key words: maintenance, labor intensity, technological calculation, motor transport company.

ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: dvm2@meta.ua. <http://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

ПАВЛЮК Василь Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: pavliuk_v.i@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

Valerii DEMBITSKYI, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: dvm2@meta.ua. <http://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

Vasyl PAVLIUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: pavliuk_v.i@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

DOI 10.36910/automash.v2i15.388

Кищун В. А., Мулярчук Д. Ю.
Луцький національний технічний університет

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПАР ПАЛИВНИХ ФОРСУНОК BOSCH З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Серед деталей, що регламентують надійність функціонування паливної електромагнітної форсунки особливе місце займають її прецизійні пари, зокрема розпилювач і клапан керування, технічний стан яких суттєво впливає на економічні та екологічні показники роботи двигуна. У випадку виходу із ладу, фірма BOSCH рекомендує заводську технологію їх ремонту або заміну, що підвищує вартість ремонту.

Детальми форсунки, що руйнуються першочергово є голка і корпус розпилювача та сідло клапана керування. Виходячи з аналізу виду пошкоджень, сервісні центри ухвалюють рішення стосовно способу повернення параметрів форсунки до нормативних. Зокрема, якщо погіршення роботи форсунки викликане зношенням контактних поверхонь голки і корпусу розпилювача чи сідла клапана керування, то проводилася реставрація цих деталей.

В Україні заводська технологія відновлення розпилювачів і клапанів керування форсунок BOSCH не завжди витримується оскільки потребує спеціального обладнання, тому станції з ремонту паливної апаратури, кожна своїми методами, проводять реставрацію фірмових форсунок. Використовується технологія взаємного притирання голки до сідла корпусу розпилювача, результати застосування якої бажають бути кращими.

У статті пропонується технологічний процес відновлення роботоздатності розпилювачів і клапанів керування паливної форсунки BOSCH із електромагнітним приводом, який на практиці підтвердив свою ефективність. Так, відновлення спряжених поверхонь розпилювача проходить у два етапи: на першому етапі виконується прешліфування конуса голки розпилювача, на другому – притирання поверхні конуса корпусу спеціальним притиром. З цією метою був розроблений комплекс, основою якого став розроблений і виготовлений пристрій для прешліфування.

Сідло клапана керування відновлюється також методом притирання на універсальному притирочному станку МР-250.

Запропонована технологія відновлення розпилювача і клапана керування паливних форсунок фірми BOSCH із електромагнітним приводом дозволяє продовжити їх експлуатацію без зниження технічних і економічних показників роботи та зекономити кошти на ремонті.

Ключові слова: форсунка BOSCH, розпилювач, клапан керування, прецизійні пари, спряжені поверхні, технологія відновлення.

ВСТУП

Не дивлячись на світові тенденції зниження частки використання дизельних двигунів, вони продовжують встановлюватися на сучасних транспортних засобах. Це пояснюється їх високою ефективністю і економічністю, позаяк останнім часом проявився такий істотний недолік, як шкідливі викиди.

Найскладнішою системою дизельного двигуна неабияк вважається його система живлення. Забезпечення низької витрати пального, зменшення викидів шкідливих речовин з вихлопними газами, безшумність роботи двигуна ставлять високі вимоги до системи впорскування пального. Більшість цих вимог задовільняє паливна система акумуляторного типу Common Rail, укомплектована дизельними форсунками з електромагнітним чи п'єзоелектричним приводами.

Серед деталей, що регламентують надійність роботи паливної форсунки BOSCH із електромагнітним приводом особливе місце займають її прецизійні пари, зокрема розпилювач і клапан керування, технічний стан яких суттєво впливає на економічні та екологічні показники роботи двигуна загалом (див. рис. 1 і рис. 2) [1, 2]. Тому, коли ці вузли не забезпечували форсунці заявлені характеристики, фірма пропонувала її замінити, що, у свою чергу, підвищувало вартість ремонту.

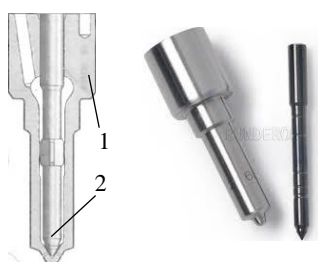
АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Найбільшому зношенню у форсунці притаманна механічна частина, електрична виходить із ладу вкрай рідко. Найчастіша причина ремонту – розмиття сідла клапана керування (див. рис. 2,в) [3]. Це відбувається через значну різницю тисків пального у цій зоні, де неминуче проходить кавітаційне зношення, що посилюється попаданням води і абразивних частинок у дизельне пальне.

Дещо менше руйнується пара «голка-розпилювач», однак результат – збільшення розмірів каналів у розпилювачі і затирання голки, через що вона починає переміщуватися недостатньо плавно і навіть підклинювати. А носик розпилювача, який знаходиться безпосередньо у камері згоряння, може постраждати через аномальні робочі процеси у циліндрі, наприклад, через локальне підвищення

температури. Основні причини і види пошкоджень деталей розпилювача і клапана керування паливної форсунки детально розглядалися у роботі [4].

Виходячи з аналізу виду пошкоджень, спеціалізовані СТО ухвалювали рішення стосовно



а) б)
Рисунок 1 – Розпилювач форсунки:
а – конструкція (1 – корпус; 2 – голка);
б – корпус і голка розпилювача



а) б) в)
Рисунок 2 – Клапан керування форсунки:
а – конструкція (1 – кулька; 2 – сідло; 3 – шток);
б – сідло клапана; в – зношення сідла клапана

способу повернення параметрів форсунки до нормативних. Так, у випадку закоксування чи забруднення розпилювача або клапана керування можна було обмежитися чисткою спряжених деталей, у тому числі, методом гідродинамічної кавітації на стендах або в ультразвукових ваннах із допомогою розчину «Лабомід 101» [3, 5]. При значному руйнуванні голки, корпусу розпилювача та сідла і кульки клапана керування використовувався ремонтний комплект, що містив розпилювач, клапан керування у зборі, однак збільшував вартість ремонту [2, 6].

Якщо погіршення роботи форсунки було викликане зношенням контактних поверхонь голки і корпусу розпилювача та сідла клапана керування – проводилося відновлення (реставрація) цих деталей, що у порівнянні з форсункою чи їх (деталей) заміною обходилося для замовника у 3...5 разів дешевше [3, 6].

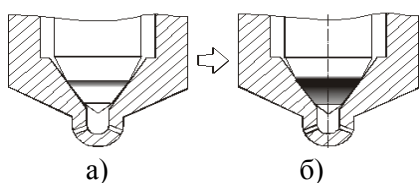
Сьогодні в Україні не завжди витримується заводський технологічний процес відновлення розпилювачів і клапанів керування паливних форсунок BOSCH. Спеціалізовані станції з ремонту паливної апаратури, кожна своїми методами, проводять реставрацію фірмових форсунок. Зокрема, практикується технологія взаємного притирання голки до сідла корпусу розпилювача за рахунок нанесення між ними притирочного матеріалу. Ефективність такого методу сумнівна, оскільки у результаті притирання отримуються рівні кути запірних конусів голки і сідла. Контакт відбувається не по лінії (див. рис. 3, а), а по поверхні (див. рис. 3, б), що з часом погіршує гідравлічну щільність розпилювача.

ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження став технологічний процес відновлення спряжених деталей розпилювача і клапана керування паливної форсунки фірми BOSCH із електромагнітним приводом, який забезпечував би форсунці технічні параметри не нижче заводських.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз зносу елементів розпилювача показав, що найбільше зношується поверхня запірного конуса голки розпилювача [4]. Тому, для відновлення гідравлічної щільності розпилювача достатньо на першому етапі відтворити шляхом перешліфування геометрію зношеної робочої поверхні голки. Перешліфування поверхні зводиться до поновлення кута запірного конуса відповідно до вимог технічної документації, тобто 60° .



а) б)
Рисунок 3 – Схеми контакту голки і корпусу розпилювача

З цією метою був розроблений комплекс, який складається з пристрою для перешліфування запірного конуса голки 1, електронного мікроскопа 2, монітора 3 для відтворення збільшеного зображення і пульта керування 4 (див. рис. 4). Якщо мікроскоп і монітор – це готові покупні вироби, то пристрій був спеціально спроектований і виготовлений, як нестандартне обладнання. Основою пристрою служить плита розміром 360×400 мм і товщиною 20 мм, до якої кріпляться різні вузли (див. рис. 5). На плиті також встановлений координатний стіл, який може переміщатися у двох, взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою гвинтових пар.

На координатному столі розташований ще один поворотний столик. Він може обертатися навколо вертикальної осі. До поворотної плити столика кріпляться система фіксації голки, механізм приводу голки для надання їй обертового руху і енкодер для визначення кута повороту. Фіксація голки досягається вкладанням її у спеціальні призми та притисканням приводним пасом, а обертання здійснюється від електродвигуна з редуктором, що розміщений на поворотній плиті (див. рис. 5).

Повертання плити виконується поворотним механізмом, що забезпечує регулювання кута у діапазоні $0...120^{\circ}$. Також на плиті розміщена фортуна з шліфувальним кругом, який приводиться у рух від електродвигуна з системою зміни частоти обертання через пасову передачу. Механізм переміщення обладнаний гвинтовою парою з кроком різьби, що забезпечує подачу 1,0 мм за оберт.

Для досягнення найкращих результатів при шліфуванні мають бути витримані такі параметри:

- частота обертання абразивного круга – 4500 хв^{-1} ;
- частота обертання голки розпилювача – 400 хв^{-1} .

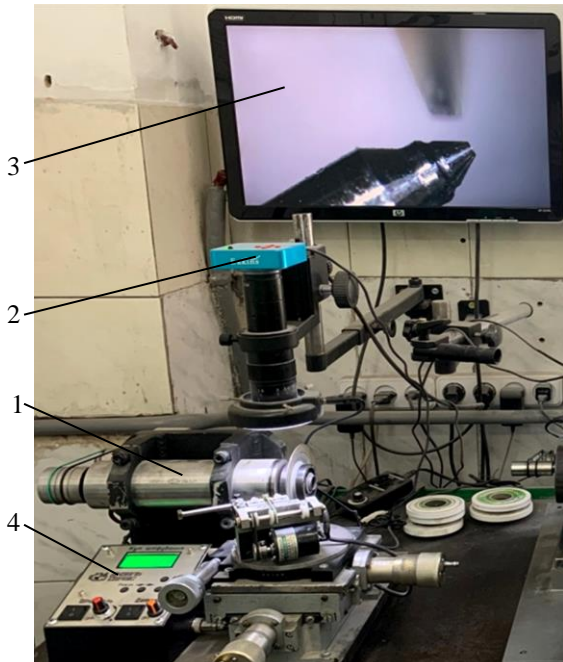


Рисунок 4 – Комплекс для відновлення запірнього конуса голки розпилювача:
1– пристрій для перешліфування; 2 – електронний мікроскоп; 3 – монітор; 4 – пульт керування



Рисунок 5 – Пристрій для перешліфування запірнього конуса голки та механізм її кріплення і обертання

Матеріалом шліфувального круга служить білий електрокорунд на керамічній основі середньої твердості. Вимірювання устанавленого кута шліфування відбувається за допомогою енкодера з числовою індикацією з точністю до $2''$, сигнал від якого подається на дисплей пульта керування пристроєм (див. рис. 4).

Працює пристрій таким чином: голка, що підлягає відновленню встановлюється у призми і притискається до них за допомогою паса, який є одночасно і приводною ланкою від редукторного електродвигуна. Далі виставляється необхідна величина кута, на який необхідно шліфувати голку.

Голка і абразивний круг приводиться у рух за допомогою ввімкнення електродвигунів. Після цього механізмом переміщення голка підводиться до абразивного круга та шліфується до досягнення однорідної поверхні конуса.

Якість оброблюваної поверхні контролюється візуально електронним мікроскопом із демонстрацією на моніторі (див. рис. 4).

Правка круга здійснюється за допомогою пластини з алмазною вставкою, що встановлюється на місце призми на механізмі переміщення.

У випадку, якщо відновлення голки розпилювача не забезпечило його необхідну гідравлічну щільність, потрібно провести наступний етап – відновити запірний конус у корпусі розпилювача. Процес відновлення полягає у перешліфуванні поверхні конуса спеціальним точним притиром на

притирочному станку MP-250 (див. рис. 6, а) [7].

Для цього корпус розпилювача у спеціальній оправці розміщується на підйомному столику станка, як показано на рисунку 6, а. У самозатискний патрон встановлюється спеціальний притир виготовлений з матеріалу «Ст.3» та правлений на кут менший на $0^{\circ}30''$ від кута голки розпилювача (див. рис. 6, б), У зону шліфування подається алмазна паста зернистістю 5...7 мікрон і процес проходить при частоті обертання шпинделя станка 4500 хв^{-1} .

Контроль за якістю шліфування здійснюється ендоскопом «Отоскоп wifi» із HD-камерою діаметром 3,9 мм, що вводиться у корпус розпилювача (див. рис. 7) [8]. За допомогою камери з світлодіодним підсвічуванням зображення шліфованої поверхні передається на монітор і майстром оцінюється якість виконаної роботи.

Після проведення перешліфування запірного конуса корпусу розпилювача проводиться тонке взаємне притирання з голкою за допомогою алмазної пасту зернистістю 1,0 мкм.



а)

Рисунок 6 – Притирання корпусу розпилювача на станку MP-250 (а) спеціальним притиром (б)



б)



Рисунок 7 – Оцінка якості шліфування за допомогою ендоскопа «Отоскоп wifi»

Для відновлення гідравлічної щільності клапана керування необхідно відновити геометрію запірного конуса його сідла. Кулька клапана відновленню не підлягає, а замінюється новою [2]. Робочу поверхню сідла відновлюють також за допомогою притирочного станку MP-250 (див. рис. 6, а).

Сідло клапана встановлюється в утримувач із отвором і розміщується на робочому столі верстата. В отвір запірного штоку наноситься суміш абразивної пасту зернистістю 5 мкм і моторної оливи. У самозатискному патроні шпинделя станка закріплюється притир із кутом 120° і маховичком осьової подачі підводиться до сідла клапана на відстань 1...2 мм не доходячи до його поверхні.

Далі процес проходить так: осьове переміщення робочого стола фіксується двома фіксаторами, після чого вмикається обертання шпинделя станка. За допомогою ручки осьової подачі шпинделя притир притискається до робочої кромки сідла клапана. Внаслідок спеціального режиму осциляції (обертання притиру з вібрацією вздовж осі) та притирочної пасту з поверхні сідла клапана знімається шар металу.

Притирання проводиться до повного усунення решток зносу з робочої поверхні сідла. Товщина шару металу, що знімається під час притирання становить 10...40 мкм. Контроль якості обробки виконується за допомогою мікроскопа МБС-9.

Після відновлення геометрії запірних конусів спряжених деталей розпилювача і сідла клапана керування, форсунка збирається з обов'язковим дотриманням розмірного ланцюга та проводиться випробування її на стенді.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розроблена технологія відновлення роботоздатності розпилювачів і клапанів керування паливної електромагнітної форсунки BOSCH була запроваджена у виробництво на спеціалізованій СТО Волинської області і отримала схвальні відгуки клієнтів. Ефективність послуги дала можливість підприємству встановити піврічний гарантійний термін на виконанні роботи.

ВИСНОВКИ

Розроблений технологічний процес відновлення розпилювача і клапана керування паливних форсунок фірми BOSCH із електромагнітним приводом дозволяє повернути форсункам, практично, заводські параметри, продовжити їх експлуатацію та заощадити кошти під час ремонту системи живлення двигуна.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Перевод с английского. Учебное пособие – М.: ЗАО «Легион-Автодата», 2005. – 48 с.
2. Діагностика і ремонт форсунок common rail. URL: http://bcs.avtolider-ua.com/diesel_cri.html (дата звернення: 02.10.2020).
3. Ремонт форсунок Common Rail. URL: https://kovsh.com/service/diesel_equipment_service/remont_forsunok_common_rail (дата звернення: 08.10.2020).
4. Кищун В. А., Нестеренко Л. В. Причины втрати роботоздатності дизельних форсунок із п'єзоелектричним приводом. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»)*. Луцьк : Редакційно-видавничий відділ Луцького національного технічного університету, 2018. Вип. 62. С. 138–143.
5. Ремонт или замена инжектора. URL: <https://avto.tatar/services/remont-inzhektora/companies> (дата звернення: 08.10.2020).
6. Ремонт форсунок BOSCH. <https://forsunka.kiev.ua/services/remont-forsunok-sistemy-common-rail/remont-forsunok-bosch/> (дата звернення: 18.10.2020).
7. MP-250 SASH. Станок притирочный для клапанов форсунок CR. URL: <https://dieselbel.com.ua/stanok-pritirochnyy-dlya-klapanov-forsunok-cr-mp-250-sash.html> (дата звернення: 17.10.2020).
8. Отоскоп wifi – вушний эндоскоп з HD-камерою діаметром 3,9 мм зі світлодіодом. URL: <https://prom.ua/Kamera-endoskop.html> (дата звернення: 17.10.2020).

REFERENCES

1. *Fuel systems of diesel engines with pump nozzles and individual high pressure fuel pumps. Translation from English. Tutorial* (2005). [Топливные системы дизелей с насос-форсунками и индивидуальными ТНВД. Перевод с английского. Учебное пособие] Moscow, ZAO «Legion-Avtodata» Publ. 48 p.
2. Diahnostyka i remont forsunok common rail. URL: http://bcs.avtolider-ua.com/diesel_cri.html (data zvernennya: 02.10.2020).
3. Remont forsunok Common Rail. URL: https://kovsh.com/service/diesel_equipment_service/remont_forsunok_common_rail (data zvernennya: 08.10.2020).
4. Kyshchun V., Nesterenko L. (2018). *Operability loss causes for diesel fuels spray nozzle with piezoelectric driver*. [Prychyny vtraty robotozdatnosti dyzel'nykh forsunok iz p'yezoelektrychnym pryvodom]. «Scientific notes». Intercollegiate collection (according to the branches of knowledge «Machine-building and metalworking», «Engineering mechanics», «Metallurgy and materials science»). No. 62, Lutsk, NTU Publ. pp. 138–143.
5. Remont yly zamena ynzhektora. URL: <https://avto.tatar/services/remont-inzhektora/companies> (data zvernennya: 08.10.2020).
6. Remont forsunok BOSCH. <https://forsunka.kiev.ua/services/remont-forsunok-sistemy-common-rail/remont-forsunok-bosch/> (data zvernennya: 18.10.2020).
7. MP-250 SASH. Stanok prytyrochnyy dlya klapanov forsunok CR. URL: <https://dieselbel.com.ua/stanok-pritirochnyy-dlya-klapanov-forsunok-cr-mp-250-sash.html> (data zvernennya: 17.10.2020).
8. Otoskop wifi – vushnyy endoskop z HD kameroyu diametrom 3,9 mm zi svitlodiodom. URL:

<https://prom.ua/Kamera-endoskop.html> (data zvernennya: 17.10.2020).

V. Kyshchun, D. Muliarchuk. Reconditioning of parts of precision pairs BOSCH fuel injector with electromagnetic drive.

Among the details that regulate the reliability of the functioning of the electromagnetic fuel injector, a special place is occupied by its precision pairs, in particular, the sprayer and the control valve, the technical condition of which significantly affects the economic and environmental performance of the engine. In case of failure, BOSCH recommends a factory technology for their repair or replacement, which increases the cost of repair.

The parts of the injector that are destroyed in the first place are the needle, the sprayer body and the control valve seat. Based on the analysis of the type of damage, service centers make decisions on how to return the parameters of the injector to the standard. In particular, if the deterioration in the operation of the injector is caused by the wear of the contact surfaces of the needle and the sprayer body or the control valve seat, then the restoration of these parts is carried out.

In Ukraine, the factory technology of restoring sprayers and control valves of BOSCH injectors is not always sustained because it requires special equipment, therefore, fuel equipment repair stations, each with its own methods, carry out the restoration of branded injectors. The technology of mutual lapping of the needle to the seat of the sprayer body is used, the results of which are poor.

The article proposes a technological process of restoration of working capacity of sprayers and control valves of BOSCH injectors with an electromagnetic drive, which in practice has confirmed its effectiveness. Thus, the restoration of the mating surfaces of the sprayer takes place in two stages: at the first stage, the cone of the sprayer needle is grinded, at the second stage, the surface of the cone of the body is lapped with a special lapping. For this purpose, a complex was developed, which was based on the special designed and manufactured grinding device. The control valve seat is also restored by the lapping method on the MP-250 universal lapping machine.

The offered technology of restoration of a spray and the control valve of BOSCH fuel injectors allows them to continue their operation without reduction of technical and economic indicators and save money on repairs.

Key words: BOSCH injector, sprayer, control valve, precision pairs, mating surfaces, restoration technology.

КИЩУН Володимир Андрійович, кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: kyshchun52@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

МУЛЯРЧУК Дмитро Юрійович, магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет.

Volodymyr KYSHCHUN, PhD. in Economic, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: kyshchun52@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

Dmytro MULIARCHUK, master of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.389

Котенко В.І.

Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ У МОДЕЛЮВАННІ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАВОК ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Інтенсивний розвиток аграрного сектору України за останні спричинив зміни у логістиці зернових культур. Попит на зерно та пов'язану з ним діяльність формує попит на його транспортування. Оцінити попит на сільськогосподарські перевезення необхідно для аналізу транспортної політики та прийняття рішень про господарську діяльність перевізників.

У статті розглянуто особливості формування попиту у моделях транспортування зернових культур вітчизняних науковців.

Імітаційна модель дозволяє визначити параметри автомобільного парку для вивчення попиту на транспортні перевезення сільськогосподарських товарів, на основі оцінки заявок на перевезення, що може бути використаним на етапі транспортування «індивідуальне сільське господарство-елеватор».

Модель нейронних мереж надає можливість зробити раціональним прийняття управлінських рішень та сприяти інтелектуалізації логістики ланцюгів поставок з метою мінімізації операційних витрат для перевезення вантажу. Тобто планувати та негайно виконувати розподіл залежно від попиту на вантаж. Ця модель враховує такі параметри як сезонність або нерівномірність перевезень, рух транспортних засобів та інфраструктуру залізниці. Особливо доцільним використання цієї моделі буде на етапі транспортування «елеватор-лінійний елеватор/морський термінал» із залученням залізничного транспорту.

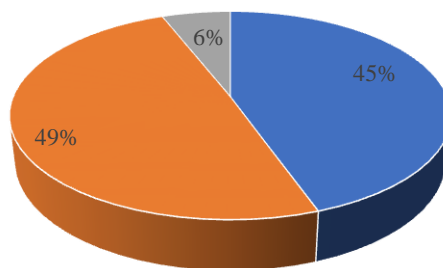
Особливістю нечіткої моделі управління є те, що входні параметри описуються не кількісним значенням, а певною терм-множиною. При цьому кількісні характеристики представляються нечітко та у вигляді лінгвістичних змінних.

Дослідження попиту на вантажні перевезення дозволить підвищити ефективність на різних етапах доставки. Кожна наведена модель має особливий підхід до дослідження попиту та прогнозування перевезень у аграрному секторі. Проте створення уніфікованої моделі прогнозування попиту на перевезення сприятиме раціоналізації прийняття управлінських рішень та мінімізації витрат на кожному з етапів транспортування зернових культур, що сприяє подальшим дослідженням.

Ключові слова: зернові культури, попит на перевезення, модель штучних нейронних мереж, імітаційна модель, нечітка модель управління.

ВСТУП

Зростання аграрного сектору в Україні за останні роки не могло не відобразитись на логістиці зернових культур. За даними Державної служби статистики України у 2019 році обсяги перевезень зернових культур автомобільним транспортом зросли на 16,1% – до 22,4 млн тонн, без урахування діяльності фізичних осіб. За оцінкою компанії Pro-Consulting, що проводить маркетингові дослідження ринків, обсяг перевезення автомобільним транспортом у 1,5-2 рази більший та може складати від 33 млн до 40 млн тонн. В той час, перевезення Укрзалізницею зросли на 23,2% та досягли рекордного значення за останні чотири роки – 40,5 млн. т. та 4,9 млн тонн зернових і продуктів перемолу – на 54% більше порівняно 2018 роком водним транспортом [1].



■ Автомобільний транспорт ■ Залізничний транспорт ■ Водний транспорт

Рисунок 1. Структура перевезень зернових культур за типом транспорту у 2019 році

Із структури, представленої на Рисунок 1, спостерігаємо досить високі показники автомобільних перевезень у ланцюгах поставок зернових культур, що підтверджує доцільність подальших досліджень.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Попит на зерно та пов'язану з ним діяльність формує попит на його транспортування. Оцінити попит на сільськогосподарські перевезення необхідно для аналізу транспортної політики та прийняття рішень про господарську діяльність перевізників.

Загальне поняття попиту на перевезення вантажів відображає кількість потреб у перевезеннях та додаткових транспортних послугах відповідно до ціни та обсягу. Кількісна оцінка на будь-який вид транспортних послуг розраховується після визначення меж транспортного ринку, на якому здійснюється або планується транспортна діяльність [2].

Попит на транспортні послуги можна визначити за такими методами:

- прямий розрахунок – визначається для кожного виду послуг. Розраховується множенням фактичного обсягу виробництва транспортних послуг на коефіцієнт росту ринку і на коефіцієнт повторності перевезень періоду, що передує розрахунку. Коефіцієнт росту визначається за даними експертів або власними дослідженнями;

- експертний – розраховується як середня оцінка по групі експертів і представляється як імовірнісна характеристика;

- експериментальний – визначається вимірюванням фактичного обсягу попиту за допомогою опитувань різних груп і суб'єктів ринку (клієнтів, посередників);

- математичний – найбільш точний, трудомісткий та структуризуючий. Передбачає аналіз ряду статистичних даних, даних обліку державних довідників.

Особливостями попиту автотранспортної діяльності є:

- нерівномірність попиту у часі і просторі за рахунок сезонності перевезень, структури вантажопотоків, структури споживання, якості і рівня споживачів, рівня технологічного розвитку;

- вторинність виникнення транспортного попиту, що задовольняється за допомогою транспорту.

Зазначені моделі дозволяють визначити попит на вантажні перевезення, що, в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності доставки на різних етапах ланцюга поставок зернових культур та оптимізації управлінських рішень. Кожна наведена модель має особливий підхід до дослідження попиту та прогнозування перевезень у аграрному секторі.

ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз моделювання ланцюгів поставок у аграрному секторі, що враховують попит на транспортування. Систематизація отриманих результатів дозволить всебічно оцінити попит та сприятиме подальшим дослідженням для формування оптимальної моделі попиту на різних етапах ланцюга поставок зернових культур.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Серед вітчизняних науковців, які досліджували моделювання попиту на основі заявки на транспортне обслуговування варто виокремити В.С. Наумова [3], А.В. Іванченка [4], Я.В. Літвінову [5]. Результати їхніх досліджень визначили, що попит на транспортне обслуговування – це потреба клієнта в послугах, підкріплена купівельною спроможністю й представлена на ринку для її задоволення. Елементарною одиницею, що формує попит, є заявка. Заявка на обслуговування є підставою й причиною взаємодії між елементами логістичної системи доставки вантажів – експедитором, перевізником, вантажним терміналом і вантажовласником. Сукупність потенційних і реальних заявок на послуги підприємства утворюють попит на його послуги, відповідно, сукупність заявок на послуги всіх підприємств регіону являє собою попит на транспортні послуги в регіоні. Кожна заявка може бути кількісно оцінена набором показників, найбільш важливими з яких є обсяг партії вантажу, відстань доставки й інтервал надходження заявки. Оскільки сукупність послідовних заявок на послуги транспортних підприємств характеризує попит, то завдання оцінки попиту на транспортне обслуговування перетворюється в завдання визначення параметрів потоку [5].

Імітаційна модель транспортного процесу перевезення сільськогосподарських продуктів, розроблена Сидорчуком О. В., Боярчуком В. М., Кригульом Р. Є. [6], базується на дослідженні заявок. У моделі транспортного процесу використані такі показники як: кількість заявок, що надходять з окремого населеного пункту; обсяги надходження вантажу в окремо взятій заявці; інтенсивність надходження заявок по днях впродовж сезону заготівлі. Моделювання здійснюється за такими етапами:

- 1) обґрунтування обсягу дії приймального пункту;

- 2) визначення показників ефективності функціонування системи для різних конфігурацій парку автомобілів;

3) на підставі мінімальних питомих зведених витрат функціонування– обґрунтовують оптимальний варіант.

У сучасних дослідженнях зарубіжних [7] та вітчизняних [8] науковців зустрічаємо моделювання попиту на основі штучних нейронних мереж (ANN- від *англ.* artificial neural network). Штучні нейронні мережі призначені для наслідування поведінки людини при прийнятті рішень через навчальні процеси. Крім того, вони є стійкими до відмов, та можуть отримувати корисні результати навіть з неповного набору даних. ANN розроблені для вирішення динамічних задач та не підходять для класичних задач. Вони навчаються з ситуацій, які вже траплялись (історичні дані) та мають на меті вирішувати проблеми, пов'язаних з розпізнаванням образів і прогнозування майбутніх значень відповідно до минулих випадків.

Основною перевагою моделей нейронних мереж є лінійність, тобто здатність встановлювати взаємозв'язок між майбутніми та фактичними значеннями процесів. До недоліків ANN відносимо відсутність прозорості в моделюванні, складність вибору архітектури, високі вимоги для послідовності навчальної вибірки, складність вибору алгоритму навчання та ресурсомісткість процесу навчання мережі [7].

Такі науковці як Гурнак В., Волинець Л., Халацька І. [8] здійснили прогнозування транспортування зернових завдяки структурній моделі на основі ANN. Цей метод прогнозування має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних шляхом самостійного навчання моделі. Нейронна мережа може імітувати функцію практично будь-якого ступеня складності. Для того, щоб на виході нейрона отримати прогнозоване значення обсягів, автори застосовують функцію витрат на перевезення вантажу (1), що враховує наступні змінні:

$$C(x_{ij}) = \sum_{i=1} \sum_{j=0} x_{ij} \times k_n \times \delta_{зав} \times d_{ij}^{зав} + \sum_i \sum_j x_{ij} \times k_n \times \delta_{пор} \times d_{ij}^{пор} + \Delta D / \Delta x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

де C – витрати на перевезення вантажу, грн.;

x_{ij} – змінна кількість автомобілів, що рухаються від станції і до станції j ;

k_n – коефіцієнт нерівномірного транспортування вантажів;

$\delta_{зав}, \delta_{пор}$ – частка завантажених вагонів та порожні вагонів відповідно від станції і до станції j ;

$d_{ij}^{зав}, d_{ij}^{пор}$ – витрати, пов'язані з передачею завантажених та порожні вагони відповідно;

ΔD – питомі витрати внаслідок збільшення вантажопідйомності в середньому, грн;

Δx_{ij} – питоме збільшення кількості автомобілів транспортується від станцій і до станції j .

Величина точності прогнозування руху визначається величиною середньої абсолютної похибки у відсотках, яка становить 5,56% [8]. Враховуючи, що транспортна галузь є досить інертною системою, такого показника достатньо для того, щоб прийняти управлінські рішення.

Дослідження попиту на перевезення зернових культур на етапі «зерновий елеватор-морський термінал» представлене у працях вітчизняних науковців Шраменко Н.Ю., Музильова Д.О. та Карнауха М.В. [9]. Запропонована нечітка модель управління планування перевезень дозволяє на основі наближених розрахунків врахувати невизначеність вхідної (що надходить) інформації, представленій у вигляді нечітко визначених параметрів, обмежень і критеріїв, які виводяться з детального аналізу технології оперативного планування перевезеннями. Модель має два вхідних параметри:

1) очікувані темпи зміни попиту на перевезення сільськогосподарського вантажу в плановий період, т;

2) оптимальний рівень завантаження рухомого складу;

та управлінське рішення, спрямоване на формування раціональної структури парку автомобілів на оперативний період планування на виході моделі.

Для аналізу попиту застосовують показник швидкості зміни попиту, який визначається, як очікувані темпи зміни даного показника на перевезення зерна в інтервалі між прибуттям двох кораблів, тобто на період планування [10]:

$$\Delta SD = \frac{D_{after}^{sh2} - D_{befor}^{sh1}}{I_{sh1}^{sh2}}, (2)$$

D_{befor}^{sh1} – фактичне значення попиту вантажопідйомність автомобілів перед прибуттям першого судна в порт, тобто на початок планування, т;

D_{after}^{sh2} – прогнозне значення попиту на перевезення зерна перед прибуттям другого корабля в порт, яке визначається на підставі завантаженості терміналу зерном і тоннажності самого судна, т. Враховує тенденцію зміни попиту на перевезення;

D_{after}^{sh2} – інтервал між заходом в порт попередніх і наступних кораблів, днів.

Даний показник характеризує часовий горизонт планування перевізним процесом.

Від'ємне значення розрахунку свідчить про зниження обсягів перевезень, що призведе до зменшення кількості автомобілів або ж вантажопідйомності, а можливо двох показників одночасно. Позитивне значення попиту свідчить про збільшення перевезення зерна, що говорить про необхідність збільшення провізних можливостей парку автомобілів.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Імітаційна модель дозволяє спрогнозувати параметри автомобільного парку для вивчення попиту на транспортні перевезення сільськогосподарських товарів. Підхід до моделювання попиту через оцінку заявок на перевезення може бути використаним на етапі транспортування «індивідуальне сільське господарство-елеватор».

Модель штучних нейронних мереж дає можливість зробити раціональним прийняття управлінських рішень та сприяти інтелектуалізації логістики ланцюгів поставок з метою мінімізації операційних витрат для перевезення вантажу. Тобто планувати та негайно виконувати розподіл залежно від попиту на вантаж. Ця модель враховує такі параметри як сезонність або нерівномірність перевезень, рух транспортних засобів та інфраструктуру залізниці. Особливо доцільним використання цієї моделі буде на етапі транспортування «елеватор-лінійний елеватор/морський термінал» із залученням залізничного транспорту.

Особливістю нечіткої моделі управління є те, що вхідні параметри описуються не кількісним значенням, а певною терм-множиною. При цьому кількісні характеристики представляються нечітко та у вигляді лінгвістичних змінних. Розподіл може бути як на три, так і більше категорій. Для прикладу змінний транспортний попит на сільськогосподарські вантажі пропонують наступні терм-множини: негативне істотно, негативне незначно, середнє, незначно позитивне та істотно позитивне, які визначають відповідне управлінське рішення.

ВИСНОВКИ

На сьогодні постачання зернових культур перебуває на етапі активного розвитку. Дослідження попиту на вантажні перевезення дозволить підвищити ефективність на різних етапах доставки. Кожна наведена модель має особливий підхід до дослідження попиту та прогнозування перевезень у аграрному секторі. Проте створення уніфікованої моделі прогнозування попиту на перевезення сприятиме раціоналізації прийняття управлінських рішень та мінімізації витрат на кожному з етапів транспортування зернових культур, що сприяє подальшим дослідженням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Перевезення зернових і продуктів перемолу всіма видами транспорту // Аграрний тиждень Україна : веб-сайт. URL: <https://a7d.com.ua/novini/49262-tork-perevezennja-zernovih-produktiv-peremolu-vsma-vidami-transportu-zroslo-majzhe-na-chvert.html#sel=4:1,7:46> (дата звернення: 26.10.2020).
2. Визначення попиту і пропозиції на ринку транспортних послуг : веб-сайт. URL: <http://www.uaeconomic.com/ulens-330-1.html>.
3. Naumov V. Modeling Demand for Freight Forwarding Services on the Grounds of Logistics Portals Data Transportation. Research Procedia, №30, 2018, pp. 324–331.
4. Іванченко А.В. Дослідження попиту на перевезення вантажів у напрямку Україна. Транспортні системи та технології перевезень : збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2012. № 4. С. 40–43.
5. Літвінова Я.В. Дослідження параметрів попиту на складування та переробку вантажів у транспортному вузлі. Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетровськ, Україна: Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. 2015. № 10. С. 75–79.
6. Сидорчук О. В. Характеристики проектного середовища в системі централізованого зв'язування цукрових буряків / О. В. Сидорчук, В. М. Боярчук, Р. Є. Кригуль // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. № 1(2). С. 43–45.

7.Abraham, Emerson & Reis, Joao & Colossetti, Adriane & de Souza, Aguinaldo & Tolo, Rodrigo. Neural Network System to Forecast the Soybean Exportation on Brazilian Port of Santos. 2017. P. 83-90. 10.1007/978-3-319-66926-7_10.

8.Gurnak V., Volynets L., Khalatska I. Intellectualization of logistic supply chains on the basis of forecasting volumes of cargo transportation. 2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport". MATEC Web of Conferences 2019. № 294, 04013.

9.Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі: монографія / Н.Г. Бережна, О.С. Біляєва, В.А. Войтов, О.М. Горяїнов, М.В. Карнаух, А.Г. Кравцов, О.В. Кутья, Д.О. Музильов, Н.Ю Шраменко // Харків: Міськдрук, 2019. 180 с.

10.Shramenko N., Muzylyov D., Karnaukh M. The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport. International Journal of Engineering and Technology. 2018. №7. P. 211-216. 10.14419/ijet.v7i4.3.19789.

REFERENCES

1.Perevezennia zernovykh i produktiv peremolu vsima vydamy transportu // Ahrarnyi tyzhden Ukraina : veb-sait. URL: <https://a7d.com.ua/novini/49262-tork-perevezennja-zernovih-produktv-peremolu-vsma-vidami-transportu-zroslo-majzhe-na-chvert.html#sel=4:1,7:46> (data zvernennya: 26.10.2020).

2.Vyznachennia popytu i propozytsii na rynku transportnykh posluh : veb-sait. URL: <http://www.uaeconomic.com/ulens-330-1.html>.

3.Naumov V. (2018). Modeling Demand for Freight Forwarding Services on the Grounds of Logistics Portals Data Transportation. Research Procedia. №30. 324–331.

4.Ivanchenko A.V. (2012). Doslidzhennia popytu na perevezennia vantazhiv u napriamku Ukraina. Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen : zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana. № 4. 40-43.

5.Litvinova Ya.V. (2015). Doslidzhennia parametriv popytu na skladuvannia ta pererobku vantazhiv u transportnomu vuzli. Transportni systemy ta tekhnolohii perevezhen: zb. nauk. pr. Dnipropetrovsk, Ukraina: Dnipropetr. nats. un-tu zalizn. tr-tu im. ak. V. Lazariana. № 10. 75–79.

6.Sydorchuk O. V., Boiarchuk V. M., Kryhul R. Ye. (2010). Kharakterystyky proektnoho seredovyscha v systemi tsentralizovanoho zvezennia tsukrovkykh . Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiyi. № 1(2). 43-45.

7.Abraham, Emerson & Reis, Joao & Colossetti, Adriane & de Souza, Aguinaldo & Tolo, Rodrigo. (2017). Neural Network System to Forecast the Soybean Exportation on Brazilian Port of Santos. 83-90. 10.1007/978-3-319-66926-7_10.

8.Gurnak V., Volynets L., Khalatska I. (2019). Intellectualization of logistic supply chains on the basis of forecasting volumes of cargo transportation. 2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport". MATEC Web of Conferences. № 294, 04013.

9.Problemy transportno-lohistychnoho zabezpechennia v ahrarnii haluzi: monohrafiia. (2019). N.H. Berezhna, O.S. Biliaieva, V.A. Voitov, O.M. Horiainov, M.V. Karnaukh, A.H. Kravtsov, O.V. Kutia, D.O. Muzylov, N.Iu Shramenko. Kharkiv: Miskdruk. 180.

10.Shramenko N., Muzylyov D., Manukian A. (2019). Analysis of the grain market in Ukraine and the directions of the development of grain cargo transportation logistics. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. № 18. 70-79.

V. Kotenko. Features of demand formation in the modeling of grain supply chains.

Intensive development of the agricultural sector of Ukraine in recent years has led to changes in the logistics of grain crops. Demand for grain and related activities forms the demand for its transportation. It is necessary to assess the demand for agricultural transportation for the analysis of transport policy and decision-making on the economic activity of carriers.

The article considers the peculiarities of the formation of demand in the models of transportation of grain crops by domestic scientists.

The simulation model allows to determine the parameters of the car fleet to study the demand for transportation of agricultural goods, based on the assessment of applications for transportation, which can be used at the stage of transportation "individual agriculture-elevator".

The artificial neural network model provides an opportunity to rationalize management decisions and promote the intellectualization of supply chain logistics in order to minimize operating costs for cargo transportation. That is, plan and immediately perform distribution depending on the demand for cargo. This model takes into account such parameters as seasonality or uneven traffic, traffic and railway infrastructure. It will be especially expedient to use this model at the stage of transportation "elevator-linear elevator / sea terminal" with the involvement of railway transport.

The peculiarity of the fuzzy control model is that the input parameters are described not by a quantitative value, but by a certain term set. At the same time, quantitative characteristics are presented vaguely and in the form of linguistic variables.

Researching the demand for freight will increase efficiency at different stages of delivery. Each of these models has a special approach to the study of demand and forecasting of transportation in the agricultural sector. However, the creation of a unified model for forecasting the demand for transportation will help streamline management decisions and minimize costs at each stage of transportation of cereals, which contributes to further research.

Key words: grain crops, demand for transportation, artificial neural network model, simulation model, fuzzy control model.

КОТЕНКО Вікторія Ігорівна, аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет e-mail: mialkovska.viktoria@gmail.com.

Victoria KOTENKO, Postgraduate Student of Automobiles and Transport Management Department, Vinnytsya National Technical University e-mail: mialkovska.viktoria@gmail.com.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.390

Литвин В.В., Таран І.О.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна***КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ОБЛАШТУВАННЯ ПАРКУВАЛЬНИХ МІСЦЬ У КРАЙНІЙ ПРАВІЙ СМУЗІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

Стрімкі темпи росту автомобілізації призвели до значного перевищення попиту на місця паркування над наданою їх кількістю. Подібна ситуація є характерною рисою більшості середніх та великих міст України. В умовах недоліку місць для паркування найбільшого поширення набуло облаштування паркувальних місць у крайній правій смузі. Застосування даного заходу призводить до зниження пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі міста та погіршення умов безпеки руху транспорту. Тому, у роботі проаналізовано вплив облаштування таких паркувальних місць на ефективність руху у м. Дніпро. В якості об'єкта дослідження обрано перехрестя вул. Я. Мудрого та вул. Воскресенської. Інтенсивності транспортних потоків на перехресті були отримані методом натурних обстежень для ранкової години «пік» з 7⁰⁰ до 8⁰⁰. У програмному середовищі PTV VISSIM розроблено дві імітаційні транспортні моделі перехрестя (без смуги та зі смугою для паркування). Результати моделювання, засвідчують, що облаштування паркувальних місць у крайній правій смузі знижує ефективності руху за всіма обраними показниками в діапазоні від 26% до 62%. Значення запропонованого авторами комплексного показника ефективності для дороги без «парковки» становить – 1,00, а для дороги з облаштованою паркувальною зоною – 0,54. Доведено, що загальна ефективність такого рішення для обраного об'єкта дослідження знизилась ефективність організації дорожнього руху на 46%. Проведено експертне оцінювання, за результатами якого були розраховані вагові коефіцієнти для обраних показників. Отриманий розподіл вагових коефіцієнтів характеризується дуже незначною розбіжністю. Це засвідчує, що всі обрані авторами показники є значимими під час прийняття остаточних рішень щодо обґрунтування заходів з підвищення ефективності дорожнього руху.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, смуга руху, перехрестя, імітаційне моделювання, довжина затору, вагові коефіцієнти, час затримки, дорожний рух, PTV VISSIM.

ВСТУП

В сучасних умовах із стрімким збільшенням рівня автомобілізації у із кожним роком все гостріше постає проблема недостатньої кількості паркувальних місць особливо у великих та середніх містах України [1]. Внаслідок цього спостерігається стихійне будівництво паркувальних майданчиків майже на всій території міст зазвичай із значними порушеннями діючих вимог, правил, норм та стандартів при обладнанні паркувальних об'єктів технічними засобами регулювання дорожнього руху та дорожньою розміткою. Порушення правил паркування створює перешкоди вільному пересуванню автомобілів та пішоходів, негативно впливає на ступінь аварійності на дорогах і значною мірою сприяє виникненню заторів, погіршуючи безперебійну організацію руху на території міста.

Незважаючи на підвищення активності при створенні паркувального простору, багато теоретичних та прикладних задач побудови, функціонування та оцінки ефективності управління парковками на сьогоднішній момент і досі не вирішено. З позицій системного підходу розглядати задачу управління парковками необхідно у взаємозв'язку з організацією дорожнього руху з урахуванням обмежень в рамках транспортного планування для знаходження балансу між суперечливими цілями всіх учасників руху. В умовах недоліку місць для паркування (особливо у центральній частині міста) найбільшого поширення набуло облаштування паркувальних місць у крайній правій смузі. Застосування даного заходу породжує ряд гострих проблем: зниження пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі міста, погіршення умов безпеки руху транспорту, ускладнення проїзду громадського транспорту та екстрених служб, труднощі під час проведення механізованого прибирання вулиць, тощо.

Слід також зазначити, що в сучасних умовах для пошуку ефективних стратегій з проектування вулично-дорожньої мережі та організації дорожнього руху необхідно враховувати широкий спектр характеристик транспортного потоку та закономірності впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Тому одним із найефективніших методів обґрунтування проектних рішень щодо вдосконалення організації дорожнього руху у великих містах є використання сучасних пакетів транспортного імітаційного моделювання [2].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Автостоянки – спеціально обладнані майданчики на території міста для зберігання автомобілів. Автостоянки поділяють за *тривалістю знаходження на них автомобілів і способом зберігання*. За тривалістю зберігання автостоянки поділяються на декілька типів [3]:

- для постійного збереження – більше 1 доби, їх розміщують біля житлових будинків та міжрайонних територіях;
- для великого терміну збереження – 8 годин, їх розміщують біля підприємств та установ;
- для середнього терміну збереження – 2-4 години, їх розміщують біля будинків і споруд, що періодично збирають велику кількість людей (стадіони, театри, торговельно-розважальні комплекси);
- для короткочасного терміну збереження – до 2 годин, їх розміщують біля вокзалів та ринків.

Автостоянки можуть бути відкритими і закритими [4].

Також автостоянки поділяються на позавуличні і вуличні [1]. *Позавуличні* – це спеціально облаштовані майданчики на території міста, які розташовані поза межами вулично-дорожньої мережі (ВДМ). *Вуличні стоянки* передбачають використання існуючої ВДМ для розміщення авто та відповідно знижують пропускну здатність вулиць.

По способу постановки автомобілів на стоянку відносно осі вулиці вуличні стоянки прийнято ділити на:

- з паралельним способом постановки (рисунок 1 а);
- під кутом 30°; 45° або 60° (рисунок 1 б-г);
- з перпендикулярним способом постановки (рисунок 1 д).

При збільшенні кута постановки автомобіля збільшується місткість стоянки, але при цьому збільшується ширина стоянки та підвищується час необхідний для в'їзду-виїзду на стоянку.

Вуличні стоянки можуть бути організовані:

- на смузї руху (на проїзній частині вулиці вздовж бордюру або під кутом к бордюру);
- на тротуарі;
- в «кишені» (місцеве розширення проїзної частини за рахунок зеленої смуги або тротуару); ширина «кишені» залежить від прийнятої схеми постановки автомобілів на стоянку;
- на центральній розділювальній смузї завширшки не менш 5,5 м або на напрямному острівці;
- змішані.

Вирішенню проблеми розробки раціональних схем організації паркувального простору у великих містах присвячені чисельні наукові роботи як вітчизняних [5-8] так і іноземних науковців [9-14].

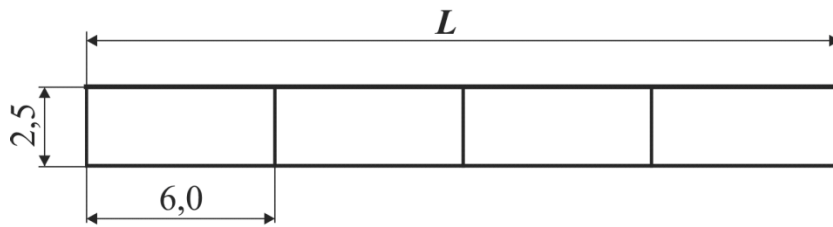
Автором роботи [5] розглянуто закордонний досвід організації парковок у містах. Досліджено деякі питання впливу організації парковок на безпеку руху. Наведені теоретичні дослідження по обґрунтуванню розміщення паркувальних місць в окремих районах м. Харків.

У статті [6] описані основні проблеми, які виникають при збільшенні рівня автомобілізації населення. Проаналізовано розподіл часу на рух і стоянку автомобілів у місті, проблему використання паркомісця одним автомобілем. Наведено класифікацію паркування в залежності від часу перебування автомобілів на парковці, загальні вимоги до розміщення і планування стоянок. Аргументовано доцільність влаштування паркувальних зон під вулицями міста. Вказані основні переваги і недоліки використання підземного простору, зокрема під вулицями міста.

В результаті виконаних досліджень [7] запропоновано конструкцію компактної механізованої автостоянки із зберіганням автомобілів на спеціальних піддонах, покладених у багатоярусний стелаж за допомогою автонавантажувача і поворотного круга.

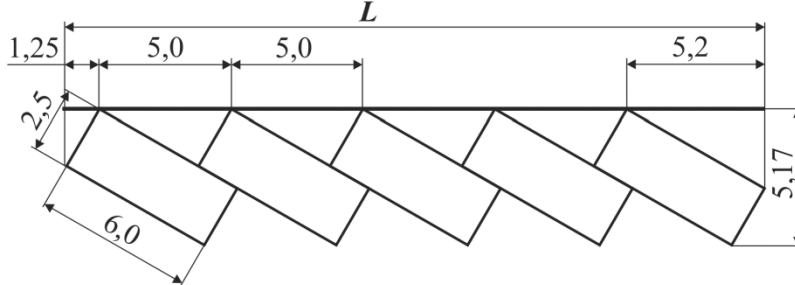
У статті [8] розглядається методика побудови просторово-точної імітаційної моделі організації паркінгу автомобілів в центральній частині великого міста, на прикладі м. Харкова. Модель організації паркінгу заснована на моделюванні поведінки кожного водія, який бере участь у процесі паркування свого автомобіля і охоплює основні етапи паркування: рух до місця призначення, пошук і покидання паркувального машиномісця. Розглянуто структуру моделі, її основні алгоритми. Розроблена модель дозволяє визначати вплив різних просторових сценаріїв на організацію парковок на території міста.

Результатів досліджень [5-14] свідчить, що на сьогоднішній день існує достатня кількість планувальних та технологічних рішень, які дозволяють успішно вирішувати проблему недоліку місць для паркування легкового автотранспорту навіть в умовах щільної забудови міста.



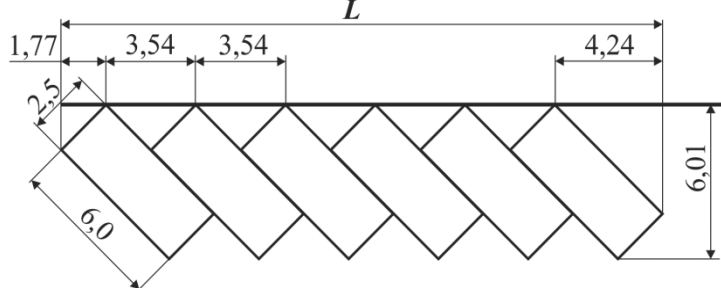
а) паралельно осі вулиці

$$N_{авт} = \frac{L}{6} \quad (1)$$



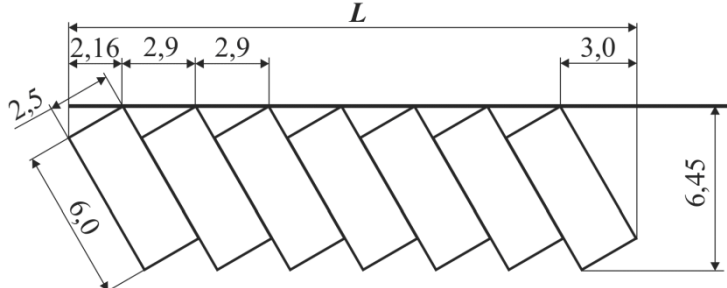
б) під кутом 30°

$$N_{авт} = \frac{L - 1,45}{5} \quad (2)$$



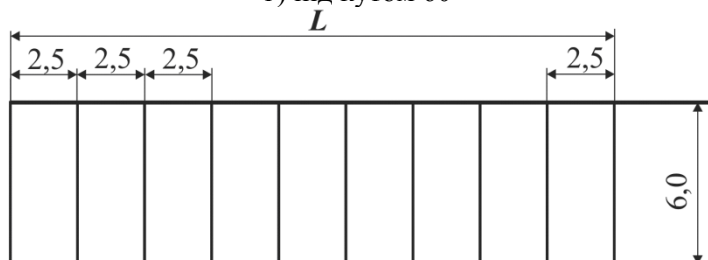
в) під кутом 45°

$$N_{авт} = \frac{L - 2,47}{3,54} \quad (3)$$



г) під кутом 60°

$$N_{авт} = \frac{L - 2,26}{2,9} \quad (4)$$



д) під кутом 90°

$$N_{авт} = \frac{L}{2,5} \quad (5)$$

Рисунок 1 – Планувальні рішення вуличних стоянок [3]

Але аналіз стану існуючої системи паркування транспортних засобів в Україні показує, що організаційні, нормативно-правові та фінансові умови функціонування зазначеної системи не відповідають потребам населення та європейським стандартам, а також не в змозі забезпечити належний розвиток паркувального простору. Виконаний авторами аналіз стану сучасної паркувальної системи у м. Дніпро, дозволив виділити наступні найбільш актуальні її проблеми:

- невідповідність інфраструктури паркування сучасним вимогам;
- недостатня кількість паркувальних місць на відведених, спеціально обладнаних майданчиках для паркування та паркінгів;

- низька якість послуг з паркування автотранспорту;
- низький рівень дотримання правил паркування;
- низька дисципліна оплати паркувальних місць, відповідно до цього велика кількість коштів оминає бюджети міст;
- недостатня обладнаність паркувальними автоматами, які б прозоро дозволяли здійснювати оплату за використану послугу;
- недостатня відповідальність при порушенні правил паркування.

Також слід зауважити, що на сьогоднішній день найбільшого поширення у м. Дніпро набули парковки, які займають крайню праву смугу руху. Таким чином, автомобілі, які стоять на проїзній частині, обмежують проїзд та відповідно суттєво зменшують пропускну здатність дороги і середню швидкість транспортного потоку, підвищують ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод особливо у зоні перехресть. У зв'язку з цим було прийнято рішення проаналізувати вплив облаштування таких паркувальних місць на ефективність руху.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є отримання кількісної оцінки впливу облаштування паркувальних місць у крайній правій смузі на ефективність дорожнього руху на обраному об'єкті вулично-дорожньої мережі м. Дніпро. Для реалізації мети дослідження необхідно провести обстеження транспортних потоків; у програмному середовищі PTV VISSIM розробити імітаційні транспортні моделі перехрестя (без парковки та з парковкою); навести результати моделювання; обрати кількісні показники, за якими будуть порівнюватися обрані схеми транспортного руху; розрахувати значення комплексного критерію для оцінки ефективності руху; провести експертне оцінювання для визначення вагових коефіцієнти обраних показників ефективності ОДР.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У якості об'єкта дослідження було обрано перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенської у м. Дніпро. Інтенсивності руху по смугам, а також світлофорні цикли на перехресті було визначено методом натурних обстежень. Світлофорні цикли перехрестя представлені на рисунках 2 та 3. Під час обстеження, яке проводилося у ранкову годину «пік» з 8⁰⁰ до 9⁰⁰, інтенсивність руху по вул. Ярослава Мудрого становила 2 208 авт./год., а по вул. Воскресенська – 1 488 авт./год..

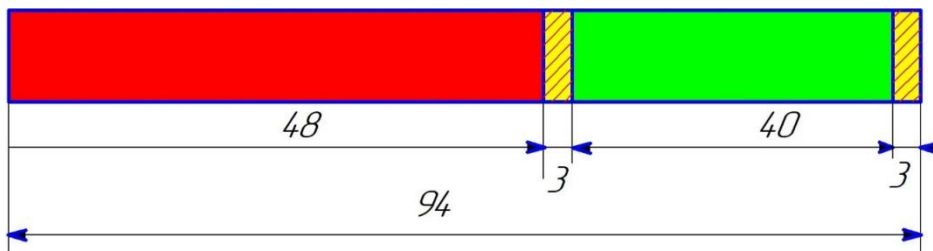


Рисунок 2 – Світлофорний цикл вулиці Воскресенської

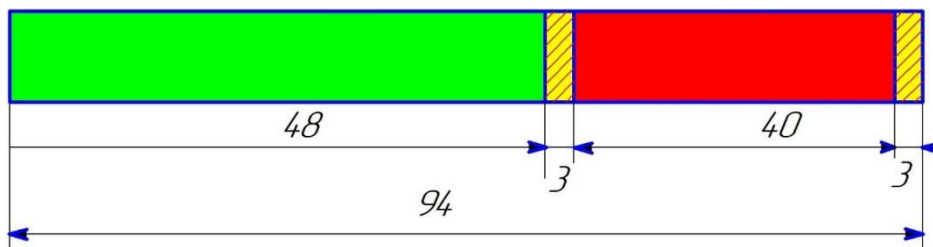


Рисунок 3 – Світлофорний цикл вулиці Ярослава Мудрого

У якості інструментарію моделювання був застосований програмний продукт PTV Vissim (64 bit) 11 «Студентська версія». Слід зауважити, що «Студентська версія» майже не має функціональних обмежень, але дозволяє досліджувати створені об'єкти лише протягом 600 с. Таким чином, отримані нижче результати моделювання є чинними для проміжку часу, який складає 10 хв. Враховуючи тривалість світлофорного циклу на перехресті вул. Воскресенської – Ярослава Мудрого, який складає 94 с., автори вважають дане обмеження припустимим, а отримані результати мають право бути екстрапольовані спроектовані і на більш тривалі проміжки часу.

У роботі [2] авторами був запропонований алгоритм створення моделі перехрестя у програмному середовищі PTV VISSIM. Згідно запропонованого алгоритму були розроблені дві імітаційні транспортні моделі перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенської: без смуги та зі смугою для паркування (рисунки 4 та 5 відповідно).



Рисунок 4 – Модель перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенська без смуги для паркування

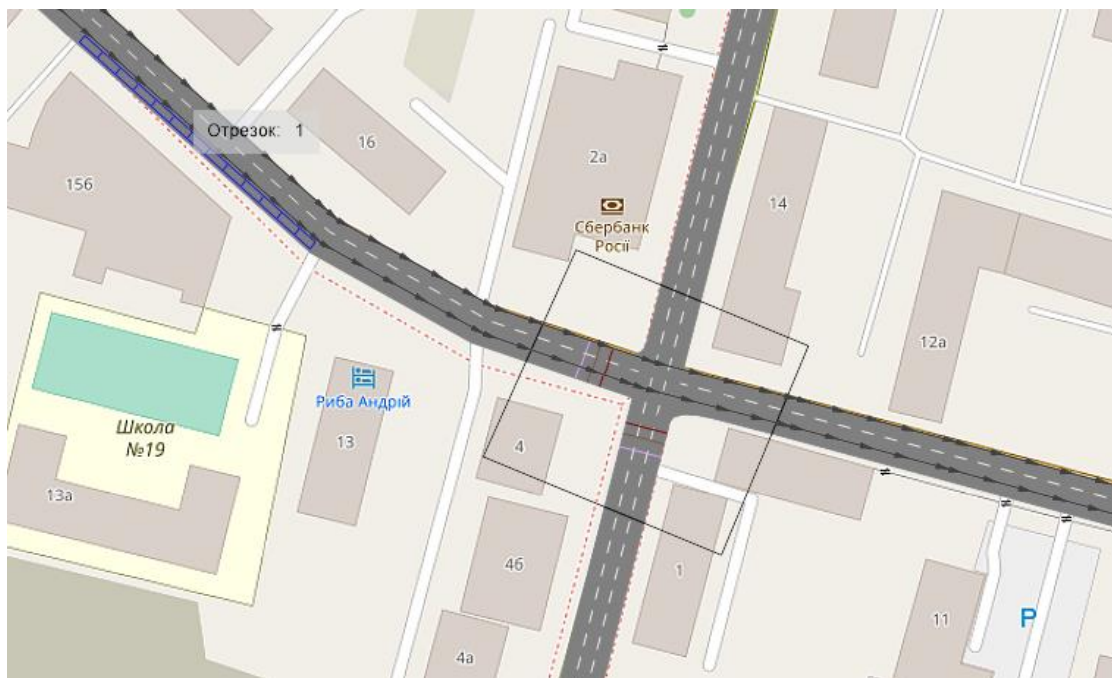


Рисунок 5 – Модель перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенська зі смугою для паркування

Фактично, облаштування паркування у крайній правій смузі руху, позбавляє ділянку дороги однієї полоси, тому задача аналізу зводиться до порівняння дороги з трьома смугами та двома смугами руху. Процес імітації руху транспортних засобів для розроблених моделей наведений на рисунках 6 та 7. Навіть якісний аналіз процесу імітації дозволяє зробити висновок, що наявність смуги для паркування збільшує довжину затору і відповідно часу проїзду перехрестя.

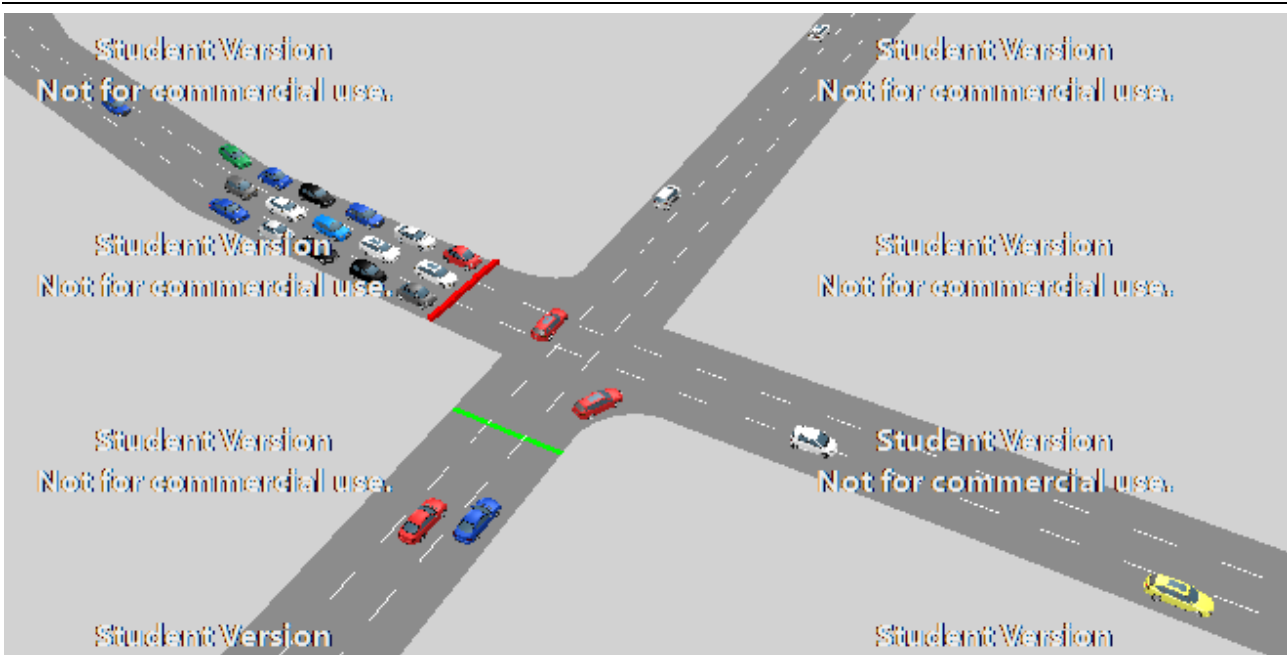


Рисунок 6 – Процес імітації руху транспортних засобів без смуги для паркування

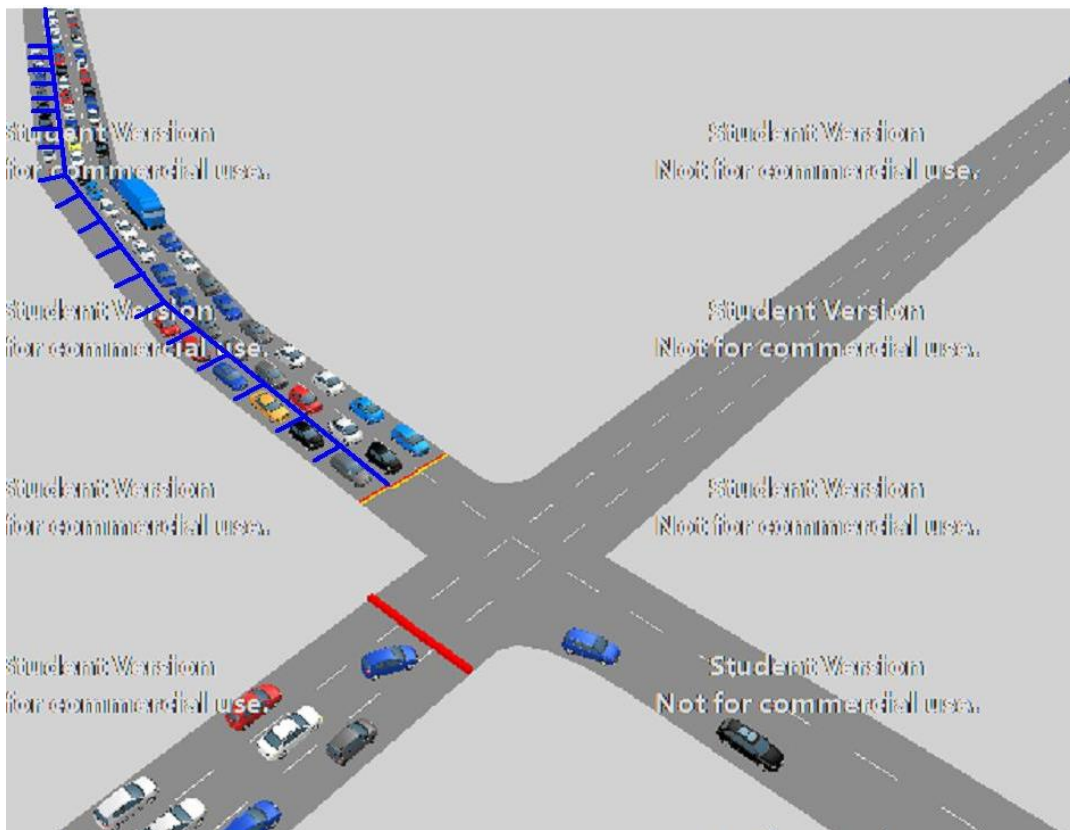


Рисунок 7 – Процес імітації руху транспортних засобів зі смугою для паркування

Згідно із рекомендаціями наданими у роботі [15] авторами був обраний перелік із 8 показників, які на їх думку є найбільш значущими для оцінки ефективності заходів з ОДР. Абсолютні (за результатами моделювання) обраних показників та розраховані за (6) їх відносні значення наведені у таблиці 1.

$$k_i^j = \begin{cases} \frac{X_i^{j(\text{найкращий})}}{X_i^j}, & \text{якщо } X_i^{j(\text{найкращий})} = \min(X_i^j) \\ \frac{X_i^j}{X_i^{j(\text{найкращий})}}, & \text{якщо } X_i^{j(\text{найкращий})} = \max(X_i^j) \end{cases}, \quad (6)$$

де X_i^j – абсолютне значення j -го показника i -го варіанту організації дорожнього руху моделі.

Таблиця 1 – Обрані для аналізу результати моделювання у PTV Vissim

№ п/п	Показник	Значення показників				Ефект, %
		Без смуги для паркування		Зі смугою для паркування		
		абсолютне	відносне	абсолютне	відносне	
1	Середній час затримки ТЗ, с	6,5	1,00	14,49	0,45	-55%
2	Середня кількість зупинок ТЗ, с	0,27	1,00	0,63	0,43	-57%
3	Середня швидкість, км/год.	30,9	1,00	19,42	0,63	-37%
4	Середній час простою ТЗ, с	14,68	1,00	31,69	0,46	-54%
5	Середній час у заторі всіх ТЗ, с	11,3	1,00	15,8	0,72	-28%
6	Середня довжина затору, м	29,04	1,00	76,61	0,38	-62%
7	Емісія CO, гр.	491,97	1,00	714,41	0,69	-31%
8	Витрати палива, л	6,06	1,00	8,2	0,74	-26%

Для комплексної оцінки ефективності руху на окремому перехресті автори у роботі [16] запропонували використовувати функціонал наступного виду:

$$K_i^{КОМП} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n k_i^j} \rightarrow \max, \quad (7)$$

де k_i^j – відносна величина j -го показника ефективності при i -му варіанті організації дорожнього руху; n – кількість показників, що враховуються.

$$K_{з паркуванням}^{КОМП} = \sqrt[8]{0,45 \cdot 0,43 \cdot 0,63 \cdot 0,46 \cdot 0,72 \cdot 0,38 \cdot 0,69 \cdot 0,74} = 0,54.$$

$$K_{без паркування}^{КОМП} = \sqrt[8]{1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00} = 1,00.$$

Радарна діаграма відносних показників та загальна характеристика ефективності облаштування паркувальних місць у крайній правій смузі руху наведена на рисунках 8 та 9 відповідно. Значення запропонованого комплексного показника ефективності (7) для дороги без паркувальних місць становить – 1,00, а для дороги з місцями – 0,54, таким чином загальна ефективність такого рішення для обраного об'єкту дослідження знизилась ефективність ОДР на 46%.

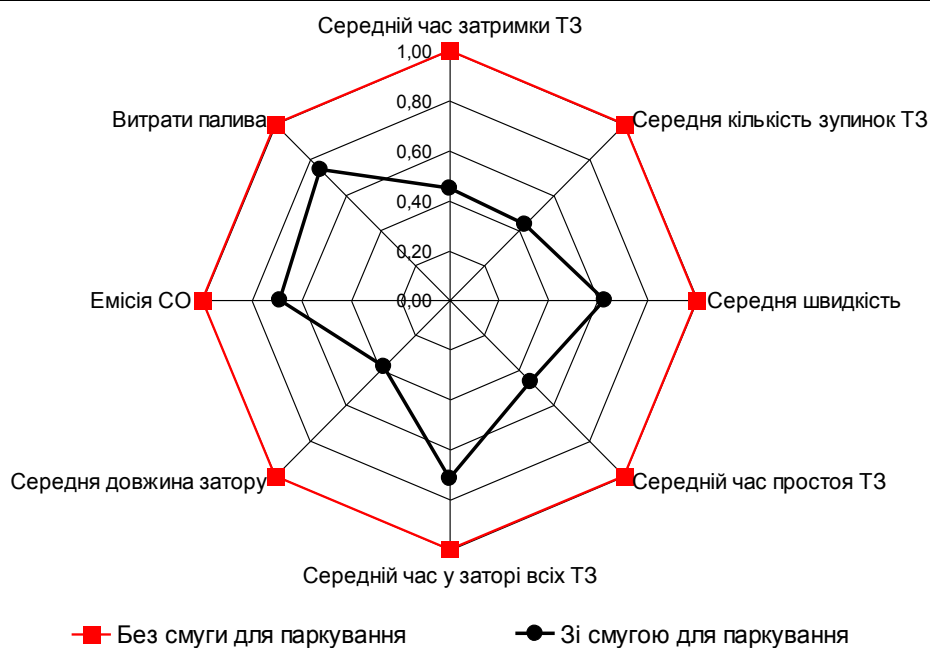


Рисунок 8 – Радарна діаграма відносних величин показників ефективності ОДР

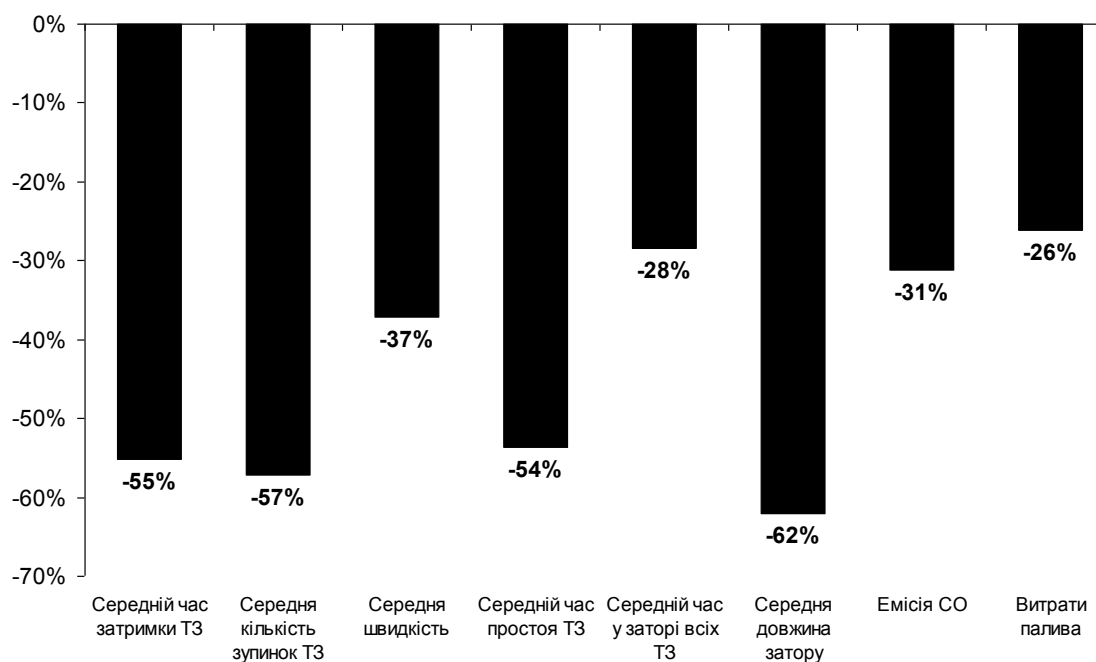


Рисунок 9 – Оцінка ефективності влаштування паркування на крайній правій смузі руху

Авторами було зроблено припущення, що обрані показники ефективності (таблиця 1) можуть мати нерівномірну значущість під час прийняття остаточних рішень щодо вибору варіанту організації дорожнього руху. Таким чином виникає необхідність у їх ранжуванні та визначенні вагових

коефіцієнтів ω^j . За умови $\sum_{j=1}^n \omega^j = 1$ остаточна структура запропонованого критерію набуде наступного виду:

$$K_i^{КОМПЛ} = \sum_{j=1}^n \omega^j \cdot k_i^j \rightarrow \max \quad (8)$$

де ω^j – ваговий коефіцієнт j -го показника ефективності.

Для визначення числових значень ω^j було прийнято рішення залучити «експертів» – спеціалістів, які мають практичний досвід вирішення задач з ОДР та створенні транспортних моделей

у середовище VISSIM. Розроблений для експертного оцінювання бланк опитування наведений на рисунку 10.

Прізвище, ім'я та по батькові:				
Назва установи:				
Вчене звання:				
Посада:				
Назва функції у PTV VISSIM	Зміст функції	ПІАРИТЕТ (число від 1 до 8 у порядку зменшення значимості показника)		
Час затримки (середнє значення)	Середній час затримки ТЗ			
Зупинки (середнє значення)	Середня кількість зупинок ТЗ			
Швидкість (середня)	Середня швидкість			
Час простою	Середній час простою ТЗ			
Час в заторі	Час в заторі всіх ТЗ			
Довжина затору (середня)	Середня довжина затору			
Емісія CO	Кількість монооксида вуглецю на 1 ТЗ			
Витрати палива	Витрати палива			

Рисунок 10 – Бланк опитування для експертного оцінювання

Всього в оцінюванні прийняло участь 14 фахівців – викладачів кафедр (із 7 ВНЗ України) за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті), з них 12 мають вчене звання, в т.ч. 6 докторів технічних наук та 5 завідуючих кафедрою. Автори виражають велику вдячність усім фахівцям, які прийняли участь у запропонованому експертному оцінюванні. Результати оцінювання наведені у таблиці 2, а на рисунку 11 представлені результати розрахунку вагових коефіцієнтів ω^j .

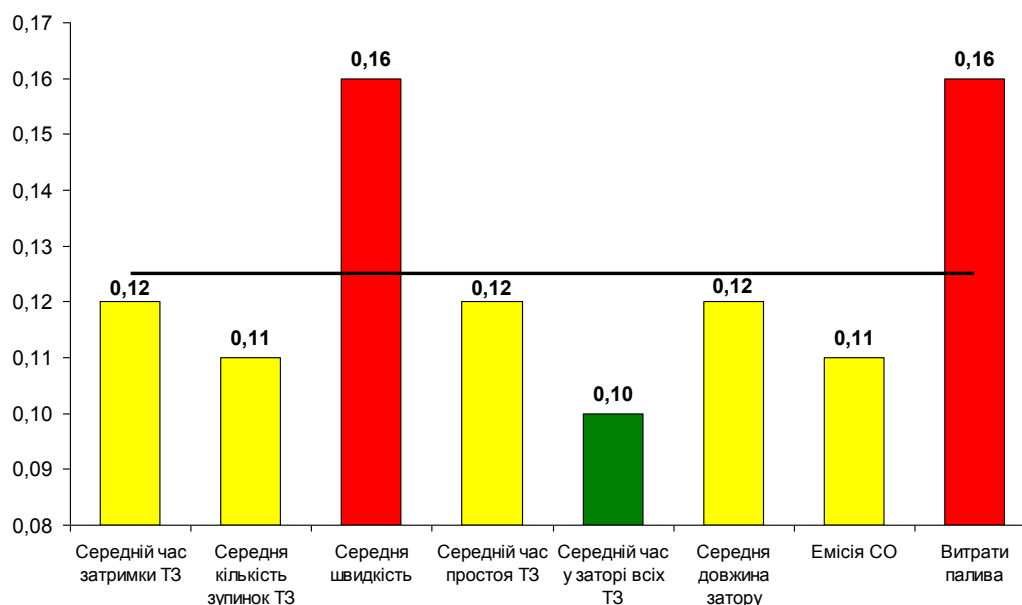


Рисунок 11 – Значення вагових коефіцієнтів обраних показників ефективності

Таблиця 2 – Результати експертного оцінювання

Місто	ХАРКІВ										КРИВИЙ РІГ	ВІННИЦА	Загальна сума балів			Обернена сума балів			Вагові коефіцієнти	
	Павлова І.О.	Онисьук В.П.	Кристочук М.С.	Сажно В.П.	Літвинова Я.В.	Вдовиченко В.О.	Орда О.О.	Трубілко В.В.	Калініченко О.П.	Павленко О.В.			Наглок І.С.	Птиця Г.Г.	Монастирський Ю.А.	Бліщенко В.В.	505			1,00
Прізвище, ім'я та по батькові:	Павлова І.О.	Онисьук В.П.	Кристочук М.С.	Сажно В.П.	Літвинова Я.В.	Вдовиченко В.О.	Орда О.О.	Трубілко В.В.	Калініченко О.П.	Павленко О.В.	Наглок І.С.	Птиця Г.Г.	Монастирський Ю.А.	Бліщенко В.В.	505			1,00		
Вищий навчальний заклад	Львівський національний технічний університет	Львівський національний технічний університет	Національний університет водного господарства та природокористування	Національний транспортний університет	НТУ "Дніпровська політехніка"	Харківський національний автомобільно-дорожній університет						Криводзкий національний університет	Вінницького національного технічного університету	505			1,00			
Наукове звання	кандидат технічних наук	кандидат технічних наук	кандидат технічних наук	доктор технічних наук	кандидат технічних наук	доктор технічних наук	доктор технічних наук	кандидат технічних наук	кандидат технічних наук	кандидат технічних наук	професор	кандидат технічних наук	професор	професор	505			1,00		
Посада	доцент	доцент	завідувач кафедри	зав. каф.	доцент	професор	доцент	асистент	доцент	доцент	завідувач кафедри	доцент	завідувач кафедри	завідувач кафедри	505			1,00		
Зміст функції	ПРІОРИТЕТ												505			1,00				
Середній час затримки ТЗ	1	4	8	4	1	8	8	7	2	3	8	4	6	2	66	60	0,12			
Середня кількість зупинок ТЗ	5	5	7	8	4	1	6	6	3	5	2	6	5	8	71	55	0,11			
Середня швидкість	4	1	6	1	2	7	5	1	4	2	5	2	4	2	46	80	0,16			
Середній час простою ТЗ	6	6	5	5	6	2	4	2	6	4	6	7	3	5	67	59	0,12			
Час в аזורі всіх ТЗ	2	7	4	7	5	6	7	3	5	6	7	8	2	6	75	51	0,10			
Середня довжина затору	3	8	3	6	7	4	3	4	7	8	1	1	1	7	63	63	0,12			
Кількість монооксида вуглецю	7	2	2	3	8	5	1	8	8	7	4	5	7	4	71	55	0,11			
Витрати палива	8	3	1	2	3	3	2	5	1	1	3	3	8	3	46	80	0,16			

Аналіз рисунку 11 свідчить, що розподіл вагових коефіцієнтів ω^j характеризується дуже незначною розбіжністю: при середньому значенні $\bar{\omega} = 0,125$ дисперсія вибірки становить 0,0005, а

довірчий інтервал для математичного очікування генеральної сукупності при 95% рівні надійності – 0,0157. Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки. По-перше, всі обрані авторами показники є значимими під час прийняття остаточних рішень щодо обґрунтування заходів з підвищення ефективності дорожнього руху. По-друге, враховуючи незначну розбіжність вагових коефіцієнтів підсумкове значення комплексного критерію за (8) не буде суттєво відрізнятися від значення, яке було розраховано за (7):

$$K_{з\ паркуванням}^{КОМП} = 0,12 \cdot 0,45 + 0,11 \cdot 0,43 + 0,16 \cdot 0,63 + 0,12 \cdot 0,46 + \\ + 0,1 \cdot 0,72 + 0,12 \cdot 0,38 + 0,11 \cdot 0,69 + 0,16 \cdot 0,74 = 0,53$$

$$K_{без\ паркування}^{КОМП} = 1,00.$$

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати досліджень обговорювались на VI Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», місто Луцьк, Луцький Національний технічний університет, 26-27 травня 2020 року.

ВИСНОВКИ

Стрімкі темпи росту автомобілізації призвели до значного перевищення попиту на місця паркування над наданою їх кількістю. Подібна ситуація є характерною рисою більшості середніх та великих міст України. В умовах недоліку місць для паркування найбільшого поширення набуло облаштування паркувальних місць у крайній правій смугі. Застосування даного заходу призведе до зниження пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі міста та погіршення умов безпеки руху транспорту. Було прийнято рішення проаналізувати вплив облаштування таких паркувальних місць на ефективність руху в умовах мі. Дніпро. У якості об'єкта дослідження було обрано перехрестя вул. Ярослава Мудрого та вул. Воскресенської. Інтенсивності руху по смугам, а також світлофорні цикли на перехресті було визначені методом натурних обстежень. Розроблені дві імітаційні транспортні моделі перехрестя (без смуги та зі смугою для паркування) у програмному середовищі PTV VISSIM. Результати моделювання, засвідчують, що облаштування паркувальних місць у крайній правій смугі знижує ефективності руху за всіма обраними показниками в діапазоні від 26% до 62%. Значення запропонованого авторами комплексного показника ефективності для дороги без парковки становить – 1,00, а для дороги з парковкою – 0,54, таким чином загальна ефективність такого рішення для обраного об'єкта дослідження знизилась ефективність ОДР на 46%. Проведено експертне оцінювання за результатами якого були розраховані вагові коефіцієнти для обраних показників ефективності ОДР.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / Бакуліч О.О. та ін.; за ред. В.П. Поліщука. Київ. 2016. 467 с.
2. Таран І.А., Новицький А.В., Литвин В.В. Анализ возможностей использования программного обеспечения PTV VISION VISSIM для моделирования транспортных и пешеходных потоков. *Вісник СНУ ім. В. Даля*. 2015. №2 (219). с. 136-140.
3. Транспортне планування міст. Поліщук В.П., Красильникова О.В., Дзюба О.П.; за ред. В.П. Поліщука. Київ. 2014. 371 с.
4. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху. Гаврилов Е.В. та ін.; за ред. М.Ф. Дмитриченко. Київ. 2007. 452 с.
5. Галкина Н. Г. Исследование городских парковок. *Вестник ХНАДУ*. 2010. № 50. с. 84-87.
6. Швець В.В., Іскра М.А., Кудлаєнко О.О. Планування підземних парковок в умовах щільної міської забудови. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2013. № 1. с. 108-112.
7. Чернышев С.А., Петров А.В. К вопросу об оптимизации систем автопарковки в условиях современного города. *Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта*. 2008. № 4. с. 18-22.
8. Патракеев И.М., Жуков В.Е. Леонтьева О.Г. Организация парковок в крупном городе на основе пространственно-точного моделирования. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского*. 2010. №2. с. 222-231.
9. Armstrong D. & Rhoades B. (2015). Parking spaces. *Advances in Mathematics*. #269. 647-706.

10. Molenda I. & Sieg G. (2013) Residential parking in vibrant city districts. *Economics of Transportation*. Vol.2. #4. 131-139.
11. Roca-Riu M. & Fernández E. & Estrada M. (2015). Parking slot assignment for urban distribution: Models and formulations. *Omega*. #57. Part B. 157-175.
12. Van Ommeren J. & De Groote J. & Mingardo G. (2014). Residential parking permits and parking supply. *Regional Science and Urban Economics*. #45. 33-44.
13. Xiong Lu. (2014). Innovative design of parking guidance in intelligent parking lot. *Innovation and Sustainability of Modern Railway*. #2. 128-133.
14. Zheng N. & Geroliminis N. (2016). Modeling and optimization of multimodal urban networks with limited parking and dynamic pricing. *Transportation Research Part B: Methodological*. #83. 36-58.
15. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / Форнальчик Є.Ю., Могила І.А., Трушевський В.Е., Гілевич В.В.; за ред. Є. Ю. Форнальчика. Львів. 2018. 236 с.
16. Литвин В.В., Таран І.О., Кононенко К.С. Обґрунтування ефективності застосування кільцевого руху на вулично-дорожній мережі м. Дніпро у програмному середовищі PTV VISSIM. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. №2 (13). с. 95-107.

REFERENCES

1. Organizacziya ta reguluvannya dorozhnogo rukhu: pidruchnik (2016). Bakulich O.O. ta in.; za red. V.P. Polishhuka. 467.
2. Taran I.A., & Noviczkiy A.V., & Litvin V.V. (2015). Analiz vozmozhnostej ispolzovaniya programmnoho obespecheniya PTV VISION VISSIM dlya modelirovaniya transportnykh i peshekhodnykh potokov. *Visnik SNU im. V. Dalya*. #2 (219). 136-140.
3. Transportne planuvannya mist (2014). Polishhuk V.P., Krasilnikova O.V., Dzyuba O.P.; za red. V.P. Polishhuka. 371.
4. Sistemologiya na transporti. Organizacziya dorozhnogo rukhu (2007). Gavrilov E.V. ta in.; za red. M.F. Dmitrichenka. 452.
5. Galkina N. G. (2010). Issledovanie gorodskikh parkovok. *Vestnik KhNADU*. # 50. 84-87.
6. Shvecz V.V. & Iskra M.A. & Kudlayenko O.O. (2013). Planuvannya pidzemnikh parkovok v umovakh shhilnoyi miskoyi zabudovi. *Suchasni tekhnologiyi, materialy i konstrukcziyi v budivnicztvi*. #1. 108-112.
7. Chernyshev S.A. & Petrov A.V. (2008). K voprosu ob optimizaczii sistem avtoparkovki v usloviyakh sovremennogo goroda. *Vestnik Donezkoj akademii avtomobil'nogo transporta*. # 4. 18-22.
8. Patrakeevev I.M. & Zhukov V.E. & Leonteva O.G. (2010). Organizacziya parkovok v krupnom gorode na osnove prostranstvenno-tochnogo modelirovaniya. *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo*. #2. 222-231.
9. Armstrong D. & Rhoades B. (2015). Parking spaces. *Advances in Mathematics*. #269. 647-706.
10. Molenda I. & Sieg G. (2013) Residential parking in vibrant city districts. *Economics of Transportation*. Vol.2. #4. 131-139.
11. Roca-Riu M. & Fernández E. & Estrada M. (2015). Parking slot assignment for urban distribution: Models and formulations. *Omega*. #57. Part B. 157-175.
12. Van Ommeren J. & De Groote J. & Mingardo G. (2014). Residential parking permits and parking supply. *Regional Science and Urban Economics*. #45. 33-44.
13. Xiong Lu. (2014). Innovative design of parking guidance in intelligent parking lot. *Innovation and Sustainability of Modern Railway*. #2. 128-133.
14. Zheng N. & Geroliminis N. (2016). Modeling and optimization of multimodal urban networks with limited parking and dynamic pricing. *Transportation Research Part B: Methodological*. #83. 36-58.
15. Fornalchik Ye.Yu., & Mogila I.A., & Trushevskij V.E., & Gilevich V.V. (2018). Upravlinnya dorozhnim rukhom na regulovanikh perekhrestyakh u mistakh: monografiya. 236.
16. Litvin V.V. & Taran I.O. & Kononenko K.S. (2019). Obgruntuвання ефективності застосування кільцевого руху на вулично-дорожній мережі м. Дніпро у програмному середовищі PTV VISSIM. *Suchasni tekhnologiyi v mashinobuduvanni ta transporti*. 2019. #2 (13). 95-107.

V. Litvin., I. Taran. Quantative evaluation of effect by arrangement of parking spaces within a right line on the traffic efficiency

Rapid growth of motorization resulted in the excess demand for parking spaces over their quantity. Such a situation is typical for the majority of Ukrainian cities and towns. In the context of shortage of parking spaces, their arrangement within a right line has become quite popular. The measure factors into the decreased capacity of road network as well as the worsened traffic safety conditions. Thus, the paper has analyzed effect of arrangement of such parking places on the traffic efficiency in the city of Dnipro. Ya. Mudry-Voskresenska crossroad has been selected as the test object. Intensity of traffic flows within the crossroad was obtained using a method of field studies for a morning rush hour from 7 a.m. to 8 a.m. Two simulation traffic models of the crossroad (i.e. without a parking lane and with it) have been developed in PTV VISSIM software environment. The modeling results support the idea that arrangement of parking spaces within a right line decreases traffic efficiency by 26-62% in terms of each selected index. The authors have proposed the complex efficiency index. It is 1.00 for road without parking places; and 0.54 for road where parking lanes have been arranged. It has been proved that the total efficiency of such a solution for the selected test object decreased traffic management by 46%. Expert evaluation has been performed to calculate weight coefficients for the selected indices. The obtained distribution of the weight coefficients is characterized by a minor discrepancy. The abovementioned means that the indices, selected by the authors, are quite important while making final decisions as for the substantiation of measures improving traffic efficiency.

Keywords: street and road network, traffic lane, crossroad, simulation modeling, traffic jam length, weight coefficients, delay time, traffic, PTV VISSIM.

ЛИТВИН Вадим Вікторович, старший викладач кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: litvin.v.v.79@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

ТАРАН Ігор Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: taran7077@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3679-2519>.

Vadim LITVIN, senior lecturer of Transport Management Department, National Technical University “Dnipro Polytechnic”, e-mail: litvin.v.v.79@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

Igor TARAN, Doctor of Science in Technology, Professor, Head of Transport Management Department, National Technical University “Dnipro Polytechnic”, e-mail: taran7077@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3679-2519>.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.391

Літвінова Я.В., Білоног В.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ПОБУДОВИ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ АВТОТРАНСПОРТОМ

Дослідження присвячене пошуку нових підходів до підвищення ефективності вантажних перевезень на основі аналізу методів та алгоритмів побудови раціональних схем маршрутів. Для проведення дослідження використано методи порівняння, узагальнення з метою визначення особливостей умов реалізації спрощення процесу пошуку раціональних маршрутів перевезення вантажів, а також його вдосконалення, синтезу – при поєднанні методу та алгоритму вирішення транспортних задач з розкриттям ролі кожного елемента в системі цілого.

Проаналізовані теоретико-методичні засади провідних науковців в галузі транспорту щодо вирішення існуючих проблем при доставці вантажів клієнтам. Зазначено, що низка проблем при побудові раціональних схем маршрутів пов'язана з недосконалими та трудомісткими методами вирішення транспортних задач. Аналіз особливостей вантажних перевезень, як найбільш складного процесу при використанні автомобільного транспорту, дозволив розширити перелік, відмітивши особливість, яка відображає використання неефективних та нераціональних схем маршрутів при перевезенні вантажів. У результаті дослідження встановлено, що в сучасних умовах господарювання рядовому менеджеру, що забезпечує побудову раціональних маршрутів, досить складно забезпечити виконання завдання. Цим визначається доцільність використання двофазної оптимізації при розв'язанні транспортних задач, а саме, суміщення при поєднанні методу «Мітли» та алгоритму вирішення задачі комівояжера при використанні MS Excel. Розглянуто приклад використання зазначеного суміщення для умовного автотранспортного підприємства м. Кривий Ріг. Побудовані та визначені характеристики маршрутів руху вантажного автотранспорту.

Ключові слова: вантажні перевезення, суміщення методу та алгоритму, метод «Мітли», задача комівояжера, маршрутизація.

ВСТУП

Транспорт, як кровеносна система держави відображає стан економіки в цілому. Розташування країни в центральній частині Європи є досить вигідним з точки зору розвитку транспортних систем. Рівень соціально-економічного зростання залежить від функціонування транспортних підприємств і організації ефективної роботи транспортних засобів зокрема, які беруть участь у створенні готової продукції, забезпечуючи виробництво матеріалами і ресурсами та доставляючи продукцію до споживачів.

Ефективна організація роботи вантажного автотранспорту є запорукою підвищення ефективності функціонування у багатьох сферах господарювання. Визначення раціонального маршруту для перевезення вантажів, як шлях до підвищення ефективності організації транспортного обслуговування в умовах незадовільного стану доріг, простоїв під час навантаження-розвантаження, хаотичного розташування клієнтів та нестабільності потоку заявок від них, негативно впливає на ведення господарської діяльності підприємств. Саме ефективна маршрутизація дозволить збільшити продуктивність вантажного автотранспорту, задоволеність клієнтів транспортним обслуговуванням та зменшити собівартість цього процесу. Транспортна логістика є одним з найбільших центрів витрат, поряд з виробництвом, тому будь-якій компанії просто необхідно контролювати і мінімізувати собівартість перевезень.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Під час значних змін у політичному житті держави, відбувається зниження рівня ділової активності, що позначається на попиті на вантажні перевезення. Це значно впливає на коливання обсягів перевезень вантажів, що в свою чергу приведе до відповідних складнощів при визначенні маршрутів руху вантажного автотранспорту. Практика роботи вантажного автотранспорту показує,

що на ефективність перевезень різних вантажів впливає хаотичне розташування клієнтури, що обслуговується, здебільшого розвізними маршрутами [1].

Економічна ситуація, що погіршується внаслідок нестабільності політичного життя в країні стає все більш непрогнозованою та спонукає автотранспортні підприємства до постійного пошуку економічно-обґрунтованих маршрутів доставки вантажів клієнтам та відповідних транспортних засобів з необхідними характеристиками за для підвищення ефективності перевізного процесу. Але для підтримки його високої ефективності ресурси на підприємстві зазвичай обмежені. Перш за все, це відбувається при використанні застарілих основних виробничих фондів, що в свою чергу впливає на зниження продуктивності вантажного автотранспорту та збільшення транспортних витрат вантажовласників. В умовах того, що суб'єкти господарювання та їх ділова активність суттєво залежать від транспорту, необхідно звернути увагу на організацію міських та міжміських вантажних перевезень та на стан автотранспортного комплексу в цілому. Також суттєвим для забезпечення процесу перевезень вантажів є раціональна побудова маршрутної мережі руху транспорту, від ефективності якої залежить низка економічних показників суб'єкта господарювання. На сьогодні, здебільшого, вантажні перевезення виконуються за маятниковими маршрутами, доволі часто з порожнім зворотнім пробігом. Незважаючи на низьку ефективність їх використання, вони все одно переважають в міжміських перевезеннях [2].

Перевезення вантажів у міжобласному сполученні є одним з найбільш складних з точки зору комерційної роботи видів діяльності автомобільного транспорту та має сім важливих особливостей [3]. По-перше, це виразний взаємозв'язок ринку автотранспортних послуг з товарними ринками, на яких працюють вантажовідправники та вантажоодержувачі. По-друге, перевезення вантажів у міжміському сполученні є сферою інтенсивної конкуренції. Третьою особливістю є те, що значна частка перевезень вантажів носить разовий характер. Це наслідок того, що на сьогодні існує багато дрібних перевізників, які з'явилися внаслідок існуючої системи оподаткування, що призвела до того, що великі підприємства вимушені ділитися на менші за для переходу на спрощену систему оподаткування. Четверта особливість пов'язана з проблемами завантаження автотранспортних засобів у зворотному напрямку. Вона з'являється внаслідок того, що зазвичай на підприємствах, які користуються послугами транспортних компаній, немає власної диспетчерської служби та якщо б і була, то дуже складно швидко знайти вантаж, який необхідно доставити саме в місце навантаження. Тобто швидко повернути автотранспортний засіб без порожнього пробігу досить складно. П'ята особливість це складний документообіг внаслідок взаємодії декількох підприємств, а саме: транспортно-експедиторських, автотранспортних, підприємства – власники терміналів і т.п. Шоста характерна особливість полягає в тому, що автотранспортні та експедиторські підприємства, відправники та одержувачі вантажів знаходяться при виконанні перевезень на значній відстані один від одного. Сьома особливість це різні правові та економічні підґрунтя при комбінованих перевезеннях [2]. На думку авторів у перелік особливостей необхідно ще одну. Вона пов'язана з використанням неефективних та нераціональних схем маршрутів, що відбувається на конкурентоспроможності підприємств, які користуються послугами автотранспортних компаній.

Щодо побудови раціональних маршрутів авторами робіт [4-6] зазначено, що вона спонукає до своєчасного виконання доставки вантажів до споживачів та сприяє взаємодії між збутовими, транспортними та іншими організаціями. На сьогодні авторами відмічено, що завдання маршрутизації є більш важливими у порівнянні із завданнями, наприклад завантаження транспортних засобів. Існуючі підходи до складання маршрутів руху транспортних засобів виділяють такі їх різновиди для перевезення вантажів: маятникові, кільцеві, збірно-розбірні, радіальні комбіновані, дільничні [7]. Автором роботи [8] наголошено про те, що вибір маршрутів руху залежить перш за все, від територіального розташування вантажоутворюючих і вантажоприймаючих пунктів, відстані між ними, величини вантажопотоку і вживаного типу рухомого складу. Робота рухомого складу по заздальгідь складених раціональних маршрутах спрощує оперативне планування, забезпечує регулярність перевезень, сприяє підвищенню продуктивності рухомого складу і його ефективності. Авторами також підкреслюється, що при складанні раціональних маршрутів використовуються різноманітні методи від точних до наближених.

Серед закордонних авторів проблема побудови раціональних маршрутів є теж нагальною. Так наприклад в роботі [9] стверджується, що основними способами вирішення проблем неефективності вантажних перевезень є евристичні методи, тому що вони знаходять найкраще рішення за прийнятний час, на відміну від точних. Вчені в статті [10] представили розбір класичної задачі комівояжера з оглядом різних методів вирішення задачі. Автор наводить різні евристичні алгоритми

для вирішення симетричної і асиметричної версії проблеми, які легко застосовуються на реальних практичних прикладах. Авторами праці [11] детально аналізується метод Кларка-Райта, за допомогою якого об'єднують маятникові маршрути в кільцеві. Також визначається ефективність побудови кільцевого маршруту в рамках маршрутизації перевезень.

Аналіз інформаційних ресурсів та наукових робіт дозволив встановити, що велика кількість вчених займалась питаннями побудови раціональних маршрутів при перевезенні вантажів. Вони обґрунтували, що існує тісний зв'язок між ефективністю роботи автотранспортного підприємства та вибором маршруту перевезень вантажів. Багатьма авторами акцентовано увагу на виборі правильного методу прорахунку майбутнього маршруту при доставці вантажів клієнтам. Необхідно зауважити також на тому, що існує багато методів маршрутизації перевезень, більша частина є вельми складними, а їх використання, при обмежених ресурсах транспортної компанії займає значний часовий лаг. Отже існує необхідність розглянути питання щодо удосконалення методичного підходу до побудови раціонального маршруту.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обґрунтувати методичний підхід до побудови раціонального маршруту перевезень вантажів в умовах обмежених ресурсів малих автотранспортних компаній.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Загально відомо, що маршрутизація перевезень дозволяє зменшити час виконання кожного маршруту, знизити транспортні витрати на паливо, мінімізувати кількість невиконань замовлень від клієнтів та інше. Однак її якісне виконання досить часто вимагає значного часу та ресурсів. Так наприклад, як відомо при вирішенні «непідійомної» задачі комівояжера для рядових менеджерів, аналітиків чи вчених, які, як правило, не мають потужних комп'ютерів для моделювання практичних задач оптимізації, зокрема, в MS Excel зручно вирішувати завдання з невеликою кількістю пунктів (до 10). Хоча й для розв'язання цієї ж задачі з невеликою кількістю пунктів об'їзду, тривалість пошуку може сягати до 15–20 хв [12]. Обмеження в 10 пунктів при використанні MS Excel, при обсязі клієнтів, наприклад 30, є запорукою на невірне виконання завдання. Однак, якщо попередньо ранжувати замовлення від клієнтів за певними ознаками та за необхідною кількістю, є можливість якісно вирішити завдання. А практика господарювання на сьогодні вимагає від транспортних компаній якісного обслуговування при значно більшій кількості пунктів розвозу вантажів. Отже існує нагальна потреба у вирішенні сучасних задач з перевезення вантажів при використанні точних методів, але не вимагаючи при цьому значних ресурсів для пошуку раціонального маршруту перевезень. Одним з таких способів на погляд авторів статті є використання гібридних технологій, зокрема двофазної оптимізації при розв'язанні транспортних задач, а саме, сумішень при поєднанні методу «Мітли» та алгоритму вирішення задачі комівояжера при використанні MS Excel.

Для обґрунтування зазначеного вище методичного підходу розглянемо наступний приклад. Умовним автотранспортним підприємством укладені договори на виконання автотранспортних послуг з перевезення вантажу. Виконання перевезень здійснюється при використанні маятникових маршрутів долаючи при цьому близько 2863 км (рис. 1). Всього налічується 27 клієнтів, розташованих в радіусі приблизно 150-170 км від м. Кривий Ріг.

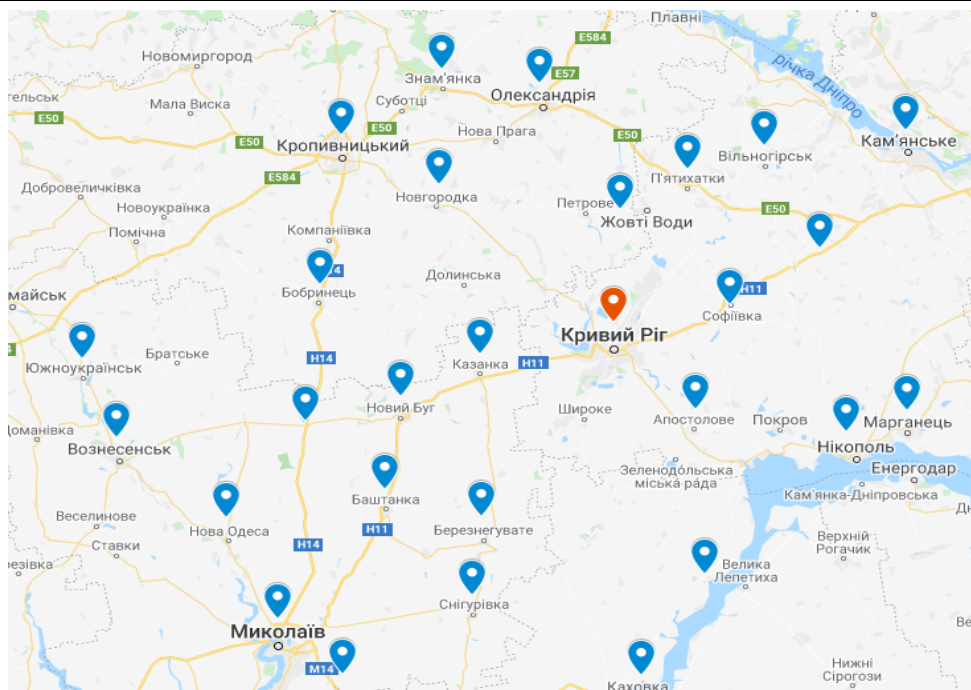


Рисунок 1. Схематичне розташування клієнтів на карті

Під час побудови нових схем маршрутів необхідно враховувати такий фактор як мінімальні витрати, що буде надавати максимальний вплив на перевезення вантажів і, відповідно, можна буде точніше передбачити час проходження всього маршруту. Доставка всієї продукції буде починатися в місці розташування компанії у м. Кривий Ріг. Карта розташування клієнтів представлена на рисунку 1, де сині маркери – це клієнти компанії, а червоний маркер – це місце розташування умовної компанії, де починається і закінчується маршрут доставки вантажу. Для побудови раціональних схем маршрутів перевезень вантажів необхідно побудувати розвізні сектори, які допоможуть сумістити маршрути за територіальною ознакою з урахуванням обмежень. Побудова маршрутів здійснюється за методом «Мітли» [13, 14], який реалізується наступним чином. На схемі перевезень будується пряма, яка починається в місті навантаження, а закінчується у випадковому місті розвантаження. Далі пряма обертається за часовою стрілкою чи проти, а клієнт з яким ця пряма дотична, включається в маршрут. На погляд авторів при використанні цього методу обов'язковим є застосування обмежень, які полягають у наступному: перше – використання MS Excel для побудови раціональних маршрутів за допомогою задачі комівояжера, ефективно при кількості пунктів розвозу 10 і менше. Тому першим обмеженням виступить кількість пунктів розвозу вантажів. Друге обмеження полягає в тому, що основним транспортом доставки вантажу будемо вважати автотранспортний засіб з вантажопідйомністю 20 тон, а відтак максимальний обсяг вантажу, що перевозиться, не повинен бути більшим. Третє обмеження пов'язане з графіком роботи водія, тобто кількість клієнтів повинна бути такою, щоб при об'їзді всіх транспортний засіб міг повернутись до пункту навантаження до закінчення зміни роботи водія.

Після визначення обмежень та з урахуванням кількісних характеристик замовлень продукції клієнтами (табл. 1) були побудовані розвізні сектори (рис. 2).

Таблиця 1. Характеристики замовлень вантажу клієнтами та відстань вантажної їздки при застосуванні маятникових маршрутів

	Пункти розвантаження	Відстань, км	Вага вантажу, т
1 Розвізний сектор			
1	Южноукраїнськ	200	2
2	Кропивницький	119	2,25
3	Нова Одеса	170	2,8
4	Баштанка	109	2,2
n	- - - - -	- -	- -

	Всього	924	19,7
2 Розвізний маршрут			
1	Знаменка	132	4
2	Кам'янське	130	1,5
3	Затишне	77,1	3
4	Александрія	99,5	1,5
n	- - - - -	- -	- -
	Всього	800,7	19,1
3 Розвізний маршрут			
1	Дудчани	109	2,6
2	Апостолове	45,6	2,3
3	Каховка	170	1,5
4	Миколаїв	176	2
n	- - - - -	- -	- -
	Всього	1138,1	18,1

Далі розглянемо побудову раціональних маршрутів при використанні задачі комівояжера, як оптимального варіанту об'їзду пунктів при розгалуженій схемі клієнтів. У цій задачі, маючи матрицю найкоротших відстаней між n пунктами, потрібно побудувати найкоротший розвізний маршрут об'їзду всіх пунктів. Не мають значення обсяги завезення вантажів отримувачам, оскільки вважається, що розвізний маршрут забезпечує можливість задоволення всього попиту. Для виконання такого маршруту доцільно обрати автомобіль оптимальної вантажомісткості, здатний вмістити вантажі відразу всіх отримувачів [15]. Задача комівояжера займає особливе місце у комбінаторній оптимізації та дослідженні операцій. Історично вона була одна з тих задач, які послужили товчком для зв'язку цих напрямів. В теорії обчислювальної складності прийнято розглядати задачі розпізнавання, тобто завдання, в яких відповіддю може бути тільки «Так» або «Ні». На сьогодні задача комівояжера, є однією з розповсюджених задач оптимізації.

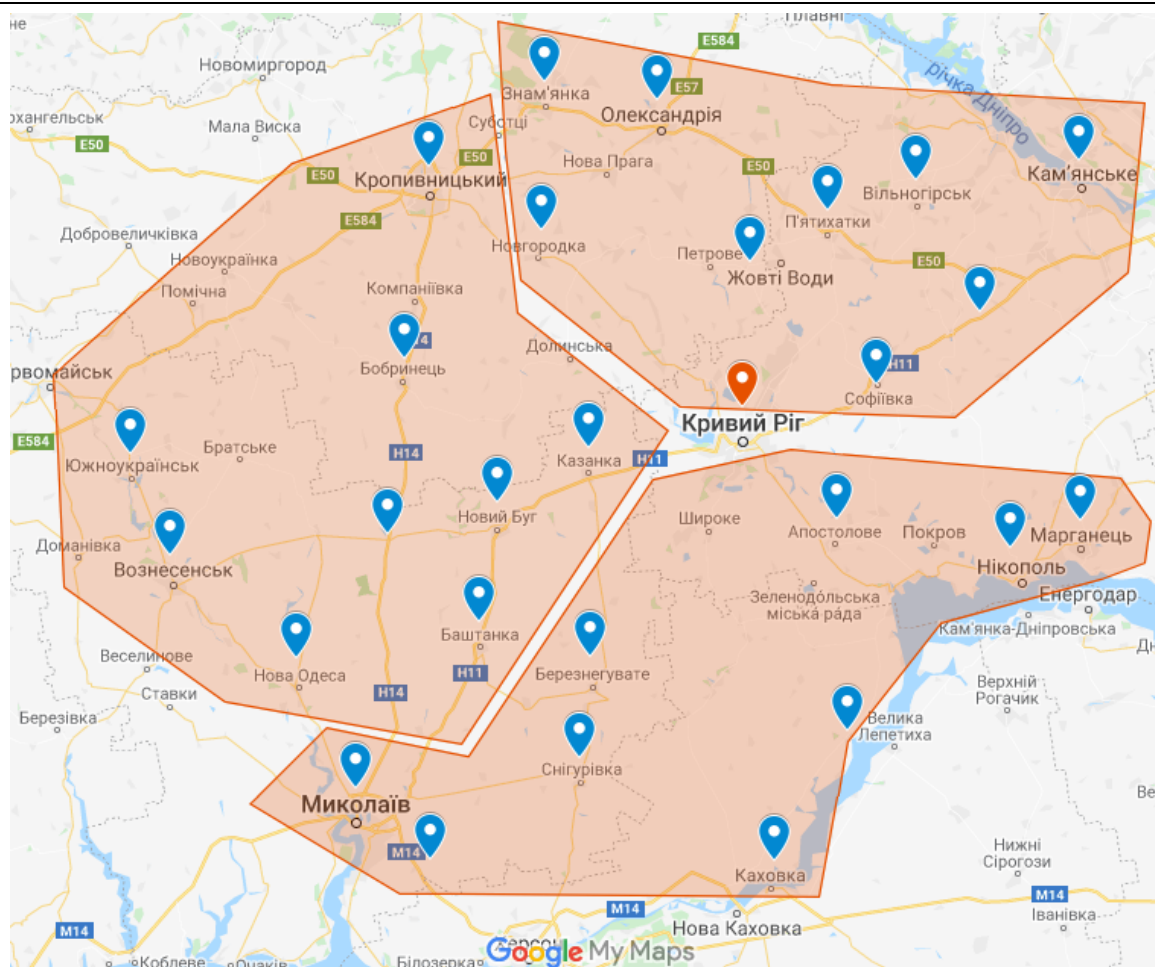


Рисунок 2. Розвізні сектори після використання методу «Мітли»

За допомогою методу «Мітли» визначені розвізні сектори, в рамках яких для першого сектору сформована матриця найкоротших відстаней (рис. 3). На листі MS Excel окрім матриці найкоротших відстаней додаємо матрицю з шуканими невідомими величинами « x », цільову функцію, рядок для додаткових змінних, а також матрицю з обмеженнями по додатковим змінним.

Алгоритм рішення задачі комівояжера в пакеті MS Excel має наступну послідовність: 1. У сформованій матриці найкоротших відстаней, у комірках, які знаходяться на головній діагоналі, прописуємо завідомо велику відстань, для уникнення повторного заїзду в той самий пункт. 2. Формуємо аналогічну, але порожню таблицю, для визначення шуканих невідомих змінних, а отже і оптимального маршруту руху автомобіля. 3. Задаємо цільову функцію, яка розраховується за допомогою вбудованої функції SUMPRODUCT. До третьої таблиці вводимо обмеження по додатковим змінним. Відкриваємо розділ «Дані» і вмикаємо функцію «Пошук рішення». Обираємо комірку з цільовою функцією та зазначаємо напрямком оптимізації « \min ». В полі «Змінюючи комірки змінних» виділяємо масив другої таблиці та рядку «Додаткові змінні». В полі «У відповідності до обмежень» вводимо наступні обмеження: шукані невідомі змінні повинні бути цілими числами; сума шуканих невідомих змінних по рядках та стовбцях повинні дорівнювати одиниці – умова гарантії того, що тільки один раз автомобіль буде відвідувати кожний пункт на маршруті; значення масиву з шуканими обмеженнями по додатковим змінним повинні бути менше або дорівнювати восьми – умова того, що при побудові маршруту не з'являться окремі маршрути, які не охоплюють всі пункти. Натискаємо «Знайти рішення» та визначається функція цілі та раціональна послідовність заїзду. Результати для першого розвізного сектору наведено на рисунку 4.

Матриця найкоротших відстаней	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10000	200	119	170	109	129	76,9	106	167	47,1
1	200	10000	134	79,8	160	101	127	94,5	33,1	158
2	119	134	10000	163	165	53,1	132	99,1	154	111
3	170	79,8	163	10000	68,5	107	95,7	62,3	47,5	165
4	109	160	165	68,5	10000	102	34,1	66,6	128	64,1
5	129	101	53,1	107	102	10000	79,1	46,3	103	97,5
6	76,9	127	132	95,7	34,1	79,1	10000	33,4	94,8	31,8
7	106	94,5	99,1	62,3	66,6	46,3	33,4	10000	62	64,1
8	167	33,1	154	47,5	128	103	94,8	62	10000	123
9	47,1	158	111	165	64,1	97,5	31,8	64,1	123	10000
Невідомі величини "x"	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0										0
1										0
2										0
3										0
4										0
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0
Цільова функція	0									
Додаткові змінні										
Обмеження по додатковим змінним										
	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	u9	u10	
u2										
u3										
u4										
u5										
u6										
u7										
u8										
u9										
u10										

Рисунок 3. Підготовчі операції для рішення задачі комівояжера в пакеті MS Excel для розвізного сектору №1

B25		=SUMPRODUCT(B2:K11;B14:K23)										
Невідомі величини "x"		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Цільова функція	574,8											
Додаткові змінні		4	8	3	2	7	1	6	5	0		
Обмеження по додатковим змінним												
	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	u9	u10			
u2	0	-4	1	2	-3	3	-2	8	4			
u3	4	0	5	6	1	7	2	3	8			
u4	8	-5	0	1	-4	2	-3	-2	3			
u5	-2	-6	8	0	-5	1	-4	-3	2			
u6	3	8	4	5	0	6	1	2	7			
u7	-3	-7	-2	8	-6	0	-5	-4	1			
u8	2	-2	3	4	8	5	0	1	6			
u9	1	-3	2	3	-2	4	8	0	5			
u10	-4	-8	-3	-2	-7	8	-6	-5	0			

Рисунок 4. Розв'язок задачі комівояжера для розвізного сектору №1

За результатами розрахунків отримуємо наступний маршрут: **0-9-6-4-3-1-8-7-5-2-0**. Для розвізного сектору 2 та 3 задача вирішується аналогічно.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отже, при суміщенні методу «Мітли» та алгоритму вирішення задачі комівояжера у середовищі MS Excel отримані нові розвізні маршрути, використання яких дозволяє зменшити собівартість перевізного процесу та підвищити якість обслуговування замовників доставки вантажів. Проведені розрахунки дозволяють отримати наступну довжину для маршрутів, відповідно для першого – 527,7 км, для другого – 457 км, третього – 669,8 км. Виходячи з наведених характеристик визначено, що для об'їзду всіх клієнтів необхідно подолати сумарних пробіг 1743 км. У порівнянні з пробігом при використанні маятникових схем руху вантажного автотранспорту він є значно меншим (пробіг при існуючій схемі – 2863 км).

Ефективність використання зазначеного підходу відбивається у значному спрощенні процесу вирішення зазвичай «непідйомної» задачі комівояжера при обмежених ресурсах автотранспортного підприємства, що дозволяє вчасно реагувати на попит у перевезеннях вантажів, бути гнучким під час його коливання та конкурентоспроможним серед автотранспортних підприємств, що здійснюють вантажні перевезення на великі відстані у міжобласному сполученні.

ВИСНОВКИ

Визначено, що для якісного проведення маршрутизації при перевезенні вантажів витрачаються значні ресурси. Особливо це стосується малих автотранспортних підприємств де для рядових менеджерів при вирішенні «непідйомної» задачі комівояжера та використанні при цьому непотужної комп'ютерної техніки є вельми складною задачею. Враховуючи складність та трудомісткість знаходження раціональної схеми маршруту руху вантажних автомобілів, де кількість пунктів розвозу значно перевищує оптимальну межу та, відповідно, витрачається значний час на переробку вихідних даних, запропоновано використовувати двофазну оптимізацію для розв'язання транспортних задач, а саме, суміщень при поєднанні методу «Мітли» та алгоритму вирішення задачі комівояжера при використанні MS Excel. Це дозволить значно зменшити трудомісткість процесу проведення маршрутизації вантажних перевезень та підвищить їх якість.

Використання методу «Мітли» дозволяє окреслити розвізні сектори виходячи з трьох обмежень. Перше пов'язано з використанням MS Excel де ефективно можна вирішити задачу комівояжера з кількістю пунктів до 10. Друге обмеження полягає в тому, що для доставки вантажу використовується автотранспортний засіб з вантажопідйомністю 20 тон Третє обмеження пов'язане з графіком роботи водія. Встановлено, що суміщення методу «Мітли» та алгоритму вирішення задачі комівояжера, використовуючи MS Excel для пошуку раціонального маршруту, дозволить побудувати розвізні маршрути зі значною кількістю пунктів розвозу при попередньому ранжуванні на розвізні сектори у відповідності до обмежень. Застосування розвізних маршрутів дозволяє скоротити пробіг в приведену умовному випадку при доставці вантажів на 39%.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Нагорный Е. В., . Музылев Д. А. Стратегия формирования городских развозочных маршрутов на оперативный период с учетом неравномерности распределения спроса на специфические грузы. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. 6/4 (42). С. 27-30.
2. Шуліка, О.О. Формування процесу доставки тарно-штучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2017. 20 с.
3. Нагорний Є.В., Шраменко Н.Ю. Комерційна робота на транспорті: підручник. Харків : ХНАДУ, 2010. 324 с.
4. Нагорний Є.В., Наумов В.С., Шуліка О.О. Формування варіантів технології доставки тарно-штучних вантажів автомобільним транспортом у міжміському сполученні. *Автомоб. трансп.* 2013. № 32. С. 61-66.
5. Алькема В.Г. Маршрутизації доставки вантажів автомобільним транспортом. Вісник Національного транспортного університету. 2011. № 24(2). С. 108-113. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2011_24%282%29__27
6. Нагорний Є.В., Шраменко Н.Ю. Аналіз критеріїв ефективності функціонування логістичних систем при доставці вантажів. Наукові нотатки: міжвузівський збірник. Луцьк: ЛНТУ, 2010. № 28. с. 353-357.
7. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб.пособие для студ. высш. учеб. Заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 288 с.

8. Томляк С.І., Поляков А.П. Шляхи підвищення ефективності перевезення вантажів автомобільним транспортом. // Наукові нотатки: міжвуз. наук. зб. Луцьк: ЛНТУ, 2014. – Вип. 46. – с. 529-537. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_46_85
9. Toth, Paolo The vehicle routing problem / Paolo Toth, Daniele Vigo - Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. 367 p.
10. Laporte, G. A Concise Guide to the Traveling Salesman Problem. JSTOR. URL: http://www.jstor.org.ezproxy.gsom.spbu.ru:2048/stable/pdf/40540226.pdf?_=1460820285494
11. W.E. Hardy, Vehicle routing efficiency—A comparison of districting analysis and the Clarke–Wright method, *Am J Agric Econ* 62 (1980), 534– 536.
12. Додонов О.Г., Кузьмичов А.І. Оптимізаційні моделі еволюційного програмування в Excel: розв'язання задачі комівояжера з обмеженнями alldifferent. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2011. Т. 13, № 3. С. 3-16.
13. Akhand, M. A. H. & Jannat, Zahrul & Sultana, T. & Rahman, M. M.. (2017). Solving capacitated vehicle routing problem using variant sweep and swarm intelligence. *Journal of Applied Science and Engineering*. 20. 511-524. 10.6180/jase.2017.20.4.13.
14. Shankar, R.B.S., Reddy, K.D., Venkataramaiah, P.: Solution to a capacitated vehicle routing problem using heuristics and firefly algorithm. *International Journal of Applied Engineering Research* 13(21) (2018) 15247–15254
15. Лашеніх, О.А., Кузькін О.Ф. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем: навч. посібник. Запоріжжя: ЗНТУ, 2006. 434 с

REFERENCES

1. Nagorniy, Ye.V., Muzylev, D.A. (2009). Strategiya formirovaniya gorodskih razvozhnykh marshrutov na operativnyj period s uchetom neravnomernosti raspredeleniya sprosna na specificheskie gruzy // *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. № 6/4(42). 27-30.
2. Shulika, O.O. (2017). *Formation of packaged cargo delivery process in the intercity by road transport*. Extended abstract of candidate's thesis. Kharkov, [in Ukrainian].
3. Nagorniy, Ye.V., Shramenko, N.Yu. (2010). Commercial work on transport. Kharkiv National Automobile and Highway University, 324.
4. Nagornij, Ye.V., Naumov, V.S., & Shulika, O.O. (2013). Formuvannja variantiv tehnologiji dostavki tarno-shtuchnih vantazhiv avtomobil'nim transportom u mizhmis'komu spoluchenni. *Avtomobil'nyj transport*. 32. 61-66.
5. Alkema, V.G. (2011). Marshrutyzatsiya dostavky vantazhivky avtomobil'nym transportom. *The National Transport University Bulletin*. 24(2). С. 108-113
6. Nagornij, Ye.V., Shramenko, N.Yu. (2010). Analiz kriteriyiv efektyvnosti funkcionuvannya logistichnih sistem pri dostavci vantazhiv. *Naukovi notatki: mizhvuzivskij zbirnik*. 28. 353-357.
7. Gorev, A.E. *Gruzovye avtomobilnyie perezozki [Freight automobile transportation]*. Moscow, Publishing center "Academy", 2008. 288 p
8. Tomlyak, S.I., Polyakov, A.P. (2014). SHlyahi pidvischennya efektyvnosti perevezennya vantajiv avtomobilnim transportom. *Naukovi notatki: mijvuz. nauk. zb.* Lutsk: LNTU, 2014. 46. 529-537.
9. Toth, Paolo The vehicle routing problem / Paolo Toth, Daniele Vigo - Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. 367 p.
10. Laporte, G.A Concise Guide to the Traveling Salesman Problem. JSTOR. URL: http://www.jstor.org.ezproxy.gsom.spbu.ru:2048/stable/pdf/40540226.pdf?_=1460820285494
11. W.E. Hardy, Vehicle routing efficiency—A comparison of districting analysis and the Clarke–Wright method, *Am J Agric Econ* 62 (1980), 534– 536.
12. Dodonov, O.G., Kuzmychov, A.I. (2011). Optyimizatsiyni modeli evolyutsionuyut' prohramu v Excel: rozshyrennya zadach komisiyi z obmezhenyiam alldifferent / *Data recording, storage & processing*. Т. 13, № 3. С. 3-16.
13. Akhand, M. A. H. & Jannat, Zahrul & Sultana, T. & Rahman, M. M.. (2017). Solving capacitated vehicle routing problem using variant sweep and swarm intelligence. *Journal of Applied Science and Engineering*. 20. 511-524. 10.6180/jase.2017.20.4.13.
14. Shankar, R.B.S., Reddy, K.D., Venkataramaiah, P.: Solution to a capacitated vehicle routing problem using heuristics and firefly algorithm. *International Journal of Applied Engineering Research* 13(21) (2018), 15247–15254

15. Lashchenykh, O.A., Kuz'kin, O.F. (2006). Methods and models of optimization of transport processes and systems. Zaporozhye: ZNTU, 434.

Ya. Litvinova, V. Bilonog. The methodical approach improvement to the designing of rational routes for freight transit by automobile transportation

The research is devoted to the search of new approaches to improve the efficiency of freight transportation based on the analysis of methods and algorithms for rational routing schemes designing. Methods of comparison and generalization were used to determine the peculiarities of the simplification of finding rational routes of cargo transportation process, as well as its improvement, synthesis - by combining the method and algorithm of solving transport problems with each element role exposure in the system.

Theoretical and methodological principles of leading scientists in the field of transport as for solving existing problems in the goods delivery to customers are analyzed. It is noted that a number of problems in the rational route schemes designing are associated with imperfect and time-consuming methods of transport problems solving. Analysis of the peculiarities of freight transportation as the most complex process in the road transport use, allowed expanding the list, noting a feature that reflects the use of inefficient and irrational routing schemes in the goods transportation. As a result of research it is established that under modern conditions of managing it is difficult enough to provide task performance to an ordinary manager providing designing of rational routes. This determines the feasibility of using two-phase optimization in solving transport problems, namely, combinations in the joining the "Sweep algorithm" and the algorithm for solving the problem of salesman when using MS Excel. The example of the specified combination usage of the conditional motor transport enterprise of Kryvyi Rig is examined. The characteristics of freight traffic routes are designed and determined.

Keywords: *freight transportation, combination of method and algorithm, "sweep algorithm", traveling salesman problem, routing.*

ЛІТВИНОВА Яна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: litvinovayana87@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2806-4076>

БІЛОНОГ Владислав Вікторович, студент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: vicradrt@gmail.com

Yana LITVINOVA, Candidate of Technical Science, associate professor of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: litvinovayana87@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2806-4076>

Vladyslav BILONOG, student of the Department of Transport Management, Dnipro University of Technology, e-mail: vicradrt@gmail.com

DOI: 10.36910/automash.v2i15.392

УДК 656.078
UDC 656.078

Маяк М.М.¹, Прогній П.Б.², Матвіїшин А.Й.³, Попович П.В.², Шевчук О.С.², Островерхов В.М.²,
Коцур А.С.², Романишин О.В.²

¹Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна; ²Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна; ³Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ РИНКУ ВАНТАЖНИХ І ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Проведено аналіз основних тенденцій розвитку ринку вантажних і пасажирських перевезень, досліджено базові фактори, що впливають на розвиток транспортних підприємств. Виконано огляд економічної активності у транспортній галузі країни. Досліджено основні залежності, динаміку та структурні особливості ринку пасажирських і вантажних перевезень, а також тенденції розвитку ринку транспортної логістики включаючи пасажирські і вантажні потоки за видами транспорту. Встановлено, що основними замовниками транспортних послуг є підприємства дорожньої та будівельної галузей, а також аграрні холдинги, в основному, виробники продукції рослинництва в сільськогосподарському секторі, що у комплексі забезпечило збільшення обсягів перевезення вантажів автомобільним і залізничним транспортом. Протягом п'яти крайніх років частка автомобільного транспорту в транспортній системі країни прогнозовано продовжує зростати на основі позитивного тренду збільшення попиту на перевезення вантажів для вказаних галузей, отже матиме місце тривалий динамічний розвиток транспортної галузі України в цілому. Ринок логістичних послуг та споживчий ринок мають пов'язані напрями розвитку, встановлено, що вони є збалансованими, в цілому ринок автомобільних та залізничних перевезень має стабільну тенденцію до зростання при можливому зниженні темпів. Результати дослідження можуть бути застосовані при виконанні моделювання матеріальних потоків на ринку перевезень вантажів, а також пасажирів, на основі результатів дослідження факторів, які впливають на розвиток транспортних підприємств країни, що якісно впливатиме на вдосконалення чи актуалізацію інструментарію планування діяльності транспортно – експедиційних, логістичних, перевізних підприємств.

Ключові слова: транспортні послуги, пасажирські перевезення, вантажні перевезення, структура ринку перевезень, логістичні послуги.

ВСТУП

Постійне, протягом п'яти років, зростання перевезень вантажів і пасажирів, викликає необхідність, на постійній основі, виконання оптимізації витрат на транспортування, що вимагає на основі статистичних даних досліджень економічної активності в транспортній галузі, встановлення об'єктивних закономірностей, динаміки та структурних особливостей ринку вантажних і пасажирських перевезень з обґрунтуванням тенденцій розвитку ринку транспортної та складської логістики. Врахування причинно-наслідкових зв'язків зміни об'ємів перевезень, за видами транспорту, дозволить визначити та виконати прогнозування, встановити, яким чином які основні замовники впливають на розвиток транспортної галузі. Розуміння реальних причин і тенденцій розвитку споживчого, оптового, та ринку логістики в Україні забезпечить можливість визначення, наскільки вони є збалансованими, для можливості оптимального управління транспортними компаніями.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В теперішніх умовах вимагається проведення інноваційної модернізації без винятків в усіх галузях народного господарства, економічний вплив транспортної галузі. В Україні приріст обсягу перевезень вантажів за 2019 рік до 2018р. становив +29,7%, або +55,5 млн тонн. У 2019 році, за офіційними даними, було перевезено понад 1800 млн пасажирів, при цьому, відомо, до 80% ринку пасажирських автомобільних перевезень перебуває в тіні [1, 2, 3]. Ліцензовані автоперевізники, які приймають участь в конкурсах з одержання ліцензій на маршрути, не перевищують 30% від загальної кількості автоперевізників [2, 3]. Функціонування і розвиток в Україні товарного і транспортного ринків як наслідок діяльності підприємств: транспортно - експедиційних, комерційно-посередницьких, перевізників, ін. комплексно детермінують тренди ринку транспортних послуг як об'єкту дослідження динаміки та структури вантажопотоків [1-5].

На сьогодні актуальним є проведення досліджень з аналізом основних тенденцій розвитку ринку вантажних та пасажирських транспортних послуг з метою одержання об'єктивних результатів, шляхом визначення факторів які, в досліджуваному періоді, впливають на розвиток підприємств транспортної галузі [6-10]. Аналітичні дослідження одержаних емпіричних даних з наступною

формалізацією та обробкою є основою адекватного визначення показників обсягів перевезень, в тому числі інтермодальних та мультимодальних, видів вантажів, тенденцій попиту на перевезення за видами перевезень та транспорту, напрямками розміщення та об'ємів виробництва за видами продукції, перспективами підвищення прибутковості вантажних і пасажирських перевезень.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

За даними Державного комітету статистики України, Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України [1-5] в грудні, в порівнянні з листопадом 2019 року, оборот роздрібною торгівлі зріс на 18,7%, а в порівнянні з груднем 2018 року - на 12,5%. Найбільше зростання обороту роздрібною торгівлі підприємств (як юридичних осіб так і фізичних осіб-підприємців) в 2019 року, порівняно з 2018 роком, зафіксовано в Київській (на 20%), Вінницькій (на 18,6%), Тернопільській (на 17,5%), Луганській (на 16%), Черкаській (на 14,8%) областях і в Києві (на 15,1%). Значний внутрішній попит згенеровано відповідними показниками зростання в сферах будівництва, торгівлі та низки сегментів сфери послуг, основними замовниками транспортних послуг є підприємства [1-5] дорожньої та будівельної галузей, які, разом з виробниками продукції рослинництва в аграрному секторі забезпечили збільшення обсягів перевезення вантажів автомобільним і залізничним транспортом. Індекс фізичного обсягу обороту роздрібною торгівлі у порівнянних цінах, 2018р. до 2019р., знизився [1-3]. Тенденції розвитку торгівлі: суттєве зменшення попиту при збільшенні оборотів, причинами збільшення яких є ріст цін при зменшенні обсягу реалізованих товарів, економічний спад, не прогнозованість політики та макроекономіки унеможливили залучення капіталу на IPO чи SPO, також пошук стратегічного інвестора; за рахунок негативних змін при роботі з товарними кредитами і запозиченими коштами радикально змінюється комплекс функцій дистрибуції [11 - 15]. На цій основі раціональним є прогнозування показників перевезень вантажів в середньо і довгостроковій перспективі. Необхідно враховувати, що прогнозування на основі статистичних даних є перенесенням подій минулих періодів на майбутні, застосування методів кореляційного та регресивного аналізу, екстраполяції часових рядів та евристичного прогнозування доцільно виконувати на основі і з урахуванням експертних фахових оцінок [3, 4, 10-15].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За оцінкою Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, протягом 2019 року динаміка змін (рис.1) у транспортній галузі була позитивною завдяки стабільному зростанню як вантажо-, так і пасажирообороту.



Рисунок 1. Динаміка вантажо - та пасажиро - обороту у 2018-2019рр. [3]

Діяльність вантажного транспорту (залізничний і автомобільний) підтримувалася завдяки попиту з боку агровиробників (новий рекордний врожай зернових культур 2019/20рр.) та будівельних підприємств (ремонт і будівництво інфраструктурних об'єктів) [1, 3]. Зростання на пасажирському транспорті забезпечувалося, в основному, завдяки активному розвитку авіаційного транспорту (лібералізація ринку авіаперевезень та активного функціонування авіа - лоукосткомпаній), рис. 2. Водночас падіння у практично всіх сегментах промисловості, як одного з найбільших користувачів транспортних послуг, а також збереження логістичних проблем у залізничному транспорті: періодичні затримки рухомого складу АТ «Укрзалізниця» у морських портах, також суттєвий рівень зносу рухомого складу стримували розвиток окремих сегментів транспортної галузі [1, 3].

Вантажооборот, %

	грудень 2019р. (листопад 2019р.)	2019р. (2018р.)	внесок грудень 2019р. (листопад 2019), в.п.
Всього %	↑ 0,0 (4,5)	↑ 2,1 (-3,3)	х
Залізничний, %	↓ -9,4 (-5,9)	↓ -2,4 (-2,9)	-5,4 (-3,4)
Автомобільний, %	↑ 14,0 (12,1)	↑ 14,7 (2,7)	1,78 (1,6)
Річковий, %	↑ 62,5 (-17,9)	↑ 4,7 (8,2)	0,2 (-0,08)
Морський, %	↓ -1,8 (-1,9)	↓ -2,7 (-36,0)	-0,01 (-0,01)
Авіаційний, %	↓ -29,9 (-26,4)	↓ -13,4 (23,4)	-0,03 (-0,03)
Трубопровідний, %	↑ 11,8 (22,8)	↑ 5,3 (-5,9)	3,47 (6,4)

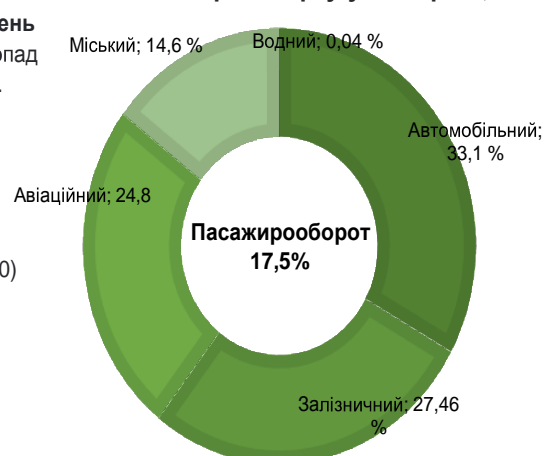
Структура вантажообороту за видами транспорту у 2018 році, %



Пасажирооборот, %

	грудень 2019р. (листопад 2019р.)	2019р. (2018р.)	Внесок грудень 2019р. (листопад 2019), в.п.
Всього %	↑ 1,2 (8,2)	↓ 3,3 (5,1)	х
Залізничний, %	↓ -6,7 (19,6)	↓ 0,0 (2,2)	-2,1 (4,9)
Автомобільний, %	↓ -2,1 (-3,8)	↑ 0,0 (-2,7)	-0,7 (-1,4)
Водний, %	↓ -78,8 (0)	↑ -6,5 (-9,1)	-0,0004 (-0,0)
Авіаційний, %	↑ 16,0 (23,5)	↓ 16,1 (27,2)	3,4 (5,2)
Міський, %	↑ 3,9 (-3)	↓ -4,4 (-1,1)	0,6 (-0,5)

Структура пасажирообороту за видами транспорту у 2018 році, %



Джерело. Держстат, розрахунки Мінекономіки

Рисунок 2. Структура вантажообороту за видами транспорту [3]

За оцінками Meibach Logistik, Armstrong & Associates, Inc. [16, 17], під впливами глобальних економічних негативних змін темпи росту ринків Китаю, Індії, Бразилії не зазнали змін, динаміка обсягу логістичного аутсорсингу в країнах Європи сповільнюється. Зрозуміло, у перспективі економічна кон'юнктура має негативний вплив на ринок логістики. У структурі світового ринку логістичних послуг частка транспортно-експедиторських послуг зменшилася, частка комплексних логістичних послуг (включаючи послуги зберігання і дистрибуції товарів) зросла, як і частка управлінської логістики [16, 17, 19]. Основою позитивного тренду динаміки торгівлі, відповідно інвестиційної привабливості ринків є розвиток логістичної інфраструктури. Міжнародною фінансовою групою «Agility» запропоновано і успішно застосовується індекс розвитку ринку логістики Agility Emerging Markets Logistics Index, який відображає ступінь привабливості ринку логістики для інвестицій [19, 20].

За даним дослідженням, для ринків логістики які розвиваються, в оцінці внутрішніх можливостей логістики, Україна у 2020 р. піднялася на одну позицію у рейтингу на 29 місце, в

порівняні з 2019р. (рис. 3 а). Щодо оцінки зовнішніх можливостей у логістиці, Україна погіршила рейтинг на чотири позиції (рис. 3 б). У рейтингу можливостей для бізнесу наша держава піднялася на десять позицій [16 - 20].

Rank	Domestic Logistics Index	Score	YoY Change	Rank	Business Fundamentals Index	Score	YoY Change
1	China	8.87	-	1	UAE	9.33	-
2	India	8.05	-	2	Malaysia	8.23	-
3	Indonesia	6.33	-	3	Saudi Arabia	8.17	2
4	UAE	5.57	1	4	Qatar	8.11	-1
5	Brazil	5.49	-1	5	Bahrain	7.51	3
6	Saudi Arabia	5.44	3	6	Chile	7.40	-
7	Qatar	5.39	-1	7	Oman	7.29	-3
8	Mexico	5.36	-1	8	China	7.17	-1
9	Malaysia	5.30	1	9	Jordan	6.69	4
10	Turkey	5.17	-2	10	Morocco	6.69	-1
11	Russia	5.17	1	11	Kazakhstan	6.39	5
12	Kuwait	5.13	1	12	Kuwait	6.06	-1
13	Egypt	5.09	6	13	Uruguay	5.98	-1
14	Thailand	5.09	6	14	Thailand	5.97	1
15	Pakistan	5.09	-4	15	Indonesia	5.95	-1
16	Nigeria	5.05	9	16	Turkey	5.77	2
17	Bahrain	5.01	-3	17	Egypt	5.74	10
18	Oman	4.98	-1	18	India	5.70	-8
19	Philippines	4.98	-4	19	Russia	5.45	-2
20	Bangladesh	4.95	-2	20	Vietnam	5.37	-
21	Vietnam	4.94	1	21	South Africa	5.16	3
22	Argentina	4.93	-6	22	Tanzania	5.13	3
23	Algeria	4.92	1	23	Kenya	4.94	-2
24	Jordan	4.91	-1	24	Mexico	4.91	-1
25	Lebanon	4.89	-4	25	Tunisia	4.87	-3
26	Chile	4.86	1	26	Algeria	4.81	2
27	Iran	4.85	-1	27	Ukraine	4.64	10
28	Uruguay	4.82	-	28	Colombia	4.49	3
29	Ukraine	4.79	1	29	Sri Lanka	4.49	3
30	Kazakhstan	4.73	-1	30	Philippines	4.47	4
31	Peru	4.72	1	31	Peru	4.47	-2
32	Colombia	4.71	-1	32	Ghana	4.47	-13
33	South Africa	4.64	-	33	Ecuador	4.46	-3
34	Tunisia	4.62	4	34	Uganda	4.40	9
35	Morocco	4.62	-1	35	Pakistan	4.34	-2
36	Tanzania	4.61	1	36	Cambodia	4.19	4
37	Kenya	4.59	5	37	Lebanon	4.14	-2

а)

б)

Рисунок 3. Оцінка внутрішніх (а) та зовнішніх (б) можливостей ринків логістики [19]

Рівень інвестиційної привабливості оцінюється за сукупністю показників: розвиток транспортних комунікацій, величини і динаміки розвитку, ринкової сумісності [19, 20, 21-23]. Рейтинг країн згідно Agility Emerging Markets Logistics Index 2019, в тому числі з деталізацією за субіндексами наведено в [19, 20]. Україна [14, 19, 20, 21] знизилася показники, змістившись більше 10 позицій вниз. За даними Agility Emerging Markets Logistics Index [19, 20] оцінка України погіршилася, субіндекс розміру і привабливості ринку також знизився. Потоки FDI в Україну зменшились, це є найнижчим рівнем за 15 років [16, 17, 19, 20].

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Встановлено, у 2018-2019рр. на вантажні перевезення найбільш впливали: зростання попиту на природний газ у країнах ЄС на фоні низької вартості; високий внутрішній попит з боку будівельних підприємств, агропромислових та підприємств роздрібною торгівлі; запровадження у 2019р. графікових відправлень АТ «Укрзалізниця» зернових вантажів за узгодженим графіком руху – закольцовані регулярні відправлення «елеватор-порт» [1 - 3]. Зниження (порівняно з 2018 роком) цін на паливо та мастила (курс валют); відкриття нових маршрутних станцій із прискореним завантаженням. На пасажирський транспорт впливали такі фактори: функціонування на ринку перевезень пасажирів авіа лоукост-компаній, навіть враховуючи банкрутства (наприклад «FlyErnest»), а також відчутне здорожчання (порівнюючи з базовим у даному дослідженні 2018 роком) вартості транспортних послуг залізничного пасажирського транспорту [1-3].

Встановлено, в 2015-2019 рр. спостерігалось коливання попиту на вантажні автомобільні перевезення, обсяги виконаної роботи змінювалися [1-3]. В [1, 3, 4] доведено, що структура парку вантажних автомобілів українських підприємств, зокрема працюючих на внутрішніх перевезеннях, суттєво не змінилася та не відповідає попиту - більшість вантажівок є морально застарілими. Встановлено що вантажопідйомність до 90% вантажівок становить 1,5 - 10 т., структура парку автомобільного транспорту в Україні така, що близько 70% вантажних автомобілів експлуатуються понад 10 р., що призводить до збільшення витрат на перевезення [1-3]. У 2015 р. – 2019рр., до 50 % сумарного пробігу вантажного автотранспорту склав пробіг з вантажем [1-3]. За структурою експортно – імпорتنих та транзитних операцій, частка автотранспорту 12% , залізничного 56,2%, трубопровідного 29,9%. У порівнянні з 2010-2015р. частка автоперевезень зросла на 5%, залізничних на 6 %.

Транзитне перевезення вантажів автомобільним транспортом зросло, щорічно усереднене збільшення обсягу транзитних перевезень автомобільним транспортом складало до 900 тис. т. [1, 2]. В загальному обсязі транзитних вантажопотоків частка автомобільного транспорту зросла, що засвідчує підвищення рівня використання транзитного потенціалу країни з позицій автомобільних перевезень. Експорт транспортних послуг становить 21,3% від загальносвітового експорту комерційних послуг, в Україні частка імпорту досягає 0,4%, експорту – 1,0% на загальносвітовому ринку транспортних послуг. В країнах ЄС здійснюється 32,1% імпорту і 43,2% загальносвітового експорту транспортних послуг [6, 9]. Зокрема, згідно зі статистикою ЄС, на міжнародні перевезення товарів морськими шляхами припадає до 55 %, автодорожніми до 22%, залізничними до 3 %, повітрям до 24 % [7, 9]. За мультимодальною схемою перевезень здійснюється понад 50% світового зовнішньоторговельного товарообміну, з яких 75% ринку контролюється транспортно – експедиторськими компаніями, або логістичними операторами [8, 9, 10-15].

ВИСНОВКИ

На основі досліджень економічної активності в транспортній галузі країни визначено основні залежності, динаміку та структурні особливості ринку пасажирських та вантажних перевезень, а також тенденції розвитку ринку транспортної логістики, з урахуванням пасажирських та вантажних потоків за видами транспорту. Встановлено, що основними замовниками є підприємства дорожньої та будівельної галузей, які, разом з агросектором, зокрема, виробниками продукції рослинництва, забезпечили суттєве збільшення обсягів перевезень вантажів автомобільним і залізничним транспортом. Частка автомобільного транспорту в транспортній системі країни зростає при позитивному тренді попиту на перевезення вантажів, матиме місце тривалий динамічний розвиток галузі в цілому. Споживчий, оптовий, та ринок логістики в Україні мають близькі тренди розвитку, визначено, що вони є збалансованими, ринок логістичних послуг та вантажних перевезень має стійку тенденцію розвитку при об'єктивному зниженні темпів росту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Державний комітет статистики України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Міністерство інфраструктури України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua>.
3. Міністерство економіки України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=f9c84884-09b4-42ff-9b8a-8924586e9d72&tag=docs_project
4. Н. М. Іщенко. Маркетинг транспортних послуг. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/posibnuku/333/4.pdf>.
5. Гурч Л.М., Ченчик А.М. Маркетингове дослідження ринку транспортних послуг України //Логістика. – №633. – 2008.
6. International Trade Statistics 2011, Statistic database WTO // Source: <http://www.wto.org>
7. EU: Transport in Figures 2011 // Source: <http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/doc/2012/pocketbook2012.pdf>
8. Підлісний П.І. Стан та тенденції розвитку змішаних вантажних перевезень / Підлісний П.І., Брайковська А.М. // Зб. наукових праць, ДЕГУТ, «Економіка та управління», вип. 19, 2012 р. - С. 162-166.

9. Брайковська А. М. Дослідження особливостей формування ринку транспортних послуг як середовища функціонування підприємств транспорту / А. Брайковська // Економіст. - 2012. - № 9. - С.50-54.
10. Попович П. В. Аналітичні технології в забезпеченні економічної ефективності логістичних систем / Попович П. В. // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – Вип. № 169. – С. 223 - 225.
11. Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами/ Шевчук О. С. // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – Вип. № 169. – С. 205 - 209.
12. Попович П. В. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень у сучасних умовах / П. В. Попович, О. С. Шевчук, А. Й. Матвіїшин, В. М. Лотоцька // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. - № 2. - 2016. - С. 224-229.
13. Попович П.В. Підвищення ефективності технологій перевезень організаційними шляхами надання транспортних послуг / Попович П., Шевчук О., Мурований І. // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2017. – Вип. № 184. – С. 124 - 130.
14. Держкомстат України [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrstat.org/uk/operativ>
15. Попович П.В. Економічні аспекти використання послуг 3PL операторів вітчизняними підприємствами. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. № 2. С. 125-129.
16. Meibach Logistik [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.miebach.com>
17. A&A's [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.3plogistics.com/>
18. Тюріна Н. М. Логістика [Текст]: Навч. посіб. / Н. М.Тюріна, І. В. Гой., І. В. Бабій. – К.: «Центр учбової літератури», 2015. – 392 с.
19. <http://www.agility.com>
20. <http://www.agility.com/EN/About-Us/Pages/AEMLI-2019-Size-and-Growth-Attractiveness.aspx>
21. Пасічник А. М. роблеми та перспективи розвитку логістичного аутсорсингу в транспортній системі України / А. М. Пасічник, І. Г. Лебідь, В. В. Кутирєв, К. М. Бугерко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. - 2014. - Вип. 14(1). - С. 146-159.
22. УВК [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uvk.ua/ua/reviews>
23. Шевчук О. С. Порушення при облаштуванні паркувальних місць транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міста// Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – №1. - 2016. - С. 167-171.

REFERENCES

- 1.Derzhavnyi komitet statystyky Ukrainy [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- 2.Ministerstvo infrastruktury Ukrainy [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.mintrans.gov.ua>.
- 3.Ministerstvo ekonomiky Ukrainy [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: https://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=f9c84884-09b4-42ff-9b8a-8924586e9d72&tag=docs_project
- 4.Ishchenko N. M.(2014). Marketynh transportnykh posluh. [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu : <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/posibnuku/333/4.pdf>.
- 5.Hurch, L.M., Chenchyk, A.M. (2008). Marketynhove doslidzhennia rynku transportnykh posluh Ukrainy. Lohistyka, 23, 633.
6. International Trade Statistics (2011). Statistic database WTO . Source: <http://www.wto.org>
7. EU: Transport in Figures (2011). Source: <http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/doc/2012/pocketbook2012.pdf>
- 8.Pidlisnyi, P.I. (2012). Stan ta tendentsii rozvytku zmishanykh vantazhnykh perevezen. Ekonomika ta upravlinnia, 19, 162-166.
- 9.Braikovska, A. M. (2012). Doslidzhennia osoblyvostei formuvannia rynku transportnykh posluh yak seredovyscha funktsionuvannia pidpriemstv transport. Ekonomist, 9, 50-54.
- 10.Popovych, P. V. (2016). Analitychni tekhnolohii v zabezpechenni ekonomichnoi efektyvnosti lohistychnykh system. Visnyk KhNTUSH, 169, 223 - 225.
- 11.Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku rukhu vulychno-dorozhnymy merezhamy. Visnyk KhNTUSH, 169, 205 - 209.

12. Popovych, P. V. (2016). Doslidzhennia tendentsii rozvytku rynku vantazhnykh avtomobilnykh perevezhen u suchasnykh umovakh. Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu, 2, 224-229.
13. Popovych, P.V. Shevchuk, O.S., Murovani I. S. (2017). Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohii perevezen orhanizatsiinymy shliakhamy nadannia transportnykh posluh. Visnyk KhNTUSH, 184, 124 - 130.
14. Derzhkomstat Ukrainy [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://ukrstat.org/uk/operativ>
15. Popovych, P.V. (2016). Ekonomichni aspekty vykorystannia posluh 3PL operatoriv vitchyznianymy pidpriemstvamy. Suchasni tekhnolohii v masy`nobuduvanni ta transporti, 2, 125-129.
16. Meibach Logistik [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.miebach.com>
17. A&As [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.3plogistics.com/>
18. Tiurina N. M. Lohistyka (2015). Navch. Posib, 392.
19. <http://www.agility.com>
20. <http://www.agility.com/EN/About-Us/Pages/AEMLI-2019-Size-and-Growth-Attractiveness.aspx>
21. Pasichnyk, A. M., Lebid, I. H. Kutyriev, V. V. Buherko, K. M. (2014). Problemy ta perspektyvy rozvytku lohistychnoho outsorsynhu v transportnii systemi Ukrainy. Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka, 14(1), 146-159.
22. UVK [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.uvk.ua/ua/reviews>.
23. Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry`oblashtuvanni parkoval`ny`x miscz` transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhniy merezhi mista. Suchasni tekhnolohii v masy`nobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.

M. Maiak, P. Prohniy, A. Matviyshyn, P. Popovych, O. Shevchuk, V. Ostroverkhov, A. Kotsur, O. Romanyshyn. Features of the development of the market of cargo and passenger transportation

The analysis of the basic tendencies of development of the market of freight and passenger transportations is carried out, the basic factors influencing development of the transport enterprises are investigated. A review of economic activity in the transport sector of the country. The main dependences, dynamics and structural features of the market of passenger and freight transportation, as well as trends in the market of transport logistics, including passenger and freight flows by mode of transport, are studied. It is established that the main customers are enterprises of road and construction industries, as well as agricultural enterprises, mainly producers of crop products in the agricultural sector, which in the complex provided an increase in freight transportation by road and rail. Over the last five years, the share of road transport in the country's transport system is projected to continue to grow based on the positive trend of increasing demand for freight for these industries, so there will be a long dynamic development of Ukraine's transport industry as a whole. The market of logistics services and the consumer market have related directions of development, it is established that they are balanced, in general, the market of road and rail transport has a stable upward trend with a possible slowdown. The results of the study can be used as a basis for modeling the main trends of the freight market, as well as passengers, based on the results of the study of factors influencing the development of transport enterprises of the country, which will qualitatively influence the improvement or updating of planning tools, transportation companies.

Keywords: transport services, passenger transportation, cargo transportation, transportation market structure, logistics services.

МАЯК Микола Михайлович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: maiak48@mail.ru

ПРОГНІЙ Павло Богданович, кандидат технічних наук, ст. викл. кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovuch@gmail.com

МАТВІЙШИН Анатолій Йосипович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: AMatviishyn@ukr.net

ПОПОВИЧ Павло Васильович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

ШЕВЧУК Оксана Степанівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

ОСТРОВЕРХОВ Віктор Михайлович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, публічного управління та персоналу, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: v.ostroverkhov@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-3818-0604>

КОЦУР Андрій Семенович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, публічного управління та персоналу, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: a.kotsur@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0001-6986-4665>

РОМАНИШИН Ольга Василівна, кандидат економічних наук, ст.викл. кафедри менеджменту, публічного управління та персоналу, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net

Mykola MAIAK, Doctor of Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: maiak48@mail.ru

Pavlo PROHNII, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovuch@gmail.com

Anatolyj MATVIYISHYN, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Automobiles department, Ternopil National Technical University Ivan Pul'uj, e-mail: AMatviishyn@ukr.net

Pavlo POPOVYCH, Doctor of Sciences, Professor, Professor of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Oksana SHEVCHUK, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

Viktor OSTROVERKHOV, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Department of Management, Public Administration and Personnel, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: v.ostroverkhov@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-3818-0604>

Andriy KOTSUR, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Department of Management, Public Administration and Personnel, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: a.kotsur@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0001-6986-4665>

Olga ROMANYSHYN, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of Department of Management, Public Administration and Personnel, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net

DOI 10.36910/automash.v2i15.393

Меленчук Т.М., Кирилюк Є.В.
Одеська державна академія технічного регулювання та якості

ДО ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ В МІСТАХ

У роботі проведено аналіз існуючих наукових праць вітчизняних та зарубіжних вчених у галузі дослідження якості перевезення пасажирів у містах. Наведено питання цього напрямку наукових досліджень, які потребують додаткового вирішення. Виявлено, що існуючі методи оцінки якості перевезення пасажирів як параметри використовують складові витрат часу пасажирів на пересування та показники умов цього пересування. Визначено, що для планування якості технологічного процесу перевезення пасажирів муніципальною владою її оцінка повинна базуватися на параметрах даного процесу. Це дасть можливість при проведенні вибору перевізників для кожного маршруту враховувати конкретні показники, які вони зможуть забезпечити своїм рухомих складом. З урахуванням того, що підвищення якості процесу перевезення не повинно зменшувати економічні показники транспортних підприємств, обґрунтовано необхідність їх додаткового фінансування для компенсації витрат на досягнення рівня якості, якого вимагає влада міста. Запропоновано інтегрований показник якості перевезення пасажирів на маршруті міського пасажирського транспорту, що враховує параметри технологічного процесу перевезення пасажирів. Визначено, що підвищення якості перевезення пасажирів можливо за рахунок планування раціональних значень довжини перегонів, інтервалу руху, технічної швидкості та місткості транспортних засобів, які працюють на маршруті. Наведена концепція визначення розміру додаткового фінансового забезпечення перевізників муніципальною владою дозволяє розробити систему оцінки якості перевезення пасажирів у містах, у якій разом з вимогами до рівня якості транспортного обслуговування буде наведено розмір додаткового фінансування перевізників для його забезпечення.

Ключові слова: якість, перевезення, маршрут, пасажир, умови пересування, параметри пересування, витрати, прибуток, інтегрований показник

ВСТУП

Розвиток ринкової економіки в Україні вимагає втілення нових методів та принципів формування вимог до підприємств міського пасажирського транспорту щодо забезпечення необхідного рівня транспортного обслуговування населення. Формування економічних відносин між мешканцями міст та транспортними підприємствами, які виконують перевезення пасажирів, повинно враховувати баланс між інтересами пасажирів, перевізників та муніципальної влади. Економічні відносини між учасниками процесу перевезень в теперішній час не в повній мірі задовольняють потреб жодного з них. В таких умовах одним з основних завдань при формуванні системи оцінки якості перевезення мешканців в містах є прогнозування значень показників якості транспортного обслуговування пасажирів з урахуванням витрат транспортних підприємств на організацію процесу перевезення. Особливе значення при цьому має врахування впливу значень технологічних параметрів функціонування маршрутів міського пасажирського транспорту на рівень якості перевезення та економічні показники для досягнення цього рівня.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Пасажирські перевезення суттєво впливають на соціальну, екологічну та виробничу сфери функціонування міста, що визначає умови конкуренції для перевізників різних форм власності. Серед переліку проблем розвитку та функціонування міст особливе значення має розробка системи забезпечення відповідного рівня безпеки та якості перевезення пасажирів [1]. Для врахування інтересів учасників ринку пасажирських транспортних послуг та вдосконалення економічних відносин у сфері перевезень пасажирів доцільно вирішувати такі завдання: досягнення балансу інтересів пасажирів та перевізника, що забезпечує доступність пасажирських послуг для користувачів; ефективне функціонування перевізника; повне відшкодування витрат підприємств міського пасажирського транспорту, пов'язаних із здійсненням перевезень пасажирів; створення умов, необхідних для залучення приватних інвестицій у цілях підвищення економічної ефективності процесу перевезення пасажирів [2].

Дослідники визначають, що при впровадженні системи якості великою проблемою для перевізників, органів контролю і мешканців міст є відсутність розробленої єдиної методології оцінки якості перевезення пасажирів. Збільшення конкуренції у сфері надання пасажирських транспортних послуг призводить до боротьби за обсяги перевезень, вимагає висування нових вимог до надання

послуг у сфері транспортного обслуговування. Внаслідок цього, обґрунтування факторів оцінки якості послуг перевізників є одним з кроків до підвищення конкурентоспроможності перевезень пасажирів. При цьому, на проблему забезпечення якості пасажирських перевезень впливає ряд негативних факторів: низьке фінансування державних програм розвитку транспорту і дорожнього господарства, нівелювання вимог та підходів до утримання доріг; недосконалість та незавершеність структурних реформ в галузі пасажирських перевезень; збитковість підприємств міського пасажирського транспорту внаслідок недостатньої компенсації витрат коштів на перевезення пільгових категорій пасажирів, застарілий рухомий склад; перевантаженість міських доріг, незадовільна система містобудівництва та утримання транспортної інфраструктури; недостатній обсяг залучення коштів на розвиток транспорту; застаріла нормативно-правова база, низький темп гармонізації вітчизняного транспортного законодавства до міжнародних вимог; слабка конкуренція між перевізниками щодо забезпечення саме комфортності перевезення пасажирів [3]. Організаційні рішення з підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту, які є ефективними з економічної точки зору, далеко не завжди є найкращими в соціальному плані. Висока економічна ефективність роботи пасажирського транспорту в деяких випадках може призвести до таких негативних соціальних результатів, як зменшення вільного часу населення, зниження якості перевезень, погіршення екологічної ситуації тощо [4]. Дослідники виділяють фактори, які із соціальної точки зору мають особливе значення: повне і своєчасне задоволення потреб населення в перевезеннях, прискорення пересування пасажирів, створення необхідного комфорту поїздки, здійснення заходів, що забезпечують безпеку руху і зменшення рівня забруднення навколишнього середовища, підвищення регулярності й частоти руху транспортних засобів [5]. Забезпечення якості перевезення пасажирів передбачає створення систем управління якістю відповідно вимог міжнародних стандартів [6]. В теперішній час пропонуються різноманітні методи визначення показника якості міського пасажирського транспорту. Так, на початку досліджень якості пасажирських перевезень як одиничний показник використовувалося відношення величини витрат часу на поїздку за заданих теоретично абсолютно комфортних умов поїздки до фактичних витрат часу на поїздку в реальних умовах [6]:

$$K_{я} = \frac{t_{nep}^3}{t_{nep}^{\phi}}, \quad (1)$$

де t_{nep}^3 – витрати часу на поїздку в теоретичних (комфортних) умовах, хв.; t_{nep}^{ϕ} – витрати часу на поїздку в реальних умовах, хв.

Розвиток наукової думки привів до переходу від одиничних показників якості до інтегрованих, що враховують декілька одиничних показників. Прикладом такого виду показника є інтегрований показник, що враховує різні фактори сервісного обслуговування пасажирів [7]:

$$S = S_1^{x_1} \cdot S_2^{x_2} \cdot S_3^{x_3} \cdot S_4^{x_4} \cdot S_5^{x_5} \cdot S_6^{x_6}, \quad (2)$$

де S_1 – надійність переміщення точно за графіком; S_2 – доступність; S_3 – безпека; S_4 – комфортність; S_5 – вартісний показник транспортного тарифу; S_6 – показник інформаційного сервісу; $x_1 \dots x_6$ – показники ступеня, що характеризують вагомість відповідного показника рівня сервісу.

Таким чином, запропоновані одиничні та комплексні показники якості враховують параметри перевезення пасажирів. Однак, для планування якості технологічного процесу перевезення пасажирів доцільно як показники використовувати параметри даного процесу. Це дасть можливість муніципальній владі при проведенні вибору перевізників для кожного маршруту враховувати конкретні показники, які перевізники зможуть забезпечити своїм рухомим складом. Крім того, доцільно враховувати можливість додаткового фінансування транспортних підприємств для компенсації витрат на досягнення рівня якості, якого вимагає влада міста.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є визначення етапів формування системи оцінки якості перевезення пасажирів у містах методом розрахунку інтегрованого показника якості перевезення пасажирів на маршруті міського пасажирського транспорту з урахуванням параметрів технологічного процесу. Для її досягнення необхідно вирішити такі завдання: визначити параметри технологічного процесу, що впливають на рівень якості транспортного обслуговування; сформулювати загальний вид інтегрованого

показника якості; провести постановку завдання визначення такого рівня якості перевезення, якій би відповідав фінансовим можливостям муніципальної влади.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Інтегрований показник якості перевезення пасажирів на маршруті міського пасажирського транспорту повинен враховувати параметри транспортного процесу, які впливають на умови перевезення пасажирів. Основними характеристиками пересувань є довжина, швидкість сполучення й витрати часу на пересування [8]. Складові витрат часу на пересування, які впливають на труднощі сполучення, формують узагальнену характеристику, що включає в себе ряд показників зручності. У загальному випадку це є: час пішохідного підходу від дверей пункту відправлення до зупинного пункту міського пасажирського транспорту, час очікування транспорту на зупинному пункті, час руху у транспорті й час пішохідного підходу від зупинного пункту міського пасажирського транспорту до дверей пункту призначення (рис. 1).

Час пішохідного підходу від дверей пункту відправлення до зупинного пункту міського пасажирського транспорту та відходу від зупинного пункту до дверей пункту призначення залежить від довжини перегону маршруту та щільності транспортної мережі. Час очікування транспорту на зупинному пункті залежить від їх інтервалу руху на маршруті. Час руху у транспорті залежить від відстані пересування на маршруті та швидкості сполучення.

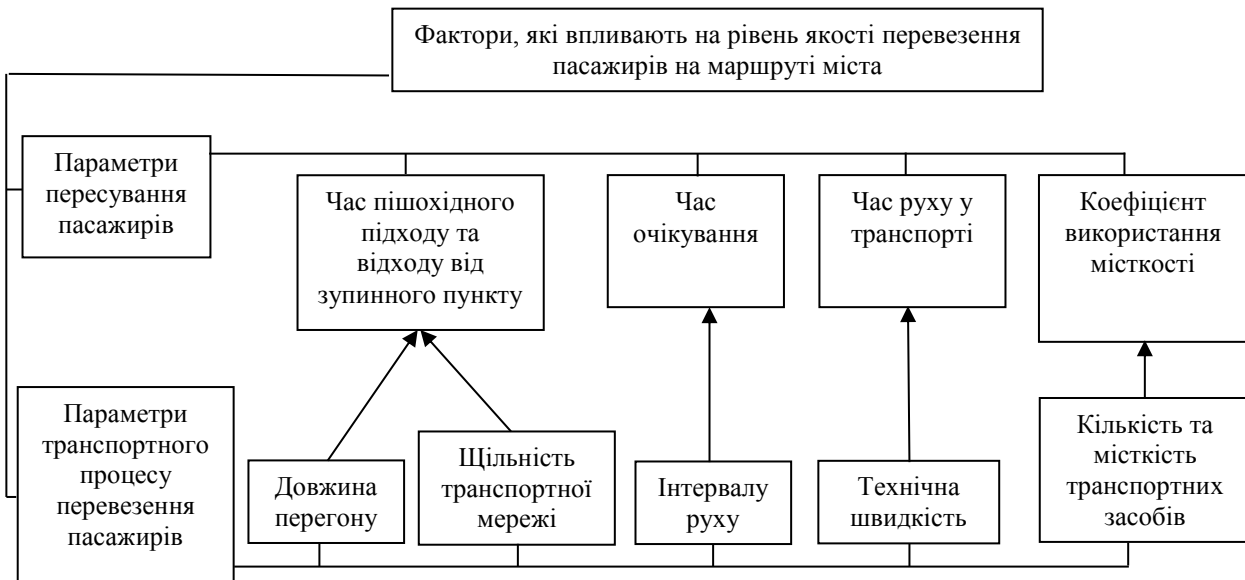


Рис. 1. Фактори, які впливають на рівень якості перевезення пасажирів на маршруті міста

Час пішохідного підходу від дверей пункту відправлення до зупинного пункту міського пасажирського транспорту та відходу від зупинного пункту до дверей пункту призначення залежить від довжини перегону маршруту та щільності транспортної мережі. Час очікування транспорту на зупинному пункті залежить від їх інтервалу руху на маршруті. Час руху у транспорті залежить від відстані пересування на маршруті та швидкості сполучення.

Зі всіх розглянутих факторів, які впливають на рівень якості обслуговування пасажирів, транспортне підприємство при організації процесу перевезення може впливати на значення довжини перегону маршруту, інтервал руху на маршруті та швидкість сполучення.

Крім того, на рівень якості обслуговування пасажирів впливають умови перевезення, які визначаються значенням коефіцієнта використання місткості транспортного засобу. Значення даного коефіцієнта залежить від кількості та місткості транспортних засобів, які працюють на маршруті.

Таким чином, інтегрований показник якості перевезення пасажирів на маршруті міського пасажирського транспорту повинен враховувати параметри технологічного процесу перевезення пасажирів і може бути формалізований так:

$$IPI_{\text{я}} = \left(\frac{l_{n\min}}{l_{n\phi}} \right)^{x1} \cdot \left(\frac{I_{\min}}{I_{\phi}} \right)^{x2} \cdot \left(\frac{V_{T\phi}}{V_{T\max}} \right)^{x3} \cdot \left(\frac{q_c}{q_{\phi}} \right)^{x4}, \quad (3)$$

де x_1, x_2, x_3, x_4 – показники, що характеризують вагомість відповідного показника якості; $l_{n_{min}}$ – мінімальна довжина перегону, км; $l_{n\phi}$ – фактична довжина перегону, км; I_{min} – мінімальний інтервал руху, хв; I_{ϕ} – фактичний інтервал руху, хв; $V_{T\phi}$ – фактична технічна швидкість км/год; V_{Tmax} – максимальна технічна швидкість км/год; q_{ϕ} – середня фактична кількість пасажирів в салоні транспортного засобу, пас; q_c – кількість місць для сидіння пасажирів в салоні транспортного засобу, пас.

Для практичної реалізації залежності (3) необхідно встановлення значень показників, що характеризують вагомість відповідного показника якості. Це можливо зробити шляхом проведення оцінки значущості кожного фактору для пасажирів міського транспорту.

З використанням залежності (3) можливо проведення формування системи оцінки якості перевезення пасажирів у містах. Підвищення якості перевезення пасажирів можливо за рахунок визначення раціональних значень довжини перегонів, інтервалу руху, технічної швидкості та місткості транспортних засобів, які працюють на маршруті. При цьому, міські транспортні підприємства організовують перевезення мешканців з метою отримання прибутків. Внаслідок цього, підвищення якості цього процесу не повинно зменшувати прибутки транспортних підприємств. Це можливо формалізувати таким чином [8]:

$$\Pi = \mathcal{D} - B \rightarrow \max, \quad (3)$$

де \mathcal{D} – доходи транспортних підприємств від перевезень пасажирів у місті, грн.; B – витрати транспортних підприємств на організацію перевезення пасажирів у місті, грн.

Доходи підприємств можна визначати таким чином [8]:

$$\mathcal{D} = Q \cdot T, \quad (4)$$

де Q – обсяг перевезень на маршруті, пас.; T – величина тарифу на перевезення, грн./пас.

Величина тарифів на перевезення пасажирів встановлюється на підставі собівартості за такою формулою [9]:

$$T = S \cdot (1 + R), \quad (5)$$

де S – собівартість перевезень, грн./пас; R – коефіцієнт рентабельності перевезень.

Витрати транспортних підприємств на організацію перевезень визначаються таким чином [9]:

$$B = Q \cdot S, \quad (6)$$

Досягнення раціональних значень параметрів технологічного процесу можливо за рахунок додаткового фінансування транспортних підприємств. Додаткове фінансування можливо за рахунок державних дотацій або шляхом визначення відповідного тарифу, який би компенсував додаткові витрати на підвищення якості. Існуючий стан економічного розвитку країни не дозволяє перевізникам розраховувати на додаткові державні дотації. Внаслідок цього, реально транспортні підприємства можуть отримувати додаткове фінансування для підвищення якості транспортного обслуговування тільки за рахунок підвищення тарифу на перевезення. Як видно з залежностей (4) та (6) величина доходів та витрат визначається на підставі значень обсягу перевезень пасажирів. При цьому, обсяг перевезень є функцією від тарифу:

$$Q = f(T). \quad (7)$$

Однак, підвищення тарифу призводить до зменшення обсягів перевезень пасажирів і, як наслідок, зменшення доходів від перевезень. При цьому, залежність якості перевезення пасажирів від витрат на його виконання має нелінійний характер (рис 2).

Наведене на рис. 2 зменшення прибутку транспортних підприємств повинно компенсуватися муніципальною владою для забезпечення відповідної якості перевезення. Внаслідок цього, система оцінки якості перевезення пасажирів у містах повинна враховувати можливості муніципальної влади фінансово забезпечувати той рівень якості, який вона бажає досягнути.

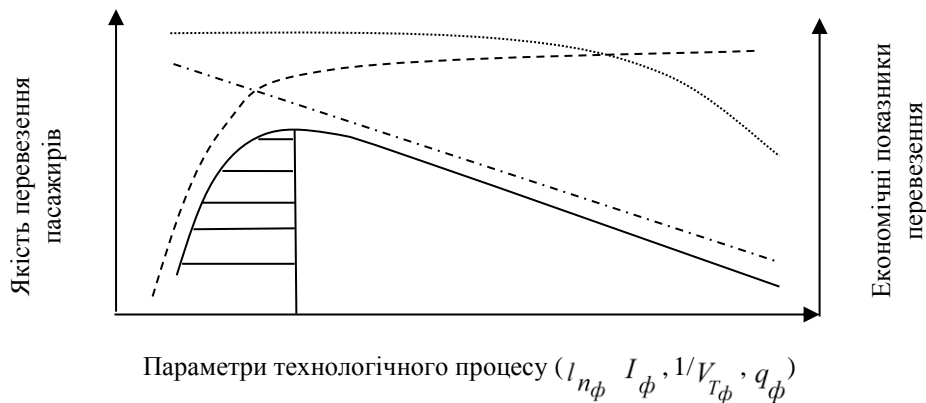


Рис 2. Залежність якості та економічних показників перевезення пасажирів від параметрів технологічного процесу: - інтегрований показник якості; ---- - доходи транспортних підприємств; - - - - - витрати транспортних підприємств; — - прибуток транспортних підприємств; - зона зменшення прибутку транспортних підприємств.

Це повинно бути враховано при розробці системи оцінки якості перевезення пасажирів у містах, яка окрім вимог до рівня якості повинна містити в собі величину фінансових витрат на досягнення відповідного рівня якості.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Організація транспортного обслуговування пасажирів повинна бути орієнтована на задоволення потреб мешканців міст в переміщеннях відповідно з необхідними нормами витрат часу, комфортності, вартості та безпеки. Відповідно до цієї передумови, доцільно, щоб особи, які приймають рішення щодо визначення параметрів технологічного процесу перевезення пасажирів, усвідомлювали вплив даних параметрів на показники якості транспортного обслуговування мешканців міст. Існуючі методи оцінки якості перевезення пасажирів як параметри використовують складові витрат часу пасажирів на пересування та показники умов цього пересування. Однак, планування якості технологічного процесу перевезення пасажирів повинно базуватися на параметрах даного процесу. Це дасть можливість муніципальній владі при проведенні вибору перевізників для кожного маршруту враховувати конкретні показники, які вони зможуть забезпечити своїм рухомим складом. Крім того, при планування якості доцільно враховувати можливість додаткового фінансування транспортних підприємств для компенсації витрат на досягнення рівня якості, якого вимагає влада міста. Запропонований інтегрований показник якості перевезення пасажирів на маршруті міського пасажирського транспорту враховує параметри цього процесу. Визначено, що підвищення якості перевезення пасажирів можливо за рахунок планування раціональних значень довжини перегонів, інтервалу руху, технічної швидкості та місткості транспортних засобів, які працюють на маршруті. Досягнення необхідних значень цих параметрів потребує додаткових витрат перевізників. При цьому, міські транспортні підприємства організовують перевезення мешканців з метою отримання прибутків. Внаслідок цього, підвищення якості цього процесу не повинно зменшувати його економічні показники. Наведена концепція визначення розміру додаткового фінансового забезпечення перевізників муніципальною владою дозволяє розробити систему оцінки якості перевезення пасажирів у містах, у якій разом з вимогами до якості перевезення пасажирів було наведено розмір додаткового фінансування перевізників для його забезпечення.

ВИСНОВКИ

Підвищення якості транспортного обслуговування мешканців міст є одним з головних напрямків діяльності муніципальної влади у сфері транспорту. Для планування рівня якості на маршрутах міського пасажирського транспорту доцільно враховувати показники транспортного процесу перевезення населення міст для можливості транспортних підприємств контролювати досягнений рівень. Запропонований інтегрований показник якості перевезення пасажирів на маршруті міського пасажирського транспорту включає фактичні та раціональні значення довжини

перегону, інтервалу руху, технічної швидкості та кількості пасажирів в салоні транспортного засобу. Для забезпечення необхідного рівня якості, який муніципальна влада бажає досягнути, повинно проводити відповідне фінансове забезпечення. Це повинно бути враховано при розробці системи оцінки якості перевезення пасажирів у містах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Якунина Н. В. Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным автомобильным транспортом / Н. В. Якунина. Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук.: 05.22.10. – Оренбург: Оренбургский государственный университет. – 2014. – 354 с.
2. Павлюк А. В. Ідентифікація методів державного регулювання ринку послуг автомобільного транспорту в регіоні / А. В. Павлюк // *Вісник НАДУ*. – 2015 – № 4. – С. 78-86.
3. Кужель В. П., Іщенко А. П., Бишко М. О. Визначення рівня якості пасажирських перевезень з позиції пасажирів / В. П. Кужель, А. П. Іщенко, М. О. Бишко. – 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://atm.vntu.edu.ua/articles/12.pdf>.
4. Біліченко В. В., Цимбал С. В., Мирниця А. В. Вдосконалення міських пасажирських перевезень шляхом застосування експресного режиму руху / В. В. Біліченко, С. В. Цимбал, А. В. Мирниця. – 2014. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://atm.vntu.edu.ua/articles/2014/68.pdf>.
5. Лежнева О. І. Рациональна організація руху на маршрутах міського пасажирського транспорту / О. І. Лежнева // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – *Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 17 (1060). – С. 37 – 42.
6. Вельможин А. В. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – Волгоград : РПК Политехник, 2001. – 326 с.
7. Курганов В. М. Логистика. Управление автомобильными перевозками. Практический опыт / В. М. Курганов. – Москва : Книжный мир, 2007. – 448 с.
8. Доля В. К. Пасажирські перевезення / В. К. Доля. – Х.: «Видавництво «Форт»», 2011. – 504 с.
9. Бычков В. П. Экономика автотранспортного предприятия / В. П. Бычков. – Москва : ИНФРА, 2006. – 384 с.

REFERENCES

1. Yakunina, N. V. (2014). Metodologiya povysheniya kachestva perevozk passazhirov obshchestvennym avtomobil'nyim transportom. dis. na soiskaniye uchonoy stepeni dokn. tehn. nauk: 05.22.10, 354.
2. Pavlyuk, A. V. (2015). Identyfikatsiya metodiv derzhavnoho rehulyuvannya rynku posluh avtomobil'noho transportu v rehioni. Bulletin of NADU. No. 4. 78-86.
3. Kuzhel', V. P., Ishchenko, A. P., Byshko, M. O. (2013) Vyznachennya rivnya yakosti pasazhyr's'kykh perevezen' z pozytsiyi pasazhyra. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://atm.vntu.edu.ua/articles/12.pdf>.
4. Bilichenko, V. V., Tsymbal, S. V., Myrnytsya, A. V. (2014). Vdoskonalennya mis'kykh pasazhyr's'kykh perevezen' shlyakhom zastosuvannya ekspresnoho rezhymu rukhu. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://atm.vntu.edu.ua/articles/2014/68>.
5. Lezhneva, O. I. (2014). Ratsional'na orhanizatsiya rukhu na marshrutakh mis'koho pasazhyr's'koho transportu. *Visnyk NTU «KHPI»*. – *Seriya: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh*. – Kharkiv: NTU «KHPI». – № 17 (1060). 37 – 42,
6. Vel'mozhin, A. V., Gudkov, V. A., Mirodin, L. B. (2001). Teoriya organizatsii i upravleniya avtomobil'nymi perevozkami: logisticheskiy aspekt formirovaniya perevozochnykh protsessov. – Volgograd : RPK Politekhnik. 326.
7. Kurganov, V. M. (2007) Logistika. Upravleniye avtomobil'nymi perevozkami. Prakticheskiy opyt, – Moskva : Knizhnyy mir. 448.
8. Dolya V. K. (2011) Pasazhyr's'ki perevezennya. – KH.: «Vydavnytstvo «Fort»». 504.
9. Bychkov V.P. (2006). Economy of a motor transport enterprise. - Moscow: INFRA. 384.

T. Melenchuk, Y. Kyryliuk. On the issue of forming a system for assessing the quality of passenger transportation in cities

The analysis of the existing scientific works of domestic and foreign scientists in the field of research of quality of passenger transportation in cities is carried out in the work. The questions of this direction of

scientific researches which need the additional decision are resulted. It is revealed that the existing methods of assessing the quality of passenger transportation as parameters use the components of the time spent by passengers on travel and indicators of the conditions of this movement. It is determined that for planning the quality of the technological process of passenger transportation by the municipal authorities, its assessment should be based on the parameters of this process. This will make it possible to take into account the specific indicators that they will be able to provide with their rolling stock when selecting carriers for each route. Given that improving the quality of the transportation process should not reduce the economic performance of transport companies, the need for additional funding to compensate for the costs of achieving the level of quality required by the city authorities is justified. An integrated indicator of the quality of passenger transportation on the route of urban passenger transport is proposed, which takes into account the parameters of the technological process of passenger transportation. It is determined that improving the quality of passenger transportation is possible by planning rational values of the length of the race, the interval of movement, technical speed and capacity of vehicles operating on the route. The concept of determining the amount of additional financial support for carriers by the municipal authorities allows to develop a system for assessing the quality of passenger transport in cities, which together with the requirements for the level of quality of transport services will provide additional funding for carriers to ensure.

Keywords: quality, transportation, route, passenger, travel conditions, travel parameters, costs, profit, integrated indicator.

МЕЛЕНЧУК Тетяна Михайлівна, доктор технічних наук, доцент, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, завідувач кафедри транспортних технологій та менеджменту, e-mail: tamelenchuk1508@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9843-3132>

КИРИЛЮК Євгеній Володимирович, аспірант кафедри транспортних технологій та менеджменту, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, e-mail: kiriluak20161@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8152-2916>.

Tetiana MELENCHUK, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, Head of the Department of Transport Technologies and Management, e-mail: tamelenchuk1508@gmail.com, e-mail: tamelenchuk1508@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9843-3132>

Yevhenii KYRYLIUK, graduate student of the Department of Transport Technologies and Management, Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, e-mail: kiriluak20161@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8152-2916>.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.394

Монастирський Ю.А., Максимова О.С., Потапенко В.В., Максименко І.С.
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна

АНАЛІЗ АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

Технічна експлуатація кар'єрних самоскидів є важливою складовою експлуатації промислового транспорту. Рівень організації технічного обслуговування й ремонту (ТОР) системи технологічного автотранспорту (СТА) визначає ефективність транспортування гірничої маси і є умовою досягнення тривалого строку служби машин.

Оптимальна організація ТОР можлива за умови проведення системного аналізу, розробки математичної моделі СТА, алгоритму і методики управління процесами планових впливів на кожну машину. Аналіз існуючих моделей виявив ряд недоліків, яких позбавлена створена комплексна математична модель технічної експлуатації системи технологічного автотранспорту, що визначає місце і стан кожного автосамоскида у просторах втрати, підтримання і відновлення працездатності, дозволяє описати процес експлуатації машин із урахуванням усіх технологічних та ресурсних станів техніки, переходів між ними, одночасно досягнувши мінімальних витрат на технічну експлуатацію промислового автотранспорту.

Перед розробкою алгоритму оптимального керування та методики його запровадження, необхідно переконатися в адекватності комплексної математичної моделі та її придатності до відображення виробничих процесів на практиці.

Виконана параметрична ідентифікація моделі, в ході якої отримана збіжність нормативних та розрахованих статистичними і чисельними методами значень параметрів СТА, котра дозволила зробити висновок, що синтезовано адекватну математичну модель технічної експлуатації системи технологічного автотранспорту, яку цілком можливо застосовувати для оптимізації її функціонування.

Розраховані оптимальні керуючі впливи у вигляді інтенсивності планових впливів ТОР на кар'єрні самоскиди та інтенсивностей переходів зі станів планових технічних обслуговувань, ремонтів і поточного ремонту машини у стан роботи дозволяють розробити алгоритм і методику динамічного коригування параметрів ТОР кожного автосамоскида, які стануть надійним інструментарієм для створення адаптивної системи технічної експлуатації кар'єрних самоскидів.

Ключові слова: аналіз адекватності, математична модель, технічна експлуатація, кар'єрний самоскид.

ВСТУП










Позиції відкритого способу розробки корисних копалин зміцнюються, питома вага технологічного автотранспорту, який є складовою транспортно-технологічного комплексу кар'єрів, збільшується. Сучасний глибокий кар'єр, представляючи собою величезне енергоємне господарство, містить значний парк транспортних засобів, які здійснюють перевезення добутої гірничої маси. Переробка значних обсягів корисних копалин, що добувається у кар'єрах, спричиняє багато побічних труднощів, пов'язаних, зокрема, з їх транспортуванням. У зв'язку зі значною глибиною кар'єрів України, транспортувати породу стає все складніше. Тому з усією гостротою встає питання створення надійних і ефективних транспортних систем перевезення гірничої маси [1].

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Понад дві тисячі автосамоскидів БЕЛАЗ працюють на підприємствах України, що складає більше 90% загальної кількості кар'єрних самоскидів усіх виробників, присутніх на нашому ринку. Найбільшими об'єктами, які експлуатують техніку БЕЛАЗ є залізорудні гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) Криворізького залізорудного басейну (Кривбасу), де зосереджено біля третини усього українського парку машин [2], у тому числі понад 200 машин із електромеханічною трансмісією вантажопідйомністю 120-220т, котрі забезпечують основний обсяг транспортування гірничої маси. За останні п'ять років придбано 184 одиниці техніки марки "БЕЛАЗ" (табл. 1), із них 109 кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ-75131 вантажопідйомністю 130 т.

Особливістю досліджуваної системи технологічного автотранспорту є те, що вона складається з парку кар'єрних самоскидів і функціонує по певних трактах, які задаються конфігурацією доріг для вивозу добутої гірничої маси. Аналітичний огляд основних робіт, спрямованих на вдосконалення

Таблиця 1 Поповнення парку Кривбасу технікою марки "БЕЛАЗ" у 2016-2020 роках

Модель, вантажопідйомність, об'єм	2016р.	2017р.	2018р.	2019р.	2020р.	2016-2020 рр.
 БЕЛАЗ-78221 | 10 т, 6 м ³	1		3			4
 БЕЛАЗ-78231 | 10 м ³			2	5		7
 БЕЛАЗ-7540В | 30 т		1	4	4		9
 БЕЛАЗ-7647 | 32 м ³		2	11	4		17
 БЕЛАЗ-7547 | 42-45 т	4	7	6	9	1	27
 БЕЛАЗ-7555В | 55 т		1	2	2		5
 БЕЛАЗ-76135 | 119 м ³				3		3
 БЕЛАЗ-7413 | 50-75 т		1	2			3
 БЕЛАЗ-75131 | 130 т	18	32	26	24	9	109
Всього:	23	44	56	51	10	184

системи технічної експлуатації технологічного автотранспорту (планування технічного обслуговування й ремонту, зменшення поточних ремонтів (ПоР)) виявив недостатній рівень її організації стосовно кар'єрних самоскидів особливо великої вантажопідйомності [3-5].

Незважаючи на наявність значної кількості теоретичних досліджень, відсутні комплексні математичні моделі, які б дозволяли описати експлуатацію машин із урахуванням усіх технологічних та ресурсних станів техніки, переходів між ними, процесів втрати, підтримання та відновлення працездатного стану і одночасно досягти мінімальних витрат на технічну експлуатацію промислового автотранспорту.

Розроблена математична модель експлуатації кар'єрного самоскида БЕЛАЗ для різних рівнів організації технічного обслуговування, діагностування й ремонту, яка відтворює марківський процес, що протікає у системі технологічного автотранспорту й дозволяє обчислювати ймовірності станів машини залежно від часу та у стаціонарних режимах [6, 7].

На основі системного підходу досліджене функціонування кар'єрних самоскидів. Моделювання станів і переходів машин дозволило обчислити ймовірності станів системи залежно від часу, дало можливість сформулювати мету і функціонал прибутку від експлуатації системи, описуваної трьома основними станами кар'єрних самоскидів. Варіюючи параметрами функціонала можна досягнути раціональної вартості роботи транспортної системи [8].

На основі розробленої математичної моделі автотранспортної системи залізрудного кар'єру, яка враховує технологічні стани парку автосамоскидів БЕЛАЗ шляхом розрахунків імовірнісних числових характеристик цих станів, синтезоване управління технічною експлуатацією системи на базі економічного критерію, як екстремальної задачі з урахуванням обмежень, пов'язаних із технологічними станами системи [1].

Надійність СТА кар'єру є основним показником як для ефективного управління функціонуванням автосамоскидів, так і для виробництва в цілому. Тривала й надійна робота автосамоскидів можлива за умови своєчасного, систематичного і якісного проведення технічного обслуговування й ремонту, тому обґрунтування параметрів функціонування технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів, яке дозволить знизити витрати на технічну експлуатацію автосамоскидів є актуальним науковим завданням.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціллю досліджень є підвищення ефективності експлуатації технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів шляхом застосування обґрунтованих параметрів технічного обслуговування й ремонту. Задача вдосконалення системи ТОР відноситься до планування й розробки методів управління технічним обслуговуванням і ремонтом рухомого складу, оптимізації за критерієм мінімізації наведених витрат на послугу "транспортування гірничої маси".

Об'єктом досліджень є процеси технічної експлуатації промислового технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів, а предметом – взаємозв'язок параметрів технічного обслуговування й ремонту та техніко-економічних показників технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз системи технологічного автотранспорту глибокого кар'єру дозволив зробити висновок, що на її ефективність особливий вплив має керуючий параметр, який характеризує та визначає інтенсивність λ (рис. 1) проведення планових технічних обслуговувань і ремонтів [7].

Тому представляється доцільним дослідити взаємозв'язок цього параметра з іншими параметрами, які характеризують функціонування систем технологічного автотранспорту гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізрудного басейну.

Із цієї метою необхідно підтвердити можливість управління ефективністю СТА шляхом коригування керуючого параметра на основі контролю керованих параметрів. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування й ремонту є одним із основних заходів програми забезпечення надійності кар'єрних самоскидів та політики в області якості ВАТ «БЕЛАЗ».

Ідентифікація системи технологічного автотранспорту виконана на прикладі публічного акціонерного товариства «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПАТ «ЦГЗК»), у якому протягом 2015 року працювали 5 нових гарантійних і 44 негарантійних кар'єрних самоскиди БЕЛАЗ-75131 (по 22 машини в гірничотранспортних цехах (ГТЦ) №1 і №2).

Негарантійні кар'єрні автосамоскиди БЕЛАЗ – ті, для яких з початку експлуатації настала одна із трьох подій: календарний час 12 місяців або напрацювання 6 000 мотогод чи пробіг 60 000 км. Такі машини транспортують біля 700 м³ гірничої маси за зміну та до 1 500 м³ за добу.

Аналіз функціонування автосамоскидів БЕЛАЗ у кар'єрах ПАТ «ЦГЗК» указує на доцільність проведення параметричної ідентифікації системи технологічного автотранспорту, яка дозволить,

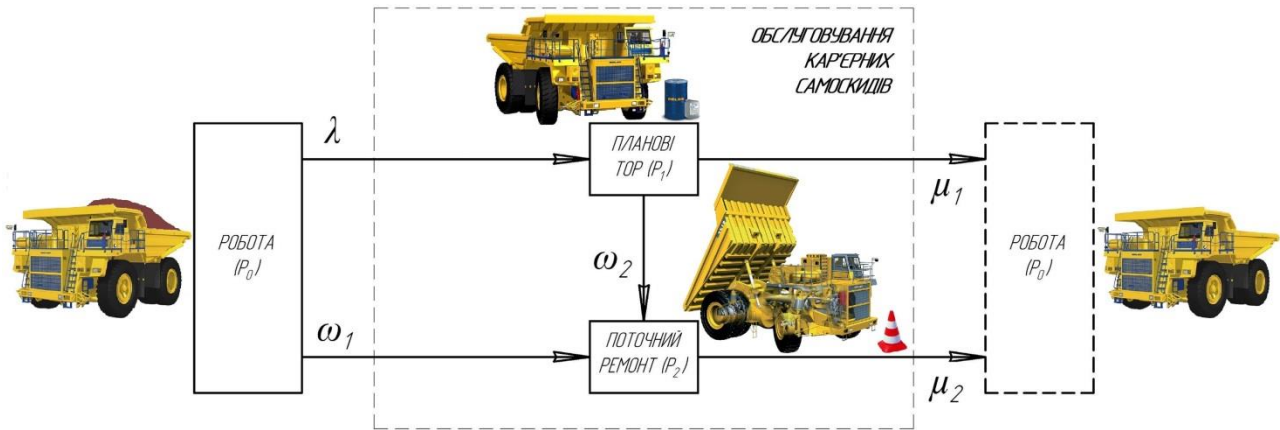


Рисунок 1 – Блок обслуговування кар'єрних автосамоскидів БЕЛАЗ за наявності впливу підблоку ТОР на підблок ПоР

λ – інтенсивність переходів кар'єрного автосамоскида зі стану роботи у стан планових ТОР;
 ω_1 – інтенсивність переходів кар'єрного автосамоскида зі стану роботи у стан непланових (ПоР);
 ω_2 – інтенсивність переходів самоскида зі стану ТОР у стан ПоР;
 μ_1, μ_2 – інтенсивності повернень самоскида у стан роботи зі станів планових ТОР і непланових ПоР

спираючись на відповідний статистичний матеріал, визначити величини параметрів математичної моделі СТА як результат структурної ідентифікації.

Критерій оптимальності СТА – мінімум трудомісткості виконаних робіт ТОР

$$C = c_1 \cdot N_1 \cdot T_1 + c_2 \cdot N_2 \cdot T_2 \rightarrow \min_{\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2}, \quad (1)$$

де c_1 і c_2 – середні трудомісткості планових технічних обслуговувань і ремонтів та непланових поточних ремонтів автосамоскидів відповідно, люд·год; N_k – число автосамоскидів у k -му стані; T_k – час перебування самоскидів у k -му стані, ($k=1; 2$). Цей критерій дозволяє реалізувати завдання оптимального управління та базується на створеній математичній моделі, яка відтворює марківський процес, що протікає у системі технологічного автотранспорту [8].

Однак попередньо необхідно довести, що можна користуватися реалізацією математичної моделі функціонування СТА у вигляді марківського процесу. Із цією метою розглянемо завдання ідентифікації з функціоналом [9], який мінімізується за тими ж параметрами $\lambda, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2$, що і критерій оптимальності СТА (1):

$$\sum_{i=1}^N ((t_{0i} - T_i \cdot P_0)^2 + (t_{1i} - T_i \cdot P_1)^2 + (t_{0i} - T_i \cdot P_0) \cdot (t_{1i} - T_i \cdot P_1)) \rightarrow \min_{\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2}, \quad (2)$$

де T_i – час спостереження за технологічними станами i -го кар'єрного самоскида, мотогод; t_{0i}, t_{1i}, t_{2i} – сумарний фактичний час знаходження i -го кар'єрного самоскида у кожному із трьох технологічних станів протягом часу T_i , мотогод; $P_0 = P_0(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2)$, $P_1 = P_1(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2)$, $P_2 = P_2(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2)$ – ймовірності знаходження кар'єрного самоскида у кожному з трьох технологічних станів [7].

Знаходження величин параметрів $\lambda, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2$, тобто розв'язання задачі параметричної ідентифікації СТА, проводимо шляхом мінімізації функціонала непогодженостей (2). Для зручності подальших розрахунків запишемо цей функціонал у вигляді

$$Q(P_0, P_1) = \sum_{i=1}^N T_i^2 \cdot \left(\left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right)^2 + \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right)^2 + \left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right) \cdot \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right) \right) \rightarrow \min_{\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2} \quad (3)$$

і застосовуємо відповідні ймовірності P_0 , P_1 як параметри, де $P_0 = P_0(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2)$, $P_1 = P_1(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2)$.

Шляхом мінімізації функціонала (3) за визначеними параметрами знаходимо оптимальні величини як результат параметричної ідентифікації СТА. Враховуючи досить простий вигляд функціоналу (3), завдання мінімізації вирішуємо аналітично. Згідно до необхідної умови існування екстремуму, прирівнюємо частинні похідні за параметрами P_0 і P_1 нулю

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial P_0} Q(P_0, P_1) = \sum_{i=1}^N T_i^2 \cdot \left(-2 \cdot \left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right) - \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right) \right) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial P_1} Q(P_0, P_1) = \sum_{i=1}^N T_i^2 \cdot \left(-2 \cdot \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right) - \left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right) \right) = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2 \cdot P_0 \cdot \overline{T^2} + P_1 \cdot \overline{T^2} = 2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}; \\ P_0 \cdot \overline{T^2} + 2 \cdot P_1 \cdot \overline{T^2} = 2 \cdot \overline{T \cdot t_1} + \overline{T \cdot t_0}. \end{cases}$$

У результаті маємо систему двох лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} 2 \cdot P_0 + P_1 = \frac{1}{\overline{T^2}} \cdot (2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}); \\ P_0 + 2 \cdot P_1 = \frac{1}{\overline{T^2}} \cdot (\overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}). \end{cases}$$

Розв'язуємо цю систему за формулами Крамера, у відповідності до яких система двох лінійних рівнянь із двома невідомими P_0 і P_1 , визначником матриці системи, який не дорівнює нулю

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 3 \neq 0$$

та визначниками

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} \frac{2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} & 1 \\ \frac{\overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} & 2 \end{vmatrix} = \frac{4 \cdot \overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1} - \overline{T \cdot t_0} - 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_0}}{\overline{T^2}},$$






$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 2 & \frac{2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \\ 1 & \frac{\overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \end{vmatrix} = \frac{2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + 4 \cdot \overline{T \cdot t_1} - 2 \cdot \overline{T \cdot t_0} - \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}}$$

має рішення у вигляді:

$$P_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_0}}{3 \cdot \overline{T^2}} = \frac{\overline{T \cdot t_0}}{\overline{T^2}}, P_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{3 \cdot \overline{T^2}} = \frac{\overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}}, P_2 = 1 - \frac{\overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}}. \quad (4)$$

У таблиці 2 наведені статистичні дані про роботу підконтрольних автосамоскидів БЕЛАЗ у кар'єрах ПАТ «ЦГЗК» протягом 2015 року (для полегшення проведення параметричної ідентифікації було обрано 4 автосамоскида ГТЦ-1 із господарчими номерами: 324, 325, 326, 327). Апробація досліджень виконується в рамках договорів про співпрацю університету та підприємств компанії "МЕТІНВЕСТ", крім того компанією надані фактичні дані роботи структурних підрозділів за останні роки підчас студентського кейс-чемпіонату в гірничовидобувній галузі, який проводився в 2018-2019 навчальному році. Враховуючи середні значення параметрів, визначених у таблиці 2, за формулами (4) отримуємо значення ймовірностей знаходження автосамоскидів у стані роботи, планових технічних обслуговуваннях і ремонтах та непланових поточних ремонтах відповідно

Таблиця 2 Дані про роботу підконтрольних кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ на ПАТ «ЦГЗК» для проведення параметричної ідентифікації

№ самоскида, <i>i</i>	Господарчий № самоскида	Час спостереження за технологічними станами <i>i</i> -го кар'єрного самоскида T_i , мотогод	Сумарний час t_{ki} знаходження <i>i</i> -го самоскида у кожному із трьох технологічних станів протягом часу T_i , мотогод			Елементи функціонала, мотогод ²		
			t_{0i}	t_{1i}	t_{2i}	T_i^2	$T_i \cdot t_{0i}$	$T_i \cdot t_{1i}$
1		8760	6950	940	870	76737600	60882000	8234400
2		8760	7100	880	780	76737600	62196000	7708800
3		8760	7120	930	710	76737600	62371200	8146800
4		8760	7150	980	630	76737600	62634000	8584800
Середні значення		8760	7080	932,5	747,5	$\overline{T^2} = 76737600$	$\overline{T \cdot t_0} = 62020800$	$\overline{T \cdot t_1} = 8168700$

$$P_0 = \frac{\overline{T \cdot t_0}}{\overline{T^2}} = \frac{62020800}{76737600} = 0,808; \quad P_1 = \frac{\overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} = \frac{8168700}{76737600} = 0,106; \quad P_2 = 1 - P_0 - P_1 = 1 - 0,808 - 0,106 = 0,086. \quad (5)$$

Відповідно до «Положення» [10] для кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ маємо нормативні ймовірності знаходження машин у стані роботи, планових ТОР та непланових ПоР відповідно

$$P_0 = \frac{7200}{8760} = 0,822; \quad P_1 = \frac{900}{8760} = 0,103; \quad P_2 = \frac{660}{8760} = 0,075, \quad (6)$$

які є достатньо близькими до відповідних значень параметричної ідентифікації (5).

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Значення отриманих величин ймовірностей (5) дозволяє зробити висновок про досить задовільний опис математичною моделлю системи технологічного автотранспорту, тобто вважати модель адекватною. Аналіз функціонала (3) указує на його нелінійну залежність від параметрів, величини яких оптимізуються. Внаслідок цього, було вирішено застосувати чисельні методи для розв'язання завдання мінімізації функціонала (2) – мінімізації непогодженостей. За допомогою обчислювального блока Given-minimize системи автоматизованого проектування Mathcad [11], у першому наближенні знайдені величини параметрів, за яких досягається мінімум функції сумарних непогодженостей:

$$\lambda^* = 0,00003015; \mu_1^* = 0,0002289; \mu_2^* = 0,057; \omega_1^* = 0,006; \omega_2^* = 0.$$

При цьому відповідні ймовірності:

$$P_0 = P_0(\lambda^*, \omega_1^*, \omega_2^*, \mu_1^*, \mu_2^*) = 0,808, P_1 = P_1(\lambda^*, \omega_1^*, \omega_2^*, \mu_1^*, \mu_2^*) = 0,106 \quad (7)$$

співпали із результатами параметричної ідентифікації (5).

Аналіз функціонування блоку «Обслуговування кар'єрних самоскидів» (рис. 1) указує на те, що під час проведення діагностики ТОР зазвичай не виникає потреби виконання ПоР ($\omega_2 \approx 0$), тобто спостерігається незалежність функціонування підблоків ТОР і ПоР. У такому випадку блок «Обслуговування кар'єрних самоскидів» отримує уточнений вигляд (рис. 2).

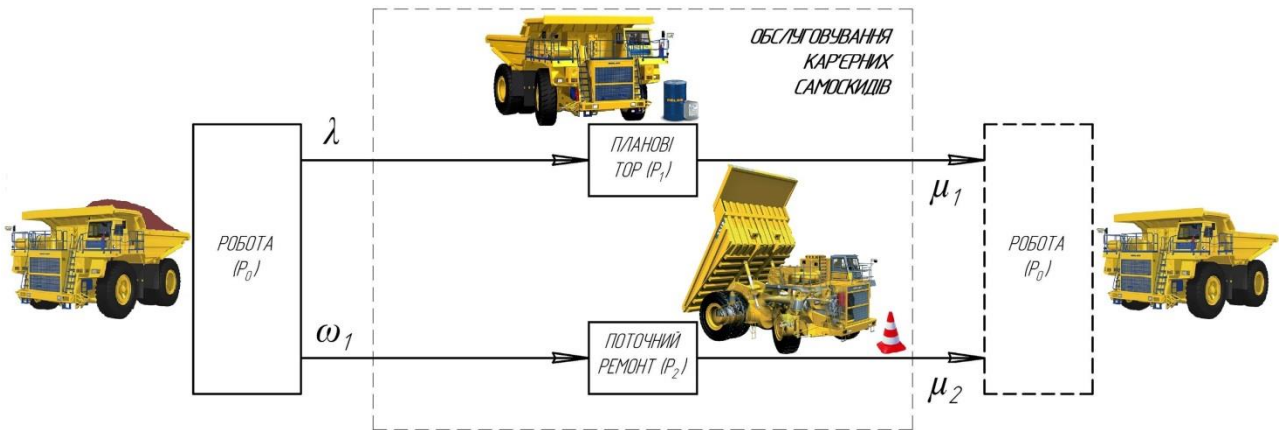


Рисунок 2 – Блок обслуговування кар'єрних автосамоскидів БЕЛАЗ за відсутності впливу підблоку ТОР на підблок ПоР

Враховуючи відсутність взаємного впливу підблоків ТОР і ПоР ($\omega_2 \approx 0$) та визначені границі припустимих значень нормативних параметрів технічного обслуговування й ремонту технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів Криворізького залізничного басейну, за допомогою обчислювального блока Given-minimize Mathcad знаходимо у другому наближенні величини параметрів, за яких досягається мінімум функції сумарних непогодженостей (4.2):

$$\lambda^* = 0,001817; \mu_1^* = 0,014; \mu_2^* = 0,014; \omega_1^* = 0,00143.$$

При цьому ймовірності станів склали величини

$$P_0 = P_0(\lambda^*, \omega_1^*, \mu_1^*, \mu_2^*) = 0,812, P_1 = P_1(\lambda^*, \omega_1^*, \mu_1^*, \mu_2^*) = 0,105, \quad (8)$$

які також є достатньо близькими до відповідних значень параметричної ідентифікації (5).

ВИСНОВКИ

Ураховуючи отриману збіжність нормативних (6) та розрахованих статистичними (5) та чисельними методами значень параметрів СТА (7) і (8), можна зробити висновок, що синтезовано адекватну математичну модель системи технологічного автотранспорту, яку цілком можливо застосовувати для оптимізації функціонування СТА.

Розраховані оптимальні керуючі впливи у вигляді інтенсивності планових впливів ТОР на кар'єрні самоскиди та інтенсивностей переходів зі станів планових технічних обслуговувань,

ремонтів і поточного ремонту машини у стан роботи дозволяють розробити алгоритм і методику динамічного коригування параметрів TOP кожного автосамоскида, які стануть надійним інструментарієм для створення адаптивної системи технічної експлуатації кар'єрних самоскидів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Монастирський Ю.А. Синтез управління технічною експлуатацією автотранспортної системи залізрудного кар'єру / Ю.А. Монастирський, В.В.Потапенко // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : наук. журн. / Луц. нац. техн. ун-т. – Луцьк, 2016. – № 1 (5). – С. 110-116.
2. Монастирський Ю.А. Эксплуатация и сервисное обслуживание карьерной техники «БЕЛАЗ» в Украине / Ю.А. Монастирский // Горный журнал. – М., 2013. – №1. – С. 78-80.
3. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб. : Наука, 2004. – 429 с.
4. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л.Мариев, А.А.Кулешов, А.Н.Егоров, И.В.Зырянов. – СПб.: Наука, 2006. – 387 с.
5. Карьерные самосвалы особо большой грузоподъемности. Проектирование, технологии, маркетинг / П.Л.Мариев [и др.]. – Минск : Интегралполиграф, 2008. – 320 с.
6. Monastyrskiy, Y. A., & Potapenko, V. V. (2015). Modeling of technological conditions and analysis of events of functioning BELAZ open pit trucks. Metallurgical and Mining Industry, 7(8), 480-484.
7. Монастирський Ю.А. Математична модель експлуатації кар'єрного самоскида БЕЛАЗ / Ю.А. Монастирський, В.В.Потапенко // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2015. – № 2 (219). – С. 73-77.
8. Монастирський Ю.А. Системний підхід як метод дослідження функціонування кар'єрних самоскидів / Ю.А. Монастирський, В. М. Серебренников, В.В.Потапенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. –ISSN 2079-0066. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 9 (1118). – С. 38-44.
9. Монастирський Ю.А. Ідентифікація параметрів моделі автотранспортної системи кар'єру / Ю.А. Монастирський, В.В.Потапенко // Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів: матер. Всеукраїнської наук.-практ. конф., Одеса – Коблево, 8-11 вересня 2015 року: збірник тез доповідей / – Одеса, Військова академія, 2015. – С. 166-168.
10. Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ / РУПП «Белорусский автомобильный завод». А. Н. Егоров [и др.]; под общ. ред. А. Н. Егорова – Жодино : РУПП “БелАЗ”, 2004. – 38 с.
11. Mathsoft Mathcad 11. Users guide, 473 (2002).

REFERENCES

1. Yu. Monastyrskiy, V. Potapenko. (2016). Synthesis of management of technical operation of motor transportation system of iron ore open pit. Advances in Mechanical Engineering and Transport. 7(8), 110-116.
2. Monastyrskiy, Y. A. (2013). Exploitation and after-sales service of open pit equipment "BELAZ" JSC in Ukraine. Gornyi Zhurnal, (1), 78-80. Retrieved from www.scopus.com
3. P.L. Mariev, A.N. Kuleshov, A.N. Egorov, Opencast avtotransp. status and prospects (Science, Spb., 2004).
4. P.L. Mariev, A.N. Kuleshov, A.N. Egorov, Opencast avtotransp. of CIS in 21 century (Science, Spb., 2006).
5. P.L. Mariev, Heavy-duty min. dump trucks. Des., technology, marketing (Interpolygraph, Minsk, 2008).
6. Monastyrskiy, Y. A., & Potapenko, V. V. (2015). Modeling of technological conditions and analysis of events of functioning BELAZ open pit trucks. Metallurgical and Mining Industry, 7(8), 480-484. Retrieved from www.scopus.com
7. Monastyrskiy Yu., Potapenko V. (2015). Modelling of elements of transport system of dump trucks BELAZ. Visnik of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University 2(219), 73-77. ISSN 1998-7927.
8. Monastyrskiy, Y., Serebrenykov, V., Potapenko, V. (2015). System approach as a research method of open pit truck functioning. The bulletin of NTU "KhPI". Series: Car and tractor construction. – Kharkiv: NTU "KhPI", (9), 38-44. ISSN 2079-0066.

9. Yu. A. Monastyrskiy, Identification of parameters of open pit transportation system model. Paper presented at the Novitni shlyahi stvorenniya, tehnicnoyi ekspluatatsiyi, remontu i servisu avtomobiliv (The cutting-edge ways of vehicles design, operation, repair and service), Viyskova akademiya, Odessa, 8-11 September 2015.
10. Polozhenie o tehnicесkom obsluzhivanii, diagnostike, remonte karernyih samosvalov BelAZ (Regulation on the maint., diagnosis and repair of BelAZ min. dump trucks ("BelAZ", Zhodino, 2004).
11. Mathsoft Mathcad 11. Users guide, 473 (2002).

Yu. Monastyrskiy, O. Maksymova, V. Potapenko, I. Maksymenko, Analysis of the appropriate model of the system of technological motor transport. Open-pit truck technical operation is an essential component of the industrial transport operation. The organization level of the system of maintenance and repair of technological automotive transport specify the effectiveness of mined bulk transportation and play a role of vehicles long-term service condition. The optimal organization of maintenance and repair is probable in case of system analysis providing, technological automotive transport system development, algorithm and technique of control of scheduled actions on every vehicle. The analysis of current models showed the number of shortcomings from which designed a complex mathematical model of technological automotive transport maintenance and repair system is free that determine position and state of every open-pit truck in space of loss of function, maintenance and recovery, permit a description of vehicles operation considering technological and resourceful states of equipment, state transitions there between, at the same time finding a way of minimization of industrial transport service costs. Before the design of an optimal control algorithm and technique of its implementation, the verification of complex mathematical model adequacy and its availability in the real world has required. The parametric identification of the model is carried out during which the convergence of specified values of technological automotive transport system parameters with values calculated by statistical and numerical methods was obtained. It arrived at the conclusion that adequacy model of technological automotive transport system technical operation was produced which can be used for its functioning optimization.

The calculated optimal controlling actions in terms of the degree of scheduled actions of maintenance and repair on the open-pit trucks and level of transitions from preventive maintenance states to operation state allow developing an algorithm and technique for dynamic adjustment of parameters of maintenance and repair of every open-pit truck that will become the reliable basis for adaptive open-pit truck operation system design.

The keywords: adequacy analysis, mathematical model, technical operation, open-pit truck.

МОНАСТИРСЬКИЙ Юрій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, e-mail: monastirskiy08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8282-3929>

МАКСИМОВА Олена Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, e-mail: maxlenser@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7253-0105>

ПОТАПЕНКО Володимир Володимирович, старший викладач кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, e-mail: romantihk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1439-1017>

МАКСИМЕНКО Іван Сергійович, аспірант Криворізького національного університету, e-mail: ivan2020maksimenko@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8285-9606>

Yuri MONASTYRSKIY, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: monastirskiy08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8282-3929>

Olena MAKSYMOMA, PhD in Engineering, Associate Professor of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: maxlenser@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7253-0105>

Volodymyr POTAPENKO, Senior lecturer of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: romantihk@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1439-1017>

Ivan MAKSYMENKO, Graduate Student of Kryvyi Rih National University, e-mail: ivan2020maksimenko@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8285-9606>

DOI: 10.36910/automash.v2i15.395

УДК 656.078
UDC 656.078

Попович П.В.¹, Побережний Л.Я.², Мурований І.С.³, Шевчук О.С.¹, Прогній П.Б.¹,
Побережна Л.Я.², Плотиця В.М.⁴

¹Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна; ²Івано – Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано – Франківськ, Україна; ³Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна; ⁴Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМФОРТУ В ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ М. ТЕРНОПОЛЯ

Незважаючи на те, що комфорт є одним із найважливіших факторів формування попиту на громадський транспорт, чинником зручності часто нехтується при проектуванні транспортних мереж, а також при оцінці експлуатаційних показників. В міських пасажирських перевезеннях, зокрема для середніх міст, вибір пасажирями виду транспорту для поїздок залежить, окрім тривалості подорожі, також від множини важливих показників. Для покращення розуміння кількісних та якісних показників при використанні громадського транспорту транспортна послуга повинна бути розроблена так, щоб вона відповідала рівню очікуваних клієнтами послуг, що забезпечить оптимальну капіталізацію при реалізації транспортної послуги. Дане дослідження є основою формування політики перевезень пасажирів громадським транспортом з позиції максимального комфорту населення з розробкою основ вимірювання сприйняття найважливіших факторів зручності громадського транспорту, мінімального дискомфорту і максимальної безпеки. На базі проведених натурних досліджень з застосуванням визначників дискомфорту і вагових коефіцієнтів визначено кількісні показники сприйняття комфорту в мережі громадського транспорту м. Тернополя, що може бути використано для прогнозування поведінки пасажирів в користуванні міським громадським транспортом. Визначено, що сумарний рівень комфортності в системі громадського транспорту м.Тернополя є змінним в залежності від багатьох факторів, найважливішим з яких є щільність пасажирів в салоні транспортного засобу натовпу в години пік, хоча для оптимального проектування мереж громадського транспорту доцільно враховувати всю множину показників комфорту. Результати дослідження є основою розуміння відношення пасажирів і сприйняття комфорту при послугах міського громадського транспорту, їх може бути використано як інструмент при плануванні і експлуатації транспортних мереж середніх міст.

Ключові слова: пасажирські перевезення, маршрут, рівень комфорту, громадський транспорт, пасажиропотік.

ВСТУП

В пасажирських перевезеннях вибір пасажирями виду транспорту для їхніх поїздок залежить, окрім тривалості подорожі, також від багатьох інших показників. Для покращення розуміння кількісних а також якісних показників при поїздах громадським транспортом дана послуга повинна бути спроектована и запропонована таким чином, щоб вона відповідала рівню очікуваних пасажирями послуг, це забезпечить оптимальні прибутки при продажі поїздки перевізником. Отже, доцільним є проведення досліджень сприйняття пасажирями якості поїздок та удосконалення політики перевезень населення громадським транспортом з оцінкою комфорту у системі громадського транспорту середніх міст шляхом використання множини якісних і кількісних показників. Важливим буде встановити забезпечення можливості більш повного розуміння ставлення пасажирів до сприйняття якості транспортної послуги як фактору зручності послуг міського пасажирського транспорту.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З метою збільшення рівня безпеки, а також зменшення рівня дискомфорту у громадському транспорті, транспортна послуга має проектуватися таким чином, щоб відповідність очікуванням пасажирів була максимально адекватною [1 - 9]. Проведені дослідження з використанням моделі дискомфорту дозволяють коректно прогнозувати вибір пасажирями виду транспорту також їхню

поведінку при користуванні громадським транспортом у середніх містах, проте вони мають ряд суттєвих недоліків – дослідження пасажиропотоків проведено з застосуванням непрямих методів, використовуючи інформацію операторів стільникового зв'язку, також дані диспетчерських служб [9, 10, 11, 12], на цій основі виникатиме ряд суттєвих похибок як наслідок неточностей та припущень. Комфорт громадського транспорту в країнах Євросоюзу контролюється стандартом якості EN 13816 - стандарт обслуговування в громадському транспорті, який оцінює рівень задоволеності пасажирів за переліком таких факторів як зручність, доступність, інформування, час/тривалість, обслуговування клієнтів, комфорт їзди, безпека та вплив на навколишнє середовище. Стандарт ISO 2631-1 регулює дотримання механічних показників (рівень шуму від кочення коліс, ін.), тому він використовується при проектуванні транспортних засобів. Загальновідомо, в Україні при проектуванні транспортних мереж до уваги приймаються тільки тривалість поїздки пасажира до пункту призначення. Незважаючи на те, що зручність пасажирів і безпека є базовими факторами попиту для громадського транспорту, таким показником, як зручність в нас зазвичай нехтується при проектуванні транспортних систем середніх міст, хоча на практиці вибір пасажирами громадського транспорту визначається багатьма чинниками.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

На території України налічується близько 66 міст [3, 4], які можна віднести до категорії середніх [3], площа міст з чисельністю мешканців від 50000 - 250000 чоловік становить до 65 квадратних кілометрів. Для такого міста, як Тернопіль, основним пасажиропотокам властиві діаметральні, або радіальні напрямки, щільність населення знаходиться в межах 113,1 чол./кв.км. За інформацією [5, 6, 7, 8], місто має 38 транспортних районів, загальна кількість автобусних маршрутів громадського транспорту становить 37, вони обслуговуються 197 од. автобусів, кількість зупиночних пунктів – 218 од., загальна довжина автобусної маршрутної мережі – 647, 7 км. Встановлено, автобусний парк громадського транспорту комплектується транспортними засобами малої пасажиромісткості типу “Богдан А092”, “Еталон”, кожен з яких має місткість 42 пасажири. У пікові години по всій мережі громадського транспорту спостерігали перевантаження транспорту - коефіцієнт заповнення становив більше 100%, причому середньодобовий коефіцієнт знаходився в межах 60-80%.

Відомо, при міських пасажирських перевезеннях рекомендується дотримуватись заповнення салону автобуса відповідно до передбаченої конструкцією транспортного засобу максимальної кількості пасажирів. Таке навантаження транспортного засобу позитивно впливатиме на навантаження металоконструкції та ходової частини, осей розширюючи зони комфортності коливання шин, збільшуючи ресурс роботи транспортних засобів [10, 12-16]. Необхідно вдосконалювати політику міських перевезень населення для досягнення оптимального рівня комфорту у громадському транспорті. Показниками рівня комфорту населення при використанні громадського транспорту у проектуванні транспортної мережі міста практично не враховуються, завжди нехтуються, особливо при пасажирських перевезеннях у середніх містах, вважаючи, що такий показник, як час їздки буде єдиним показником який впливатиме на вибір пасажиром виду транспорту [9- 11]. Дослідження було проведено двома етапами робіт – камеральному, а також експериментальному - проведено збір та обробку даних, отриманих у результаті обстеження пасажирських потоків. Суцільні натурні дослідження табличним методом, який, в порівнянні з існуючими, є найбільш трудомістким, проте єдиним, який може забезпечити максимальну точність інформації про пасажирів для подальшої камеральної обробки отриманих статистичних даних досліджуваної системи автобусних маршрутів громадського транспорту м. Тернополя. Важливо, що дані дослідження пасажиропотоків на автобусних маршрутах міського громадського транспорту в м. Тернополі проведено як суцільні натурні дослідження табличним методом. Для здійснення аналізу досліджуються шість обертових рейсів на кожному діючому маршруті транспортної мережі міста у періоди: піковий ранковий - з 6.30- 10.00 год., міжпіковий - з 10.00 до 16.00 год., піковий вечірній - з 16.00 до 19.30 год. Досліджено особливості зміни пасажиропотоку по годинах доби, днях тижня, нерівномірність пересування пасажирів у часі і просторі по місту з початкової до кінцевої зупинки, а також оцінка основних пересадочні пункти міста, спосіб оплати за проїзд: готівковий чи безконтактний, пільговий. Період досліджень - 7 календарних днів, з 04.11.19 по 11.11.19 року, зміни пасажиропотоку визначаються окремо у робочі і вихідні дні. Час проведення: 6.30 - 19.30 год. В салоні перебував один обліковець, працюючи у маршрутному транспортному засобі починаючи з першої зупинки, розміщуючись за задніми дверима автобуса. Всі одержані дані по пасажирообігу і способу оплати, а також інформацію про вид транспорту, на якому проводяться дослідження, номер

маршруту, напрямок руху транспортного засобу - прямий чи зворотній напрям, час початку і закінчення рейсу, час руху автобуса між зупинками, марку рухомого складу, обліковець самостійно, по факту записував у сформовану дослідниками картку обліку. Дослідженнями мережі громадського транспорту м. Тернополя, визначено основні базові показники мобільності пасажирів, які можуть бути характерними для середніх міст, що добре корелює з [17], наприклад, більше нуля, менше 45, в ідеалі 16 - кількість хвилин, яку пасажир вважають за краще проводити на маршрутах, згідно з дослідженнями.

Отже:

- швидкість притоку пасажирів на зупинку у між пікові періоди 1пас/хв, у години пік 4 пас/хв.;
- час очікування транспортного засобу до 10 хв.;
- час поїздки від периферійних районів до центру 30-35 хв. ;
- час поїздки між периферійними районами до 60 хв.;
- години пік ранкові 8.00-9.00 год., вечірні 16.30-18.30 год.;
- розрахункова швидкість переміщення пасажирів у автобусах міста 15-20 км/год.

Одержана інформація була внесена для подальшого опрацювання у сформовану спеціальну карту обліку, потім проводилися обчислення для ділянок руху між зупиночними пунктами кожного досліджуваного маршруту (табл. 1)

Таблиця 1. Досліджувані маршрути громадського транспорту у м. Тернополі

№з/п	№ маршруту	Найменування маршруту	Довжина маршруту, км	Час	Інтерв., хв	Кільк. тр. засобів на маршрут., шт.
1	2	3	5	6	7	8
1	1А	Винниченка-Слівенська	6,1	06:12 — 21:25	8	8
2	2	Миру-Бродівська	10,29	06:12 — 20:20	40	2
3	3	Миру-Міська лікарня №2	9,32	06:10 — 21:26	8 хв	5
4	4	Лесі Українки-Новий світ		06:39 — 08:48	52	1
5	5	Лучаківського-В. Березовиця	11,69	06:00 — 20:42	17	4
6	5А	Лучаківського- село Острів	14,87	06:08 — 21:05	24	4
7	6	Новий Світ-Автовокзал	4,36	06:55 — 21:16	16	4
8	6А	Новий Світ-Автовокзал		06:34 — 21:37	52	1
9	7	Автовокзал-Обласна дитяча лікарня	7,88	06:15 — 21:01	12	6
10	8	С. Біла – Містечко Шляховиків	15,5	05:54 — 22:52	8	10
11	9	Новий Світ-Автовокзал	8,56	06:04 — 09:08	52	1
12	11	Довженка- Обласна психоневрологічна лікарня	10,43	06:07 — 22:41	12	6
13	12	Карпенка- Протасевича	8,97	05:52 — 20:54	8	9
14	13	Симоненка- Автовокзал	6,98	05:58 — 23:52	5	10
15	14	Автовокзал- Лесі Українки	6,75	06:34 — 22:44	6	11
16	15	Злуки- Миру	8,43	06:10 — 22:50	7	9
17	16	Київська- Винниченка	9,23	05:58 — 23:52	7	11
18	17	СелоКутківці- Автовокзал	4,88	06:12 — 21:15	60	1
19	18	ТРЦ «Подолляни»- Містечко Шляховиків	18,87	05:57 — 23:53	7	15
20	19	ТРЦ «Подолляни» Винниченка	12,08	06:33 — 22:57	7	11

Продовження таблиці 1

1	2	3	5	6	7	8
21	20	Київська- Автовокзал	7,01	05:43 — 22:31	8	8
22	22	ТРЦ «Подoliaни» Автовокзал	7,61	05:34 — 22:08	6	10
23	22А	ТРЦ «Подoliaни» Автовокзал		06:14 — 21:38	64	1
24	23	Село Пронятин Автовокзал	8,03	05:52 — 21:00	30	3
25	25	Золотогірська- Лесі Українки	9,36	06:02 — 22:50	10	6
26	26	Лучаківського- БГ «Епіцентр»	10,73	06:24 — 09:39	25	3
27	27	Обласна психоневрологічна лікарня- Симоненка	10,17	06:20 — 22:37	9	9
28	28	Ринок- Лучаківського	3,91	08:42 — 17:31	13	3
29	29	Вербицького- Автовокзал	3,69	06:12 — 19:30	11	5
30	30	Обласна психоневрологічна лікарня- Корольова	10,17	10:00 — 18:20	15	5
31	31	Містечко Шляховиків- Міська лікарня №3	12,58	06:57 — 20:40, у вихідні до 19:30	28	3
32	32	Мазепи- Міське кладовище		10:12 — 16:40	60	1
33	33	Видавництво «Збруч»- Обласний геріатричний будинок-інтернат	6,7	06:24 — 20:30	30	2
34	34	Міська лікарня №2- Село Біла	7,06	06:24 — 19:37	31 51	2
35	35	Винниченка- Винниченка	12,5	06:07 — 20:34	10	8
36	36	Міська лікарня №2- Автовокзал	8,35	07:03 — 18:09	33 66	2
37	85	Село Гаї Шевченківські- Автовокзал		07:00 — 21:00	90	1

Проведеними дослідженнями встановлено, ступінь безконтактної (банківські картки, гугл пей) оплати за проїзд становив від 60% до 74% загального числа пасажирів, які оплачували проїзд, за винятком пільгових категорій населення, при пасажирських перевезеннях на маршрутах громадського транспорту у місті. Визначено, що час руху транспортного засобу між ділянками маршрутів, для всіх досліджуваних, знаходився у межах 2 -2,3 хвилини, в залежності від дорожньої обстановки, де межами ділянок є зупинки громадського транспорту. Мультикритеріальним аналізом транспортної мережі встановлено: коефіцієнт пересадочності пасажирів 1,1; коефіцієнт непрямолінійності 1,76; середній час очікування 5,8 хв.; маршрутний коефіцієнт 4,60; середній час пересування 33 хв.; середня відстань пересування 4,3 км., що корелює з даними, одержаними дещо раніше [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оптимальним для формування політики міських перевезень населення громадським транспортом з позиції оптимізації за критерієм оптимального рівня комфорту при раціональній завантаженості є застосування даних досліджень найскладнішого з позиції максимальної завантаженості маршруту (рис. 1) при перевезеннях населення міста за показниками найбільшої кількості пасажирів, відстані та часу перевезення, який лімітує одночасне перебування в закритому просторі - салоні маршрутного транспортного засобу людей. Для даного маршруту коефіцієнт непрямолінійності, середній час очікування, середній час пересування, середня відстань пересування є вищими від вказаних вище середніх значень. Встановлено, що таким є маршрут, що з'єднує два периферійні райони на діаметрально протилежних сторонах міста Тернопіль, №18.

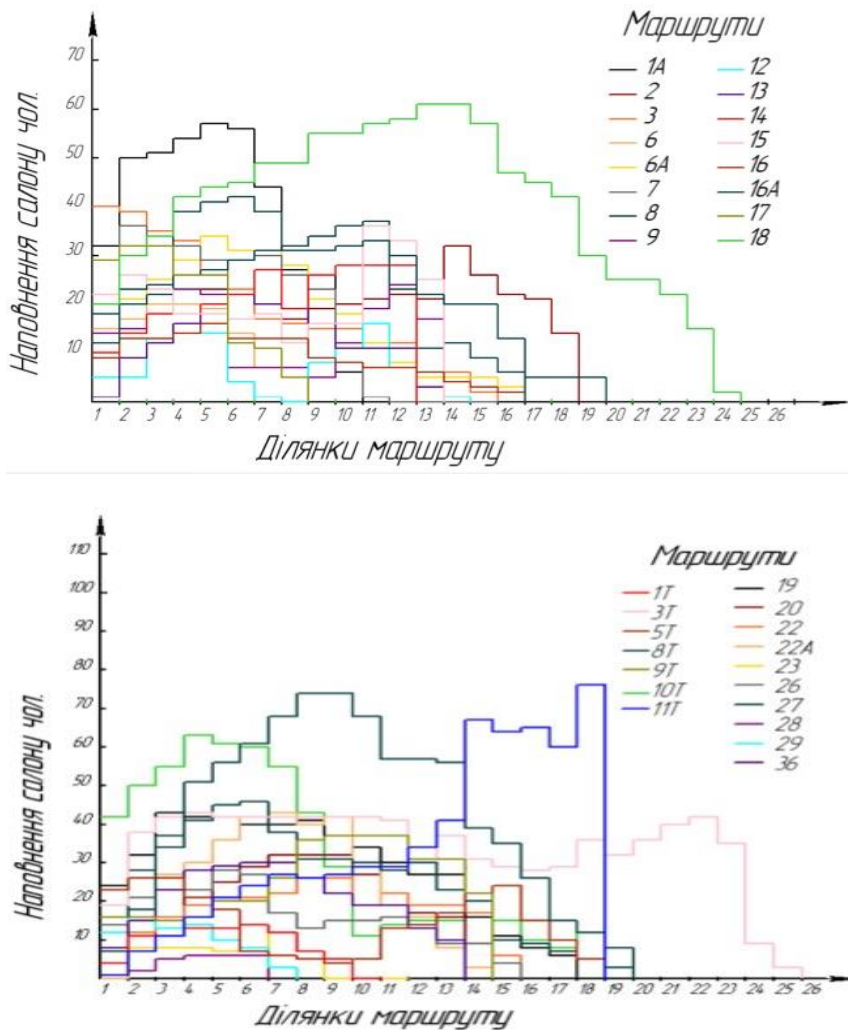


Рисунок 1. Нерівномірність пасажиропотоку для вказаного транспортного засобу за ділянками маршруту

В [9] функція рівня переповненості як функція дискомфорту розраховується з урахуванням пасажиромісткості транспортних засобів, враховуючи кількість місць для сидіння і тривалість поїздки. Розглядалися різні варіанти поїздок, при першому вільних сидячих місць не було, при другому було одне місце для сидіння і при третьому варіанті пасажиромісткість транспортного засобу за рахунок великої кількості пасажирів використовувалася на 100%. В роботі [10] запропоновано оцінювання переповненості шляхом вимірювання рівня переповненості за значенням коефіцієнта навантаження і кількості стоячих пасажирів на один квадратний метр, хоча часто такий показник нормований і враховується виробниками транспортних засобів ще на етапі проектування. При тому, що умовне порогове значення – одиниця буде перевищене, функція дискомфорту ростиме за експоненціальним законом [10]. Можливо, раціональним також буде апроксимувати закон зміни функції дискомфорту поліномом третього (четвертого) степеня моделюючи дану ситуацію.

Для відображення сприйняття пасажирів рівня комфорту у громадському транспорті, в [11] моделюється лінійне підвищення рівня дискомфорту до порогового значення і при його перевищенні з наступним зростанням за експоненціальним законом.

Рівень дискомфорту, рис.2, 3, є функцією розрахункової щільності пасажирів в транспортному засобі [11]

$$x = \begin{cases} \alpha & \text{if } \alpha \leq 1 \\ e^\alpha & \text{if } \alpha > 1 \end{cases} (1)$$

де рівень кількості пасажирів в транспортному засобі (x) обчислюється на основі показника α

$$\alpha = \frac{\text{Number of passengers in vehicle}}{\text{Vehicle capacity}} \quad (2)$$

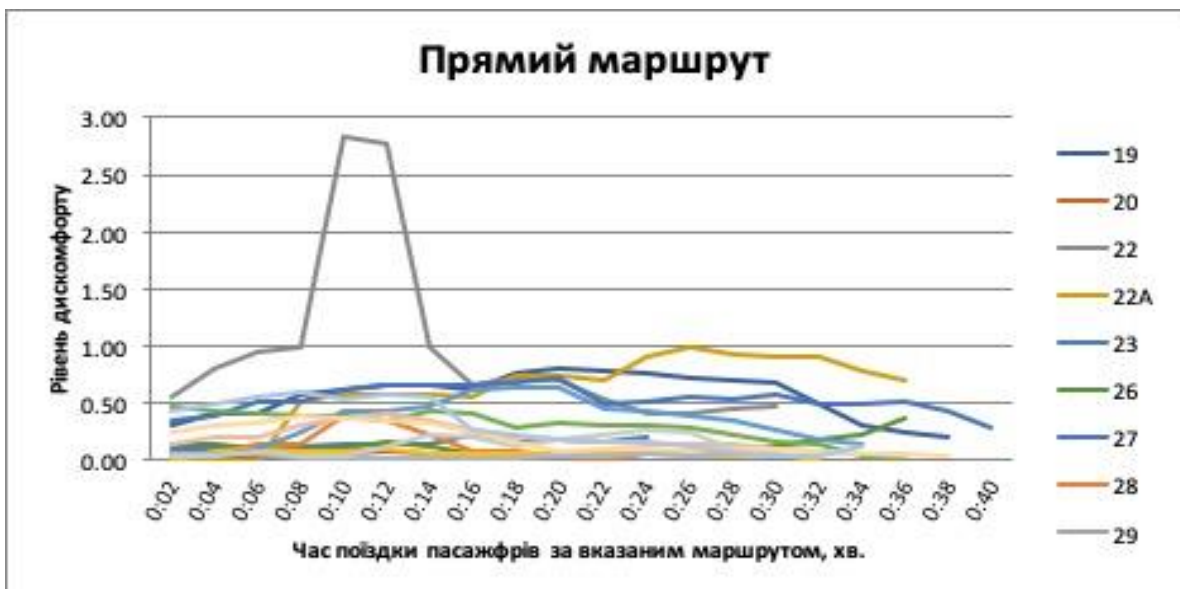


Рисунок 2. Загальний рівень дискомфорту як функція щільності пасажирів за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту: прямі маршрути



Рисунок 3. Загальний рівень дискомфорту як функція щільності пасажирів за часом у поїзді маршрутом громадського пасажирського транспорту: зворотні маршрути

При реалізації (1), (2), на рис. 2,3,4 представлено графічне зображення загального рівня дискомфорту як функції щільності пасажирів в транспортному засобі в часі поїздки дослідженими маршрутами вказаного виду транспорту для прямої та зворотної поїздки.

Для подальшого оцінювання дискомфорту рекомендовано методу зважених сум, функція набуватиме кусково-лінійної форми, рівень сумарного дискомфорту пасажирів що знаходяться в салоні транспортного засобу в процесі транспортування [11]

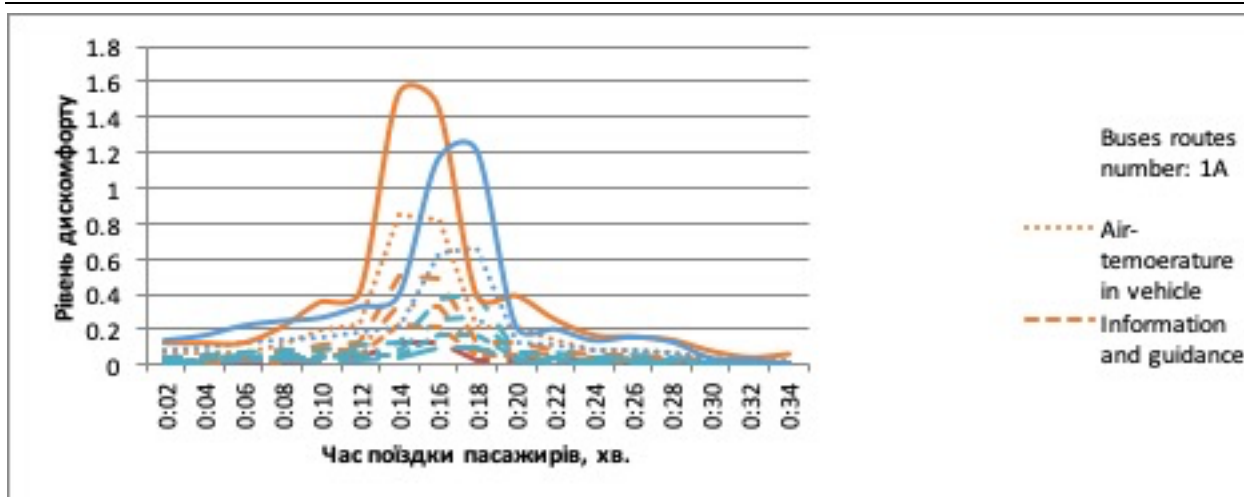
$$f(x) = \sum_i w_i \cdot x_{it}(3)$$

де x_{it} - значення i -го визначника дискомфорту в t -й відлік часу, w_i - величина i -го вагового коефіцієнта, x_{it} обчислюється з (1).

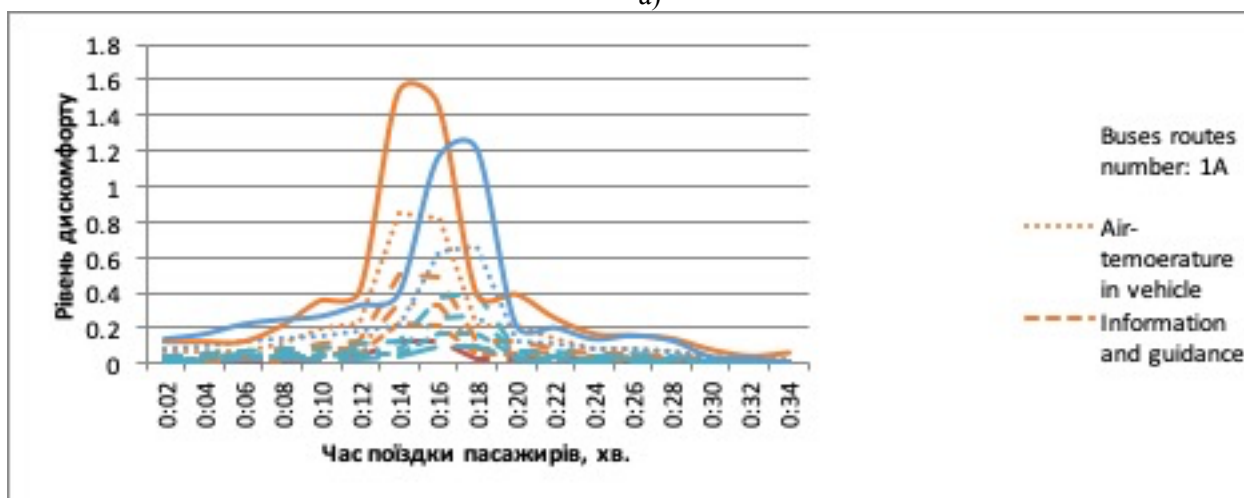
За даними обліковців, якими проведено опитування у м. Тернополі, встановлено, що важливим при виборі пасажиром транспортного засобу, а також маршруту з можливих, є показник комфорту від сидіння, їхати стоячи у салоні опитані пасажирі бажали менше. З урахуванням даних опитування, а також даних досліджень Şükrü İmre and Dilay Çelebi [11] для нас прийнято значення комфорту від сидіння 0.0556, що, очевидно, корелює з комфорту від сидіння 0.0615 для T1 та комфорту від сидіння 0.0762 для M2 [11]. Отже, значення вагових коефіцієнтів важливості: скупченість у транспортному засобі 0.4053; температура повітря в салоні транспортного засобу 0.2243; комфорт від сидіння 0.0556, інформування і вказівки 0.0590; чистота в транспортному засобі 0.1324; технічний стан T3 0.0899; поломки 0.0335 [11].

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Компонентний аналіз рівня дискомфорту відповідно маршрутів мережі громадського пасажирського транспорту проведений для маршрутів на яких встановлене умовне порогове значення - одиниця - було перевищене (рис. 4): 1A, 18, 22.



а)



б)

Рисунок 4. Аналіз рівня дискомфорту за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту: а) прямі маршрути; б) зворотні маршрути

При реалізації (3), рис. 4, компонентним аналізом досліджено функції дискомфорту в часі поїздки дослідженими маршрутами вказаного виду транспорту для прямої та зворотної поїздки. Функції рівнів дискомфорту під час поїздки наведени на рисунках 4 та 5. Як видно з графіків, кількісні показники за величиною комфорту змінюються найбільше у залежності від наповнення салону, температури повітря в салоні та комфорту від сидіння не змінюючись за тривалістю поїздки пасажирів. Однак зручність транспорту не обов'язково означає вибір пасажирів. Індекс також може бути корисним для порівняння комфортності видів громадського транспорту для конкретних досліджуваних міст.

Дослідженнями [9-11] встановлено, що приватний автомобіль є важливим з причини, що володіння і поїздки таким транспортним засобом представляють традиційні культурні і психологічні цінності, статус, також самостійне водіння є психологічною перевагою над громадським транспортом, окремі групи населення з таких причин зупиняють вибір на автомобілі.

ВИСНОВКИ

Потреба в мобільності населення міст є однією з базових потреб, яку необхідно якісно забезпечити. На базі проведених у м. Тернополі натурних досліджень з застосуванням визначників комфорту та вагових коефіцієнтів визначено кількісні показники сприйняття комфорту в мережі громадського транспорту м. Тернополя, що може бути використано для прогнозування поведінки пасажирів при користуванні громадським транспортом у середніх містах. Результати досліджень можуть бути використані як інструмент при плануванні і експлуатації транспортної мережі міста. Визначено, що сумарний рівень комфортності в системі громадського транспорту м.Тернополя є змінною величиною, що залежить від семи факторів, найважливішим з яких є щільність пасажирів в салоні транспортного засобу натовпу. Враховуючи встановлені шляхом мультикритеріального

аналізу транспортної мережі характерні для середніх міст показники перевезень людей у громадах - рівень дискомфорту, коефіцієнт заповнення транспортного засобу, середній час перевезення, середню відстань перевезення, для оптимального проектування мереж громадського транспорту доцільно враховувати вказану множину показників комфорту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://nacto.org>
2. Шевчук О. С. Порушення при облаштуванні паркувальних місць транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міста// Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2016. - No 1. - С. 167-171.
3. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
4. http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf
5. https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf
6. <https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
7. <http://bus.ck.ua/avtobus.html>
8. Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами/ О.С. Шевчук // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – № 169. – С. 205– 209.
9. Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing . *Transportation Research Part B* , 1-18.
10. Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicle Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering* , 1-13.
11. Şükrü İmre and Dilay Çelebi. (2017). Measuring Comfort in Public Transport: A case study for Istanbul. *Transportation Research Procedia*, 25, 2441–2449.
12. Popovych P, Lyashuk O, Shevchuk O, et al. (2017). Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. *INMATEH – Agric Eng*, 52(2), 113–118.
13. Lytvynenko, I.V., Maruschak, P.O., Lupenko, Popovych P.V. (2016). Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy. *Mater Science*, 52, 113-122.
14. Popovych, P., Shevchuk, O., Dzyura, V., Poberezhna, L., Dozorsky, V., Hrytsanchuk, A. (2018). Assessment of the Influence of Corrosive Aggressive Cargo Transportation on Vehicle Reliability. *International Journal of Engineering Research in Africa* 38, 17–25.
15. Maruschak, P., Poberezhny, L., Prentkovskis, O., Bishchak, R., Sorochak, A., & Baran, D. (2018). Physical and mechanical aspects of corrosion damage of distribution gas pipelines after long-term operation. *Journal of failure analysis and prevention*, 18(3), 562-567.
16. Yavorskyi, A. V., Karpash, M. O., Zhovtulia, L. Y., Poberezhny, L. Y., Maruschak, P. O., & Prentkovskis, O. (2016). Risk management of a safe operation of engineering structures in the oil and gas sector. In *Proceedings of the 20th International Scientific Conference „Transport Means*, 370-373.
17. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, et.al (2018). Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15.1, 4880-4892.
18. Sekulić, D., Dedović, V., Rusov, S., Obradović, A., Šalinić, S. (2016). Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *Int. J. Ind. Ergon.* 53, 328–339.
19. https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSXEhJNpMS_I
20. Міністерство інфраструктури України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mintrans.gov.ua>.

REFERENCES

1. <https://nacto.org>
2. Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry` oblashtuvanni parkoval`ny`x misc` transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhniij merezhi mista. Suchasni tehnologiyi v mashynobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.
3. DBN B.2.2-12:2019 Planuvannya ta zabudova tery`torij: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
4. http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf
5. https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf
6. <https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>

7.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>

8. Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku ruhu vulychno-dorozhnyh mrezhamy. *Visnyk HNTUSG*, 169, 205–209.

9. Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing. *Transportation Research Part B*, 1-18.

10. Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicle Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 1-13.

11. Şükür İmre and Dilay Çelebi. (2017). Measuring Comfort in Public Transport: A case study for Istanbul. *Transportation Research Procedia*, 25, 2441–2449.

12. Popovych P, Lyashuk O, Shevchuk O, et al. (2017). Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. *INMATEH – Agric Eng*, 52(2), 113–118.

13. Lytvynenko, I.V., Maruschak, P.O., Lupenko, Popovych P.V. (2016). Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy. *Mater Science*, 52, 113-122.

14. Popovych, P., Shevchuk, O., Dzyura, V., Poberezhna, L., Dozorsky, V., Hrytsanchuk, A. (2018). Assessment of the Influence of Corrosive Aggressive Cargo Transportation on Vehicle Reliability. *International Journal of Engineering Research in Africa* 38, 17–25.

15. Maruschak, P., Poberezhny, L., Prentkovskis, O., Bishchak, R., Sorochak, A., & Baran, D. (2018). Physical and mechanical aspects of corrosion damage of distribution gas pipelines after long-term operation. *Journal of failure analysis and prevention*, 18(3), 562-567.

16. Yavorskyi, A. V., Karpash, M. O., Zhovtulia, L. Y., Poberezhny, L. Y., Maruschak, P. O., & Prentkovskis, O. (2016). Risk management of a safe operation of engineering structures in the oil and gas sector. In *Proceedings of the 20th International Scientific Conference „Transport Means*, 370-373.

17. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, et al (2018). Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15.1, 4880-4892.

18. Sekulić, D., Dedović, V., Rusov, S., Obradović, A., Šalinić, S. (2016). Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *Int. J. Ind. Ergon.* 53, 328–339.

19. https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSXEhJNpMS_I

20. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, official website, available at: www.mintrans.gov.ua

P. Popovych, O. Shevchuk, L. Poberezhny, I. Murovani, P. Prohniy, L. Poberezhna, V. Plotytsia. Research of comfort in public transport of Ternopil

The comfort of public transport in the EU is controlled by the quality standard EN 13816 - a standard of public transport service, which assesses the level of passenger satisfaction on a list of factors such as convenience, accessibility, information, time / duration, customer service, ride comfort, safety and environmental impact. ISO 2631-1 regulates the observance of mechanical parameters (noise level from rolling wheels, etc.), so it is used in the design of vehicles. It is well known that in Ukraine, when designing transport networks, only the duration of the passenger's trip to the destination is taken into account. Although passenger comfort and safety are basic factors in demand for public transport, an indicator such as convenience is usually neglected in the design of medium-sized transport systems, although in practice passengers' choice of public transport is determined by many factors. Despite the fact that comfort is one of the most important factors in shaping the demand for public transport, the convenience factor is often neglected in the design of transport networks, as well as in the assessment of performance. In urban passenger transport, in particular for medium-sized cities, passengers' choice of mode of transport for travel depends, in addition to the duration of the trip, also on many important indicators. To improve the understanding of quantitative and qualitative indicators when using public transport, the transport service should be designed so that it corresponds to the level of services expected by customers, which will ensure optimal capitalization in the implementation of transport services. This study is the basis for the formation of a policy of passenger transport by public transport from the standpoint of maximum comfort of the population with the development of basics for measuring the perception of the most important factors of public transport convenience, minimum discomfort and maximum safety. On the basis of field research using the determinants of discomfort and weights, quantitative indicators of the perception of comfort in the public transport network of Ternopil were determined, which can be used to predict the behavior of passengers in the use of public transport. It is determined that the total level of comfort in the public transport system of Ternopil is variable depending on many factors, the most important of which is the density of passengers in

the passenger compartment during rush hour, although for optimal design of public transport networks it is advisable to take into account many comfort indicators. A private car is important because owning and traveling such a vehicle is a traditional cultural and psychological value, status, and self-driving is a psychological advantage over public transport, some groups for this reason stop choosing a car. The results of the study are the basis for understanding the attitude of passengers and the perception of comfort in urban public transport services, they can be used as a tool in the planning and operation of transport networks of medium-sized cities.

Keywords: passenger transportation, route, comfort level, public transport, passenger traffic.

ПОПОВИЧ Павло Васильович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

ПОБЕРЕЖНИЙ Любомир Ярославович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії, Івано – Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано – Франківськ, Україна, e-mail: lubomyrpoberezhny@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6197-1060>

МУРОВАНИЙ Ігор Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: igor_intu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

ШЕВЧУК Оксана Степанівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

ПРОГНІЙ Павло Богданович, кандидат технічних наук, ст.викл. кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovuch@gmail.com

ПОБЕРЕЖНА Любов Ярославівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Івано – Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано – Франківськ, Україна, e-mail: lubomyrpoberezhny@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4944-0192>

ПЛОТИЦЯ Володимир Мирославович, магістрант кафедри транспортних технологій та механіки, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна, e-mail: xr5067695@gmail.com

Pavlo POPOVYCH, Doctor of Sciences, Professor, Professor of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Lubomyr POBEREZHZNY, Doctor of Sciences, Professor, Professor of Chemistry department, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail: lubomyrpoberezhny@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6197-1060>

Igor MUROVANYI, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: igor_intu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

Oksana SHEVCHUK, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

Pavlo PROHNII, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovuch@gmail.com

Liubov POBEREZHZNA, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Ecology department, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail: lubomyrpoberezhny@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4944-0192>

Volodymyr PLOTYTSIA, Master's student of the Department of Transport Technologies and Mechanics Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: xr5067695@gmail.com

DOI: 10.36910/automash.v2i15.396

Постранський Т.М., Афонін М.О., Бойків М.В.
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

ВПЛИВ ПРОЕКТОВАНОЇ СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ КРУГОВОГО РУХУ НА НЕРЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ НА ТРИВАЛІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАТРИМКИ

Щорічне збільшення рівня автомобілізації призводить надмірного навантаження на вулично-дорожню мережу (ВДМ) населених пунктів. Це призводить до появи різного роду проблем соціального та економічного характеру, зокрема збільшується кількість та тривалість транспортних заторів, рівень забруднення навколишнього середовища продукцією роботи автомобільного транспорту, тривалість руху пасажирів громадського транспорту тощо. На сьогодні одним з найпрогресивніших шляхів боротьби з вищезазначеними проблемами є ефективна організація руху громадського транспорту. Це дозволяє скоротити обсяги користування індивідуальним транспортом (легковими автомобілями) і, як наслідок, знизити показники існуючих транспортних потоків. Також, згідно цього постає завдання, щодо реорганізації існуючої та проектування нової ВДМ. Проте це потребує значних фінансових витрат та, часто, є неможливим у населених пунктах з історичною забудовою. Тому, у таких випадках альтернативою для покращення умов руху є покращання існуючих схем організації дорожнього руху.

У роботі розглянуто один з варіантів реорганізації ділянки ВДМ, зокрема влаштування кругового руху на нерегульованому перехресті міської вулиці. Зокрема, для прикладу обрано існуюче перехрестя м. Львів. У якості програмного забезпечення для моделювання існуючих та проєктованих умов руху, обрано продукт німецької компанії PTV Group – PTV Vissim. За допомогою цього програмного забезпечення встановлено вплив проєктованої схеми організації на тривалості перебування транспортного засобу (ТЗ) в заторі та довжину його черги.

Ключові слова: схема організації дорожнього руху, PTV Vissim, тривалість транспортної затримки, довжина черги.

ВСТУП

Організація дорожнього руху повинна забезпечувати швидкий та аварійний пропуск учасників дорожнього руху, зокрема ТЗ, велосипедистів та пішоходів. Проте під час їх створення необхідно враховувати як планувальні параметри ВДМ, так і наявність відповідних фінансових ресурсів. Тому, чітко визначити межі цієї діяльності досить складно. На сьогодні до таких заходів відносять: створення умов першочергового пропуску громадського транспорту, каналізацію дорожнього руху, перепланування транспортних вузлів, облаштування острівців безпеки, влаштування зупинок громадського транспорту, створення системи світлофорної сигналізації, встановлення різних технічних засобів, впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом тощо. Проте під час здійснення цих проєктних рішень першочергово враховується безпека та зручність руху і мінімізація будь яких затримок [1]. Таким чином організація дорожнього руху та її схеми є значним інструментом щодо врегулювання транспортних та пішохідних потоків на мережі населеного пункту.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Часто в якості недоліку існуючих схем організації дорожнього руху виступають транспортні затримки в русі. Вони являють собою зниження швидкості сполучення, або часті вимушені зупинки, у порівнянні з можливими оптимальними значеннями на досліджуваній ділянці ВДМ. При цьому, необхідно зазначити, що тривала транспортна затримка часто перетворюється у транспортний затор. Це призводить до сповільнення транспортного потоку та максимального його ущільнення. Передумовою цьому часто виступає надмірне зростання інтенсивності руху [2].

На сьогодні у різних джерелах зазначаються різні поняття терміну «транспортний затор». Але в більшості випадків вони відображають явище транспортного процесу, коли інтенсивність потоку автомобілів перевищує розрахункове значення пропускну здатності автомобільної дороги чи вулиці. При цьому, із збільшенням показника інтенсивності руху спостерігається збільшення впливу автомобілів один на одного. Таким чином рухомі одиниці в щільному транспортному потоці рухаються в режимі «слідування за лідером». За таких умов автомобілі об'єднуються в групи і рухаються колонами. Така ситуація часто спостерігається на ділянках ВДМ населених пунктів з ускладненими елементами плану і поздовжнього профілю дороги, наявністю кривих малого радіуса, підйомів і спусків, ділянок з обмеженою видимістю, вузьких місць на проїжджій частині, перехрещень в одному рівні з проблемами в існуючих схемах організації дорожнього руху тощо [3].

Усі причини виникнення транспортних заторів можна розділити на дві групи чинників [4]:

- пов'язані з безпосереднім рухом транспортного потоку (мікрорівень);
- пов'язані з попитом населення на пересування (макрорівень).

Для вирішення вищезазначених проблем здійснюють проектування та удосконалення автомобільних доріг. Під час моделювання транспортних потоків головним завданням є розроблення гнучкої і якісної логістичної системи міста. При цьому, вивчення дорожніх вузлів, з точки зору режиму руху, навантаження окремих ділянок та пропускної здатності, має вагоме значення [3, 5, 6].

На сьогодні для моделювання руху можуть застосовуватися як математичні моделі (стохастичні та детерміновані), так і відповідне програмне забезпечення (PTV Vissim, PTV Visum тощо). Модулювання руху транспортних потоків на ВДМ може здійснюватися на мікро- та макрорівнях. Для локального моделювання, широкого застосування отримала програма PTV Vissim. Вона дозволяє здійснювати точне моделювання переміщення ТЗ, з подальшою візуалізацією результатів, за існуючих та проєктованих схем організації дорожнього руху, зокрема [5, 6]:

- порівнювати геометрію перехрестя;
- аналізувати схеми пріоритетності громадського транспорту
- розглядати ефективність роботи світлофорної сигналізації тощо.

Ефективність транспортної мережі залежить від продуктивності характеристики різних її складових. Тому, для підвищення ефективності схем організації руху на перехрестях, необхідно створювати імітаційні моделі які відображатимуть їх роботу. Це дозволить більш точно прогнозувати зміну параметрів руху на ньому, ніж аналітичний його опис [7]. Це дозволяє стверджувати, що для перепланування схеми перехрестя необхідно крім аналітичних розрахунків ще й створити імітаційну модель для визначення максимальної довжини черги ТЗ на всіх його підходах.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є виявлення закономірності зміни параметрів затримки у транспортному потоці на підходах до перехрестя за умови впровадження схеми організації кругового руху на нерегульованому перехресті міських вулиць.

Для досягнення вищезазначеної мети роботи, необхідне вирішення таких задач:

- провести натурні дослідження первинних показників транспортного потоку на ВДМ;
- здійснити моделювання роботи перехрестя вулиць у програмному середовищі PTV Vissim за існуючої та проєктованої схем організації дорожнього руху;
- визначити закономірності зміни параметрів затримки у транспортному потоці на підходах до перехрестя за існуючої та проєктованої схем організації дорожнього руху.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під транспортним дослідженням розуміють комплекс видів діяльності, при яких відбувається збір інформації про параметри дорожнього або іншого видів транспорту. Метою збору інформації є отримання вихідних даних для подальшого покращення умов дорожнього руху, зокрема [1, 4, 8]:

- планування;
- проектування;
- модернізації доріг та споруд.

Їх необхідно проводити для збору інформації, яка дозволить здійснювати покращення умов на ділянках ВДМ, з дотриманням безпеки руху, техніко-економічних показників, впливу на навколишнє середовище тощо. Особливістю методологій проведення транспортних досліджень є те, що кількість завдань, які потрібно виконати на ВДМ є досить великою. Слід зазначити, що збільшення кількості сучасних засобів вимірювання дозволяє дещо зменшити трудомісткість процесу замірів показників транспортних потоків [9].

У роботі за об'єкт дослідження обрано нерегульоване Т-подібне перехрестя магістральної вулиці загальноміського значення та магістральної вулиці районного значення (рис. 1а). Заміри фактичної інтенсивності руху транспортних потоків проведено методом оперативного обліку протягом однієї години пікового періоду доби. За результатами збору інформації про інтенсивність руху транспортних засобів на досліджуваній ділянці ВДМ, отримано дані наведені на рис. 2. На основі цього створено проєктовану схему кругового руху на об'єкті дослідження (рис. 1б).

а

б

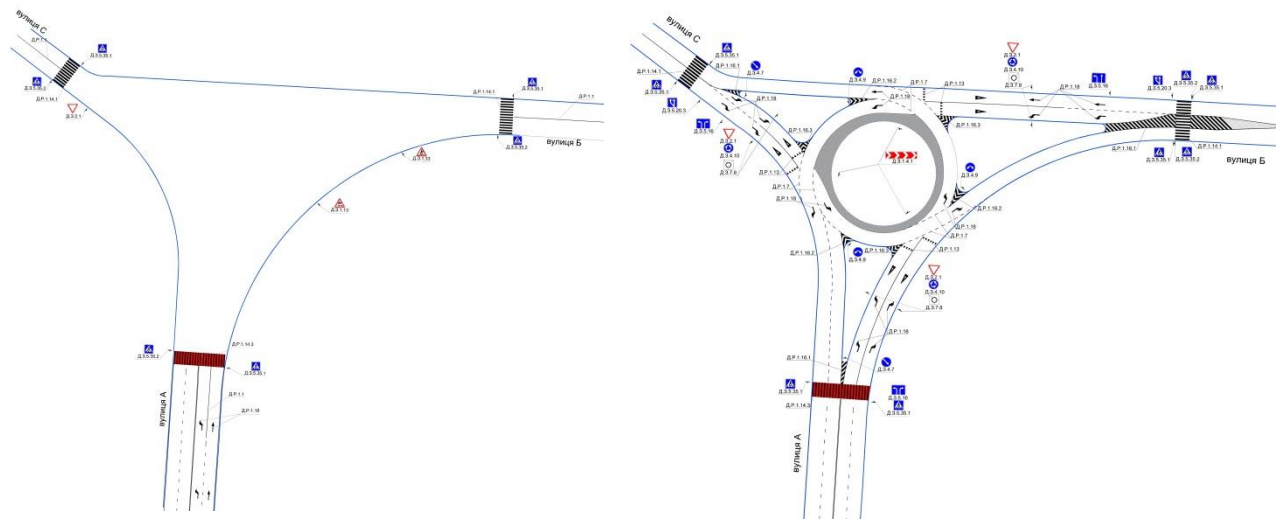


Рисунок 1. Існуюча схема організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті

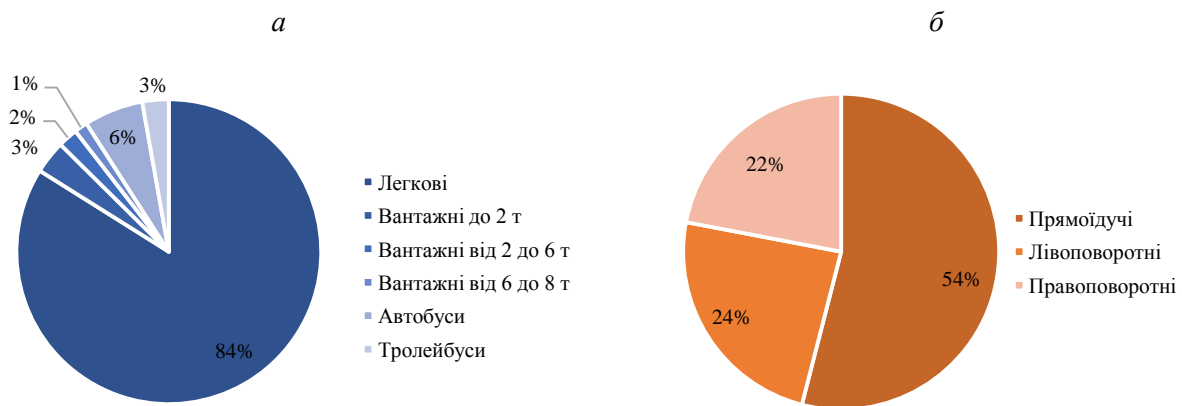


Рисунок 2. Результати дослідження складу (а) транспортного потоку та його розподіл за дозволеними напрямками руху (б)

Паралельно з вищезазначеними дослідженнями проведено замір миттєвих швидкостей руху різних транспортних засобів. На основі результатів натурних досліджень, у програмному середовищі PTV Vissim створено моделі руху транспортних потоків на досліджуваному перехресті за існуючої та проектованої схем організації дорожнього руху (рис. 1). При цьому здійснено налаштування параметрів транспортних потоків (рис. 3).

Типы ТС					Классы ТС / Типы ТС						
Count	№	Имя	Категория	Распр2D3DМод	РаспрЦвет1	Count	№	Имя	ТипыТС	ПримЦветТипТС	Цвет
8	100	Автомобиль	ЛГКТР	10: Автомобиль	1: По умолчанию	6	10	Автомобиль	100	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)
2	200	НГВ	ГРУЗТР	20: НГВ	1: По умолчанию	2	20	НГВ	200	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)
3	300	Автобус	Автобус	30: Автобус	1: По умолчанию	3	30	Автобус	300	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)
4	400	Трамвай	Трамвай	40: Трамвай	1: По умолчанию	4	40	Трамвай	400	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)
5	510	Мужчина	Пешеходы	100: Мужчина	101: Муж. рубашка	5	50	Пешеход	510,520	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)
6	520	Женщина	Пешеходы	200: Женщина	201: Жен. рубашка	6	60	Велосипед	610,620	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0, 0)
7	610	Велосипедист	Велосипед	61: Велосипедист	101: Муж. рубашка						
8	620	Велосипедистка	Велосипед	62: Велосипедистка	201: Жен. рубашка						

Рисунок 3. Налаштування параметрів транспортних потоків у програмному середовищі PTV Vissim

При цьому під час налаштування створеної моделі, враховується тип ТЗ, його параметри, склад транспортного потоку, розподіл за напрямками руху, дозволені маневри на ВДМ тощо. Крім цього вищезазначене програмне забезпечення дозволяє здійснювати додаткові налаштування таких параметрів [5]:

- налаштування характеристик водія автомобіля;
- налаштування параметрів часу, що необхідний для здійснення маневрів повороту;
- відстань між автомобілями у черзі;
- пріоритет вибору водіями смуги руху тощо.

Таким чином, за допомогою програмного продукту PTV Vissim створено моделі роботи перехрестя за існуючої та проєктованої схем організації дорожнього руху. Для прикладу, на рис. 4 наведено модель роботи проєктованого перехрестя.

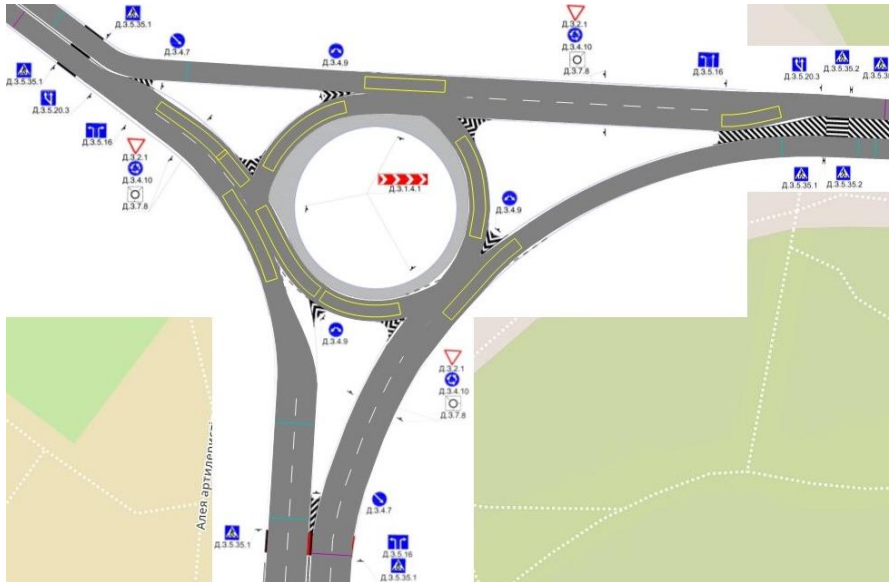


Рисунок 4. Модель проєктованої схеми організації дорожнього руху на досліджуваному перехресті вулиць у програмному середовищі PTV Vissim

Під час проведення імітаційного моделювання роботи перехрестя вулиць, у програмному середовищі PTV Vissim встановлено вимірювальні пункти на усіх підходах. Вони дозволяють отримати дані показників транспортного процесу.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі даних, які отримано шляхом проведення моделювання руху транспортних потоків у створених моделях у програмному середовищі PTV Vissim, за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel здійснено опрацювання результатів імітаційного моделювання. Для зручного порівняння встановлених даних, результати досліджень згруповані і подані для кожного підходу модельованого перехрестя окремо. Таким чином, на рис. 5 наведено динаміку зміни тривалості перебування ТЗ в заторі, а на рис. 6 – довжини черги.

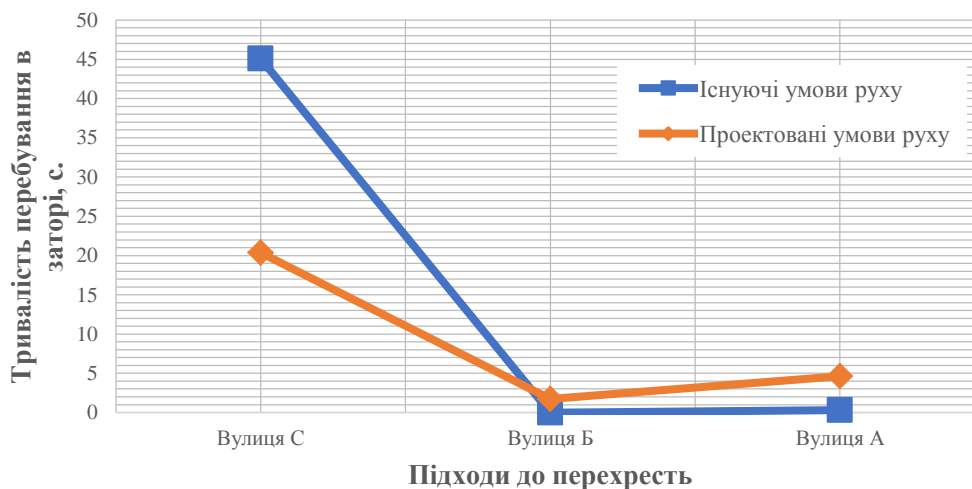


Рисунок 5. Результати досліджень тривалості перебування ТЗ в заторі

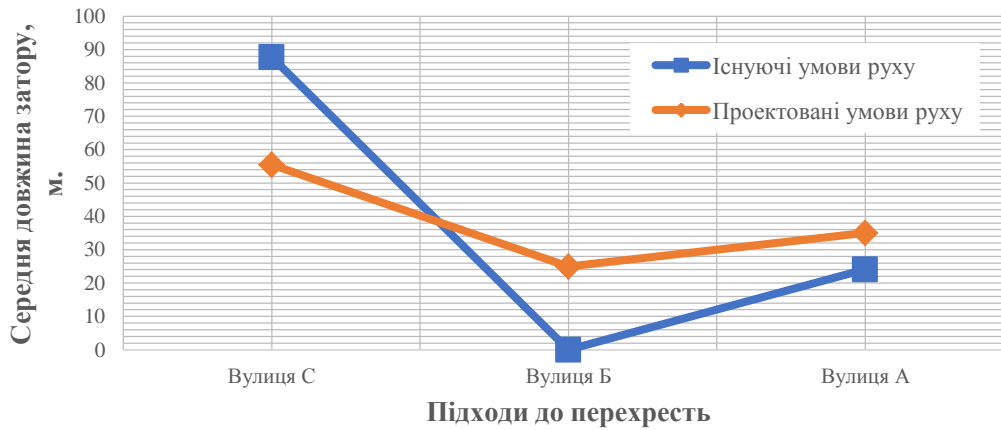


Рисунок 6. Результати досліджень довжини черги автомобілів за існуючої і проективної схеми ОДР на перехресті

З графіку результатів досліджень тривалості перебування ТЗ в заторі видно, що введення проектних рішень ефективно вплинули на показники роботи перехрестя. Таким чином встановлено, що на за умови впровадження проективної схеми руху на досліджуваному перехресті, середня тривалість перебування транспортного засобу в заторі на підході з вулиці С зменшується. При цьому, на цій ділянці вулиці середня тривалість затримки знижується з 45,07 с до 20,36 с., а середня довжина черги – з 87,74 м до 52,49 м. Що стосується підходів з вулиці А та Б, то тривалість перебування в заторі дещо зростає, зокрема: з 1,21с. до 4,62 с. та 0,34с. до 1,75с, відповідно. Слід зазначити, що зростання середньої довжини затору на підході з вулиці А змінюється, і зростає з 24,06м. до 35,11м, а вулиці Б – з 1,32 м. до 25,01 м. Збільшення довжини черги на підходах за напрямом А-Б пояснюється тим, що цей напрям був головним, а після впровадження кругової схеми руху з'явилися затримки в русі, оскільки пріоритет руху має потік автомобілів, які рухаються навколо центрального острівця. Розрахувавши загальну тривалість транспортної затримки з усіх підходів до перехрестя, то вона зменшується, а швидкість руху – збільшується.

ВИСНОВКИ

1. Проведено натурні дослідження параметрів транспортних потоків з використанням фото-відео обладнання на ділянці вулично-дорожньої мережі великого міста. Перехрестя є Т-подібним та нерегульоване за схемою організації дорожнього руху. Документальним методом проведено аналіз встановлених даних та визначено склад потоку і частку транспортних засобів, які рухаються у різних дозволених напрямках. Виявлено, що за існуючого стану переважають легкові автомобілі (84 %).

2. На основі встановлених параметрів транспортних потоків створено модель у програмному середовищі PTV Vissim за існуючої (нерегульованої) схеми організації дорожнього руху. На основі створеної моделі, здійснено проектування варіанту схеми саморегульованого перехрестя. Створення таких імітаційних моделей полягало у реальному відтворенні транспортної мережі з урахуванням геометричних та інженерних параметрів доріг за різних схем організації дорожнього руху. Під час моделювання руху на перехрестях встановлено, що кожна з цих схем руху має свої особливості і в різній мірі впливають на середню тривалість затримки транспортних засобів у потоці, яка коливалася в межах від 0,34 до 45,07 с. Така оцінка роботи перехрестя дає змогу визначити основні «вузькі» місця на перехрестях вулиць за зміни основних показників транспортного потоку.

3. За результатами моделювання встановлено значення середньої тривалості затримки транспортних засобів у потоці за різних схем організації дорожнього руху на перехресті. Слід зазначити, що з урахуванням генеральних планів розвитку міст часто на існуючих перехрестях передбачена зміна планувальних параметрів, зокрема облаштування розв'язок у різних рівнях. Проте враховуючи вартість цих робіт, часто такі рішення є неможливими щодо впровадження з урахуванням можливого фінансування. Тому, в таких випадках, доцільно здійснювати моделювання руху транспортних потоків за різних схем організації дорожнього руху та різних варіантів проектних рішень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Організація та регулювання дорожнього руху / [В. П. Поліщук, О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єрсев та ін.] – К. : Знання України, 2012. – 467 с.

2. Wang, Z. Visual traffic jam analysis based on trajectory data / Z. Wang, M. Lu, X. Yuan, J. Zhang, H. Van De Wetering // *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. – 2013. – Volume 19 (12). – P. 2159–2168.
3. Грицунь О. М. Аналіз транспортних затримок на регульованих перехрестях з використанням імітаційного моделювання / О.М. Грицунь, В.А. Давосир // *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні : тези доповідей III-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції, Львів, 22-23 лютого 2018 року*. – Львів : Видавництво: НУЛП, 2018. – С. 195–196.
4. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп./ Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
5. Беспалов Д. Методы моделирования транспортных потоков [Электронный ресурс] / Д. Беспалов. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov/>
6. Шевчук Я. В. Імітаційне моделювання транспортних систем / Я. В. Шевчук. // *International Scientific Journal*. – 2016. – №1. – С. 116 – 121.
7. Sheela A. Traffic simulation model and its application for estimating saturation flow at signalised intersection / A. Sheela, I. Kuncheria P. // *International Journal for traffic and transport engineering*. – 2014. – №4. – С. 320–338.
8. Павлова І. О. Дослідження транспортного процесу на міських регульованих перехрестях / І. О. Павлова, В. В. Грабовець, О.М. Решетило, М. М. Курин // *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. – Луцьк, 2014. – №46 – С. 386 – 397.
9. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст / О. В. Степанчук – Київ, 2018. – 427 с.

REFERENCES

1. Polishchuk, V. P., Bakulich, O. O., Dziuba, O. P., Yeresov, V. I. & et al. (2012). *Orhanizatsiia ta rehulivannia dorozhnoho rukhu [Traffic management]*. Kyiv: Znannia (In Ukrainian)
2. Wang, Z., Lu, M., Yuan, X., Zhang, J., & Van De Wetering, H. (2013). Visual traffic jam analysis based on trajectory data. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(12), 2159-2168. (In English)
3. Hrytsun, O. M., & Davosyr, V.A. (2018). Analiz transportnykh zatrymok na rehulovanykh perekhrestyakh z vykorystanniam imitatsiinoho modelivannia [Analysis of transport delays on regulated intersections using simulation modelling]. Proceedings from : *III-i Vseukiarainska naukovo-praktychna konferentsia "Avtobusobuduvannia ta pasazhyrski perevezennia v Ukraini" – The third All-Ukrainian scientific-practical conference "Bus construction and passenger transportation in Ukraine"*. (pp. 195-196) (In Ukrainian)
4. Klynkovshtein, H. I. & Afanasev, M.B. (2001). *Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu [Traffic management]*. Moskva: Transport (In Russian)
5. *Metody modelirovaniya transportnykh potokov [Methods of traffic flows` modeling]*. Retrieved from <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov/> (In Russian)
6. Shevchuk Ya. V. (2016). Imitatsiine modelivannia transportnykh system [Simulation modeling of transport systems]. *International Scientific Journal. Volume 1*, 166–121 (In Ukrainian)
7. Alex, S., & Isaac, K. P. (2014). Traffic simulation model and its application for estimating saturation flow at signalised intersection. *International Journal for Traffic & Transport Engineering*, Volume 4(3). doi: 10.7708/ijtte.2014.4(3).06 (In English)
8. Pavlova, I. O., Hrabovets, V. V., Reshetylo, O.M., & Kuryin, M. M. (2014). Doslidzhennia transportnoho protsesu na miskykh rehulovanykh perekhrestyakh [Study of transport process at urban controlled intersections]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk «Naukovi notatky» [Interuniversity collection "Scientific notes"]*, Volume 46, 386–397 (In Ukrainian)
9. Stepanchuk, O. V. (2018). *Metodolohiia pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia vulychno-dorozhnoi merezhi mist [Methodology for improving the efficiency of the cities` street and road network]*. Kyiv (In Ukrainian)

T. Postransky, M. Afonin, M. Boikiv. Influence of the roundabout traffic scheme project instead of the unregulated intersection of city streets on the transport delay duration.

The increase of the motorization level in cities causes congestion of the road network (RN) of settlements. Research on the given problem is a topical task because the analysis of traffic management

schemes speaks for the low level of traffic safety and many accidents on arterial streets and roads. It leads to the occurrence of accidents, in particular, the number and duration of traffic jams increases. Also, the increase in traffic delays increases the level of environmental pollution.

It should be noted that the important factor for increasing traffic safety concerning the aforementioned problems is an effective traffic organization at the intersections and approaches to them. This will allow reducing traffic delays in private transport and increasing the speed of public transport. Traffic intensity, capacity, volume-capacity ratio, and traffic conditions, besides the speed of movement, are the main parameters of traffic flow. That is why the design of new schemes of traffic organization or redesign of existing schemes on arterial roads should be based on the results of computer simulations of the main parameters of traffic flows. On the city RN, the expansion of the roadway is often impossible because of adjacent buildings. The alternative to the improvement of traffic conditions and the increase of safety of all road users is the change of the scheme of traffic management or redesign the intersection.

In this study, the application of the modern methods of simulation for the investigation and justification of the change of the traffic organization scheme is researched. The changes in the main parameters of traffic flow in the existing traffic management scheme at the unsignalized intersection and after a redesign of the intersection to the roundabout are investigated by the simulation. The duration of traffic delays on every approach to the intersection in different schemes of traffic management is analyzed. With the use of the simulation model, attention is paid to the necessity of the application of circular motion for the improvement of traffic conditions of urban public transport. It is established that the arrangement of circular motion at the unsignalized intersection of city street contributed to the reduction of queue length on the approaches to it. Also, the redesign of the intersection shows the reduction of traffic delay duration.

Key words: traffic management scheme, PTV Vissim, duration of transport delay, queue length.

ПОСТРАНСЬКИЙ Тарас Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: postranskyu@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6120-9914>

АФОНІН Максим Олександрович, кандидат технічних наук, асистент кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: afonin.maxim91@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5850-7478>

БОЙКІВ Микола Васильович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail bojkiv.mykola@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4997-3677>

Taras POSTRANSKYU, PhD, associate professor of transport technologies department, Lviv Polytechnic National University, e-mail: postranskyu@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6120-9914>

Maksym AFONIN, PhD, assistant of transport technologies department, Lviv Polytechnic National University, e-mail: afonin.maxim91@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5850-7478>

Mykola BOIKIV, PhD, associate professor of transport technologies department, Lviv Polytechnic National University, e-mail: bojkiv.mykola@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4997-3677>

DOI: 10.36910/automash.v2i15.397

Пустюльга С.І., Пуць В.С., Клак Ю.В.
Луцький національний технічний університет

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗКРОЮ ПЛИТ ЛДСП ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

Дана робота присвячена розробці ефективних алгоритмів для розв'язку багатокритеріальних оптимізаційних задач розкрою плит ЛДСП (ламінована деревно-стружкова плита) на підприємствах із виготовлення меблів за індивідуальним замовленням.

Відома значна кількість спеціалізованих програм розкрою, що активно застосовуються на меблевому виробництві. Практично всі вони, в тій чи іншій мірі, є уніфікованими програмами створення карт розкрою, що поєднують у собі оптимальність розташування контурів деталей в заданих габаритах вихідного матеріалу із потрібною швидкістю розрахунків. В основу роботи більшості цих програм покладено підхід із використання певних математичних алгоритмів, що дозволяють ефективно провести розкрій із мінімальною кількістю відходів.

Однак, виходячи із особливостей саме одиничного меблевого виробництва, оптимальним варіантом слід визнати такий автоматизований підхід до формування карт розкрою матеріалів, який дозволив би виробнику враховувати якнайбільше критеріїв оптимізації розміщення елементів, гнучко керувати пріоритетами важливості їх врахування, формувати оптимальні карти відповідно технологічним можливостям устаткування, що працює на даному виробництві (параметри пил, степінь свободи і поворотність столів, наявність спеціальних пристосувань для фіксації листів і т. і.). Врахування вищенаведених виробничих функцій жодна із перелічених програм забезпечити не здатна.

У роботі, на основі аналізу стандартних етапів та можливостей програм комп'ютерного розрахунку раціонального розкрою матеріалів, запропоновано методику та алгоритми розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації розкрою листів ЛДСП на елементи різної геометричної форми для виробництва меблів індивідуального замовлення. Визначено особливості постановки та критерії задачі багатокритеріальної оптимізації, які дозволяють швидко і ефективно аналізувати якість отриманих на першому етапі карт розкрою, коригувати значущість і пріоритетність кожного із вибраних критеріїв оптимізації. Удосконалено алгоритм пошуку початкового базисного розв'язку задачі лінійного програмування, який суттєво скоротив кількість ітерацій в розрахунковій схемі та спростив процедуру розрахунку. Проведено комп'ютерну реалізацію розроблених алгоритмів. Перевірено ефективність запропонованої методики та алгоритмів для виробництва продукції на підприємстві із виготовлення меблів за індивідуальним замовленням.

Ключові слова: раціональний розкрій матеріалів, багатокритеріальна оптимізація, парето-оптимальні рішення, лінійне програмування, критерії задачі оптимізації.

ВСТУП

Побудова оптимальних карт розкрою матеріалу є одним із найбільш трудомістких етапів будь-якого виробництва. У той же час якісне виконання розкрою є достатньо важливим для усіх галузей промисловості, оскільки безпосередньо веде до економії матеріалу та зниження відходів, а від так виступає гарантом економічної прибутковості.

На сьогодні, для вирішення завдання ефективного розкрою матеріалу активно використовуються усі можливості сучасних ЕОМ. Це дозволило значно прискорити та спростити процес генерації карт розкрою у порівнянні із неавтоматизованими методами [1], [2]. Особливо активно програми для генерації карт раціонального розкрою матеріалів впроваджуються на підприємствах із проектування та виробництва меблів під індивідуальні замовлення. Пов'язано це передусім із тим, що завдання розкрою для таких підприємств відноситься до одиничних завдань, а отже є найгострішою проблемою налаштування ефективного і прибуткового виробництва.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Відома значна кількість спеціалізованих програм розкрою, що активно застосовуються на меблевому виробництві. До них можна віднести: *Астра-розкрій*, *bCAD-Мебляр*, *Розкрій*, *Базис-розкрій*, *Cutting*, *Pane Cut*, *NCL*, *Optimum*, *Базис-Мебляр* та інші [1]-[4]. Практично всі вони, в тій чи іншій мірі, є уніфікованими програмами створення карт розкрою, що поєднують у собі оптимальність розташування контурів деталей в заданих габаритах вихідного матеріалу із потрібною швидкістю розрахунків. А в основу роботи більшості цих програм покладено підхід із використання певних математичних алгоритмів, що дозволяють ефективно провести розкрій із мінімальною кількістю відходів.

Однак, виходячи із особливостей саме одиничного меблевого виробництва, оптимальним варіантом слід визнати такий автоматизований підхід до формування карт розкрою матеріалів, який

дозволив би виробнику враховувати якнайбільше критеріїв оптимізації розміщення елементів, гнучко керувати пріоритетами важливості їх врахування, формувати оптимальні карти відповідно технологічним можливостям устаткування, що працює на даному виробництві (параметри пил, степінь свободи і поворотність столів, наявність спеціальних пристосувань для фіксації листів і т. і.). Врахування вищенаведених виробничих функцій жодна із перелічених програм забезпечити не здатна. Від так, актуальними є дослідження по удосконаленню існуючих алгоритмів розв'язання оптимізаційних задач розкрою, які можна віднести до багатокритеріальних задач лінійного програмування.

Упродовж останніх 20 років дослідженням в області розкрою і розробки нових алгоритмів генерації карт укладання плоских деталей на листах відповідного розміру було присвячено безліч вітчизняних і зарубіжних робіт, наприклад [5]-[12]. Огляд цих робіт показав, що в них ставилися та вирішувалися питання оптимізації розкрою листових матеріалів на елементи, як правило прямокутної форми, тільки за одним критерієм. Аналіз літературних джерел вказав на відсутність загального підходу та алгоритмів розв'язання саме багатокритеріальних задач розкрою із визначеними коефіцієнтами впливу різних критеріїв.

З іншого боку, з'являються проблеми із алгоритмами оптимізації карт, коли елементи розкрою мають геометричну форму відмінну від прямокутної. У даній роботі зроблена спроба узагальнити підхід до розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації розкрою із елементами, що мають відмінну від прямокутної геометричну форму, оскільки це є важливою проблемою саме одиничного виробництва.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дана робота ставить за мету розробку підходів та ефективного алгоритму пошуку множини парето-оптимальних розв'язків багатокритеріальних оптимізаційних задач розкрою плит ЛДСП (ламінована деревно-стружкова плита) на підприємствах із виготовлення меблів за індивідуальним замовленням. На основі введення множини критеріїв якості розміщення елементів необхідно розробити методику визначення найкращого вектору розв'язку задачі розкрою без втручання експертів та технологів на виробництві. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- проаналізувати стандартні етапи та спеціалізовані програми раціонального розкрою листів ЛДСП на підприємствах із виробництва меблів;
- розробити критерії та загальний підхід до розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації, який дозволив би швидко і ефективно аналізувати якість, отриманих на першому етапі карт розкрою, відповідно визначеним критеріям оптимізації, коригувати їх значущість і пріоритетність;
- удосконалити алгоритм пошуку початкового базисного розв'язку задачі лінійного програмування, що дозволив би суттєво скоротити кількість ітерацій симплекс-методу, а значить спростити процес розрахунку;
- провести комп'ютерну реалізацію розроблених алгоритмів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проектування карт розкрою листів ЛДСП на переважній більшості підприємств із одиничного меблевого виробництва за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм, як правило, зводиться до двох етапів. На першому етапі будується декілька можливих карт розкрою, що задовольняють певним заданим критеріям (рис. 1 а, б, в), на другому - із цієї множини, емпіричним шляхом, визначається краща карта.

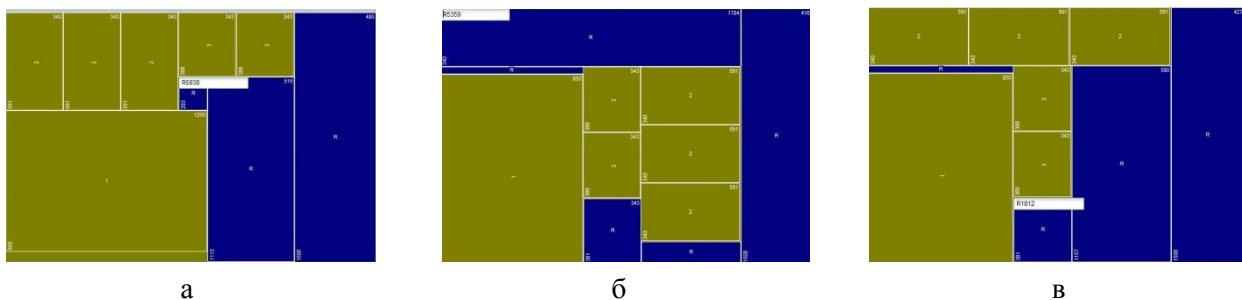


Рисунок 1 – Варіанти карт розкрою для виробництва одного виробу

Відповідно до цього, у процесі розрахунку розкрою можна виділити два основні класи завдань для виробництва. Перший клас - це завдання геометричного моделювання на ЕОМ, в ході виконання якого вирішується питання розміщення потрібних деталей на листі і отримання карти розкрою. Реалізацію завдання такого роду забезпечують, у тій чи іншій мірі, практично всі спеціалізовані програми розкрою, хоча слід зазначити, що це безперерійно працює при розкрою листів на деталі тільки прямокутної форми.

Другий клас завдань представляє собою розв'язання чисто оптимізаційних задач, які, у більшості випадків, на виробництві взагалі не враховуються (емпіричні методи простого перебору не беруться до уваги).

Ми пропонуємо, на даному етапі, запровадити простий алгоритм багатокритеріальної оптимізації (БО), який дозволить швидко і ефективно аналізувати отримані на першому етапі карти розкрою за визначеними критеріями оптимізації, коригувати їх значущість і пріоритетність, а отже генерувати ті карти розкрою, які будуть найбільш раціональними для виробництва за даних умов.

Виходячи із результатів, отриманих у роботах [17], [18], можна констатувати, що багатокритеріальні задачі оптимізації, як правило, не мають «ідеального розв'язку». Відтак, практично неможливо досягти в задачах оптимуму у одній і тій же точці за набором всіх визначених критеріїв. Тому основна проблема при розв'язанні задач БО - формалізація принципу оптимальності. У разі відсутності «ідеального розв'язку» в задачі БО шукається компромісне рішення.

Для всякої альтернативи $X \in D$ вектор із значень цільових функцій $(F1(X), F2(X), \dots, Fn(X))$ є векторною оцінкою альтернативи. Векторна оцінка альтернативи містить, як правило, повну інформацію про оптимальність цієї альтернативи для особи, яка приймає рішення (ОПР). Порівняння будь-яких декількох можливих результатів замінюється порівнянням їх векторних оцінок.

Розв'язок такої багатокритеріальної задачі шукається у n -вимірному просторі. Для того, щоб вектор розв'язку $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ знаходився в одиничному гіперкубі необхідно нормувати значення цільових функцій до безрозмірних величин із діапазону від 0 до 1, використовуючи наступний вираз:

$$Fn_{норм.}(x_n) = \frac{Fn(x_n) - \min Fn}{\max Fn - \min Fn} \quad (1)$$

При відсутності обмежень виду $g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq b_i$, радіус-вектор із координатами $\vec{r}_{\max} = (1, 1, 1, \dots, 1)$ або $\vec{r}_{\min} = (0, 0, 0, \dots, 0)$ n -вимірного одиничного гіперкуба буде оптимальним розв'язком багатокритеріальної задачі. Довжина такого вектора буде своєрідним мірилом оптимальності розв'язку.

Математичну постановку задачі можна подати у наступному вигляді:

$$F = t_1 F1 + t_2 F2 + t_3 F3 + \dots + t_n Fn \rightarrow opt, \quad (2)$$

де: $(F1, F2, F3, \dots, Fn)_{норм.}$ - нормовані функції оптимізації за критеріями 1, 2, ... n;

$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = 1$ - коефіцієнти пріоритетності оптимальності за кожним із критеріїв.

Зведемо поставлену багатокритеріальну задачу до множини однокритеріальних задач, причому із умовами:

- довжина вектора $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ повинна прагнути до оптимуму (мінімуму/максимуму);
- відношення довжини вектора-мірила до довжини вектора розв'язків повинно бути мінімальним;
- відношення довжини вектора-мірила до відстані між векторами r_{opt} і r_k - прагне до максимуму;
- відношення відстані між векторами r_{opt} і r_k до довжини вектору розв'язків повинно бути мінімальним.

Кожна із вище наведених умов має наступну властивість. Оптимальний вектор для кожної із вимог дасть «оптимальний по Парето» вектор розв'язку задачі (2). А виконання сукупності умов -

дасть парето-оптимальний вектор рішення багатокритеріальної задачі за множиною однокритеріальних задач. Графічно така властивість інтерпретується як пошук вектора найбільш близького за якісними характеристиками до вектора-мірила (рис. 2).

Перед початком роботи із функцією багатокритеріальної оптимізації (2) слід виконати наступне:

- 1) виходячи із потреб виробництва, визначити складові функції цілі або критерії оптимізації;
- 2) визначити, індивідуальні для кожної функції F_n оптимізаційної задачі, необхідні параметри, обмеження і т. і.

Далі, на першому етапі, використовуючи спеціалізовані комп'ютерні програми розкрою, виокремлюється множина раціональних способів розкрою для конкретного виробничого випадку.

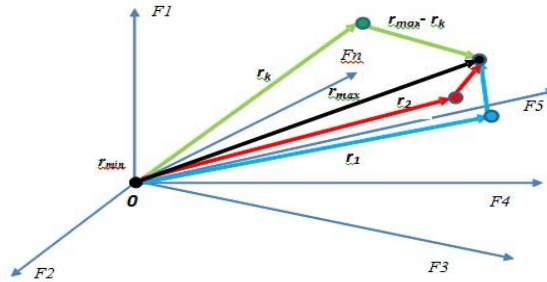


Рисунок 2 - Графічна інтерпретація пошуку вектора найбільш близького до вектора-мірила у багатовимірному просторі

На другому етапі розв'язується комплекс задач лінійного програмування по визначенню інтенсивності використання раціональних карт розкрою за конкретним критерієм оптимізації.

$$F_n(x_n) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_n \rightarrow \min . \tag{3}$$

Кожна така окрема задача зводиться до пошуку набору параметрів або вектору типу:

$$x_n = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, & i = \overline{1, m} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq d_i, & i = \overline{1, m} \\ x_j \geq 0, & j = \overline{1, n} \end{cases} . \tag{4}$$

Задачі такого типу можна розв'язувати симплекс-методом, в основі якого лежить принцип опорних базисних розв'язків, що теж інтерпретуються вершинами гіпер-багатогранників у багатовимірному просторі [13]-[16].

При знаходженні початкового базисного розв'язку, як правило, виходять із певних апріорних припущень відносно оптимальності вибору шуканих проектних параметрів x_n . А кількість ітерацій у симплекс-методі прямо залежить від міри «наближеності» початкового базисного розв'язку до оптимального.

Пропонується удосконалити процес вибору початкового базисного розв'язку для подальшого швидкого знаходження оптимальних значень проектних параметрів. Представимо постановку задачі у вигляді симплекс-таблиці виду:

Таблиця 1 – Симплекс-таблиця оптимізаційної задачі

	x_1	x_2	.....	x_n	xx_1	xx_2	.....	xx_n	b_n	d_n	δ
xx_1	$-a_{11}$	$-a_{12}$	.....	$-a_{1n}$	1	0	.....	0	b_1		
xx_2	$-a_{21}$	$-a_{22}$	.....	$-a_{2n}$	0	1	.....	0	b_2		
xx_3	$-a_{31}$	$-a_{32}$	.....	$-a_{3n}$	0	0	.....	0		$-d_1$	
.....
xx_n	$-a_{m1}$	$-a_{m2}$	.....	$-a_{mn}$	0	0	.....	1		$-d_n$	
$z \geq 0$	$-c_1$	$-c_2$		$-c_n$	0	0		0	0	0	

Розіб'ємо алгоритм на декілька етапів:

1. Вводимо у задачу додаткові змінні xx_1, xx_2, \dots, xx_n , кількість яких дорівнює кількості нерівностей, що описують обмеження, зводячи тим-самим задачу до канонічного виду.
2. На відміну від класичної постановки задачі, не будемо вимагати додатності правих частин перетворених рівнянь обмежень, а додаткові змінні беремо всі із додатними знаками. Додаткові змінні стануть основою для формування початкового базисного розв'язку.
3. Відтак процес скорочення від'ємних компонент базисного розв'язку будемо виконувати у такому порядку:

а) вибір роздільного стовпця. Його вибираємо, на відміну від «класики», відповідно до правила

$$- \sum_1^{mn} a_{mn} \min \text{ із елементів стрічок із від'ємними правими частинами вибираємо мінімальне значення;}$$

б) вибір роздільної стрічки здійснюємо за правилом. Для $b \geq 0$ вибираємо найменше значення b_n / a_{mn} роздільного стовпця. Для $b \leq 0$ вибираємо значення b_n / a_{mn} , яке найближче знаходиться до $\min b_n / a_{mn}$ роздільного стовпця.

Перетворивши таблицю методом Жордана-Гаусса, практично зразу отримаємо допустимий початковий базисний розв'язок. У більшості випадків такий підхід дозволяє одночасно змінити на додатні більшість правих частин рівнянь обмежень, що призводить до суттєвого скорочення кількості ітерацій симплекс-методу.

На третьому етапі розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації, виходячи із специфічних економічних і технологічних умов виробництва, встановлюються коефіцієнти пріоритетності t_1, t_2, \dots, t_n за цілями оптимізації і знаходиться узагальнений розв'язок.

З метою ілюстрації дієвості запропонованого підходу, розглянемо конкретний приклад. Для виготовлення 1 виробу, наприклад стола в університетський комп'ютерний клас, який спроектовано у програмі PRO100, необхідно виготовити 7 деталей різної геометричної форми із плит ЛДСП. Фірмі із виробництва меблів замовлено 24 стола. На складі фірми у наявності є листи ламінованого ДСП у потрібній кольоровій гамі розмірами: 2440x1830мм, 1830x1500мм, 1830x1220мм.

Таблиця 2 – Специфікація плит ЛДСП

Нп/п	Розміри ЛДСП	Вартість плити	Кількість плит на складі
1	2440x1830мм	630 грн.	10
2	1830x1500мм	440 грн.	30
3	1830x1220мм	350 грн.	16

Обмеження наявності числа плит певного виду та розміру на складі виникають, виходячи із з економічних чинників, тобто вартості плити кожного типорозміру ЛДСП.

Цілями для реалізації конкретної математичної моделі (критеріями оптимальності) можуть бути:

- 1) мінімізація кількості цілих плит ЛДСП для реалізації замовлення;
- 2) мінімізація відходів за площею при розкрою ЛДСП для виконання замовлення;
- 3) мінімізація сумарної довжини ліній різку при розкрою ЛДСП;

- 4) мінімізація вартості використаних плит ЛДСП для виготовлення замовлення;
- 5) мінімізація кількості різнотипних деталей на плиті ЛДСП при виготовленні замовлення.

Змінні - $x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_k$ - число плит із різними розмірами розкритими k способом за критерієм n . Параметри - $Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_n$ - типи плит ЛДСП із різними розмірами, які можна використати для реалізації замовлення; $a_1, a_2, \dots, a_{k-1}, a_k$ - площа відходів після розкрою плити за визначеною, з використанням, наприклад, програми *Cutting*, картою розкрою; $b_1, b_2, \dots, b_{k-1}, b_k$ - сумарна довжина ліній різку для розкрою плити на деталі за визначеною, з використанням програми *Cutting*, картою розкрою; $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$ - вартість плити ЛДСП відповідного розміру; $\alpha_1 Z_1, \alpha_2 Z_2, \alpha_3 Z_3 \dots \alpha_n Z_n$ - максимальна кількість кожного виду плити на складі.

Обмеження задачі. $x_1, x_2, \dots, x_{j-1}, x_j$ - цілі числа: число плит повинно бути цілим;
 $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_{j-1} \geq 0, x_j \geq 0$ - число плит для реалізації замовлення не може бути від'ємним.

Кількість кожної із деталей для виконання замовлення - P . Кількість деталей певного виду відповідно карти розкрою для плити із типорозмірами - u_n . Кількість плит певного типорозміру - K_n .

Реалізація математичної моделі за сукупністю вибраних критеріїв відбувається наступним чином:

за критерієм 1 (мінімізація кількості цілих плит ЛДСП для реалізації замовлення)

$$K_n x_1 + K_n x_2 + \dots + K_n x_{k-1} + K_n x_k \rightarrow \min ;$$

за критерієм 2 (мінімізація відходів за площею при розкрою ЛДСП для виконання замовлення)

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_{k-1} x_{k-1} + a_k x_k \rightarrow \min ;$$

за критерієм 3 (мінімізація сумарної довжини ліній різку при розкрою ЛДСП)

$$b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_{k-1} x_{k-1} + b_k x_k \rightarrow \min ;$$

за критерієм 4 (мінімізація вартості використаних плит ЛДСП для виготовлення замовлення)

$$V_1 x_1 + V_2 x_2 + \dots + V_{k-1} x_{k-1} + V_k x_k \rightarrow \min ;$$

за критерієм 5 (мінімізація кількості різнотипних деталей на плиті ЛДСП при виготовленні замовлення)

$$r_1 x_1 + r_2 x_2 + \dots + r_{k-1} x_{k-1} + r_k x_k \rightarrow \min .$$

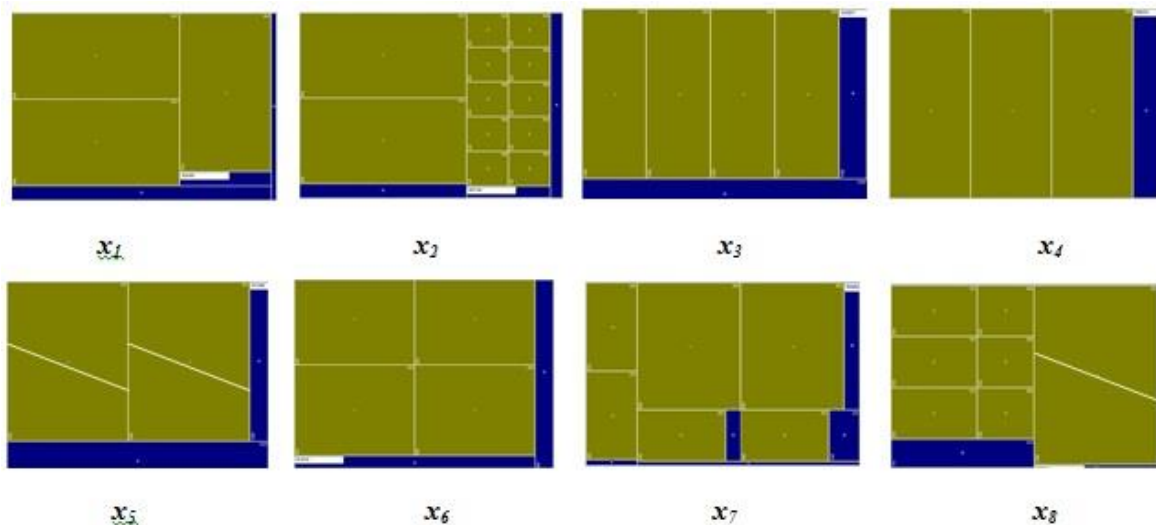


Рисунок 3 – Варіанти розкладки елементів на плитах ЛДСП

У нашому прикладі було виокремлено 8 карт можливих варіантів раціонального розкрою листів ЛДСП, заданих розмірів, обчислених за допомогою програми *Cutting*, для виконання замовлення (рис. 3, $x_1 - x_8$). В таблиці 3 наведено варіанти виходу окремих заготовок, та підраховані значення всіх коефіцієнтів для розв'язання одновимірних оптимізаційних задач за заданими критеріями.

Таблиця 3 – Варіанти розміщення елементів розкрою на листах ЛДСП

N	Плити Найменування деталей	2440x1830мм 630грн. $S=4.465 \text{ м}^2$			1830x1500мм 440грн. $S=2.745 \text{ м}^2$			1830x1220мм 350грн. $S=2.233 \text{ м}^2$	
		Xn_1	Xn_2	Xn_3	Xn_4	Xn_5	Xn_6	Xn_7	Xn_8
1	Столешниця 1551x845мм	3	2	-	-	-	-	-	-
2	Зад. стінка1500x550мм	-	-	4	3	-	-	-	-
3	Боковина 1200x850мм	-	-	-	-	2	-	-	1
4	Перегор. центр. 850x692мм	-	-	-	-	-	4	2	-
5	Полиця 1 591x343мм	-	-	-	-	-	-	4	3
6	Полиця 2 388x343мм	-	8	-	-	-	-	-	3
		1	1	1	1	1	1	1	1
	$S_{дет.} (\text{м}^2)$	3.932	3.686	3.3	2.475	2.040	2.353	1.987	2.027
	$S_{відход.} (\text{м}^2)$	0.53	0.78	1.17	0.27	0.71	0.39	0.25	0.21
	$L_{рзу.} (\text{м})$	8.216	12.398	8.440	20.5	4.23	6.298	8.391	10.218
		1	2	1	1	1	1	2	3

При цьому, система обмежень для оптимізації за кожним із вище наведених критеріїв набуде вигляду.

1. По випуску елементів стола:

$$3x_1 + 2x_2 = 24, \quad 4x_3 + 3x_4 = 24, \quad 2x_5 + 1x_8 = 24, \quad 4x_6 + 2x_7 = 24, \quad 4x_7 + 3x_8 = 24, \quad 8x_2 + 3x_8 = 24.$$

2. По запасам на складі плит визначеного розміру для розкрою:

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 10, \quad x_4 + x_5 + x_6 \leq 30, \quad x_7 + x_8 \leq 16.$$

Використовуючи наведений вище підхід із удосконаленим алгоритмом вибору початкового базисного розв'язку, шукаємо симплекс-методом оптимальний план розкрою ЛДСП окремо за кожним із поставлених критеріїв (рис. 4).

Результатом обчислень стали два оптимальні набори розкрою плит за різними критеріями. Перший набір - 8,0,0,8,8,6,0,8, пов'язаний із використанням для повного виконання замовлення: 8 плит розміру 2440x1830 мм, 22 плити розміру 1830x1500 мм і 8 плит розміру 1830x1220 мм. Друга оптимальна комбінація за іншими критеріями - 6,3,0,8,12,3,6,0: 9 плит розміру 2440x1830 мм, 23 плити розміру 1830x1500 мм і 6 плит розміру 1830x1220 мм. Слід зазначити, що на даному етапі геометричні параметри форми елементів, отриманих в результаті розкрою плит, не впливають на методику розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації.

Зводимо всі результати у таблицю 4 і, виходячи із завдань виробництва, визначаємо коефіцієнти важливості (пріоритети) для кожного із критеріїв оптимізації. Використовуючи (1), нормуємо значення цільових функцій для критеріїв 1-5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Способи розкрою плит ДСП	0										
2		Варіанти карти розкрою										
3												
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8			
5												
6	Значення	8	0	0	8	8	6	0	8			
7	Параметри кількості цілих плит - Сума	1	1	1	1	1	1	1	1	8	плит на 24	
8												
9												
10	Деталі											
11												
12	1 Розмір деталі	більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551			
13		менший розмір	845	845	845	845	845	845	845			

а

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Способи розкрою плит ДСП	0										
2		Варіанти карти розкрою										
3												
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8			
5												
6	Значення	8	0	0	8	8	6	0	8			
7	Параметри цільової функції по площі відходів - Сума	0,53	0,78	1,17	0,27	0,71	0,39	0,25	0,21	16,1	м2	
8												
9												
10	Деталі											
11												
12	1 Розмір деталі	більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551			
13		менший розмір	845	845	845	845	845	845	845			

б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Способи розкрою плит ДСП	0										
2		Варіанти карти розкрою										
3												
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8			
5												
6	Значення	6	3	0	8	12	3	6	0			
7	Параметри цільової функції по довжині ліній різів - Сума	8,216	12,398	8,44	20,5	4,23	6,298	8,391	10,218	39,45	м п	
8												
9												
10	Деталі											
11												
12	1 Розмір деталі	більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551			
13		менший розмір	845	845	845	845	845	845	845			

в

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Способи розкрою плит ДСП	0										
2		Варіанти карти розкрою										
3												
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8			
5												
6	Значення	8	0	0	8	8	6	0	8			
7	Параметри цільової функції по вартості 1 плити - Сума	630	630	630	440	440	440	350	350	4750	грн.	
8												
9												
10	Деталі											
11												
12	1 Розмір деталі	більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551			
13		менший розмір	845	845	845	845	845	845	845			

г

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Способи розкрою плит ДСП	0										
2		Варіанти карти розкрою										
3												
4	Змінні для кількості деталей виробу	1	2	3	4	5	6	7	8			
5												
6	Значення	6	3	0	8	12	3	6	0			
7	Параметри цільової функції різнотипних деталей плити	1	2	1	1	1	1	2	3	41	плит на 24	
8												
9												
10	Деталі											
11												
12	1 Розмір деталі	більший розмір	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551			
13		менший розмір	845	845	845	845	845	845	845			

д

Рисунок 4 – Варіанти оптимального розкрою окремо за кожним із критеріїв

Таблиця 4 - Пріоритетність критеріїв багатокритеріальної оптимізації

	кількість типів плит для оптимальної розкладки елементів	кількість плит для виконання замовлення норм	кількість площі відходів норм	кількість довжина різі плит норм	кількість вартість сировини норм	кількість мінімаль. к-сть. елем. розкрою норм	кількість пріоритети
За 1 критерієм	8,0,0,8,8,6,0,8	38/0	16.1/0	383.1/1	17520/0	54/1	0.1/0.2
За 2 критерієм	8,0,0,8,8,6,0,8	38/0	16.1/0	383.1/1	17520/0	54/1	0.2/0.4
За 3 критерієм	6,3,0,8,12,3,6,0	38/0	18.87/1	370.49/0	17890/1	47/0	0.4/0.8
За 4 критерієм	8,0,0,8,8,6,0,8	38/0	16.1/0	383.1/1	17520/0	54/1	0.1/0.2
За 5 критерієм	6,3,0,8,12,3,6,0	38/0	18.87/1	370.49/0	17890/1	47/0	0.2/0.4

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати запропонованого підходу і проведених розрахунків показують, що розв'язок багатокритеріальної задачі оптимізації зводиться до пошуку вектора найбільш близького до еталону за якісними характеристиками та пріоритетністю. Для нашого конкретного прикладу він має вид:

$$\begin{aligned}
 F1 &= 0.1(0+0+1+0+1) + 0.2(0+0+1+0+1) + 0.1(0+0+1+0+1) = 0.8 \\
 F2 &= 0.4(0+1+0+1+0) + 0.2(0+1+0+1+0) = 1.2
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Цей вектор базується на наборі елементів 6,3,0,8,12,3,6,0, що відповідає завданню багатокритеріальної оптимізації розкрою плит ЛДСП. Змінюючи пріоритетність критеріїв, ми тим самим можемо оперативно впливати на умови виробничих процесів підприємства.

ВИСНОВОК

У даній роботі, на основі аналізу стандартних етапів та можливостей відомих програм комп'ютерного розрахунку раціонального розкрою матеріалів, розроблено методику та алгоритми розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації розкрою листів ЛДСП на елементи із різними геометричними параметрами для меблевих виробництв. Визначено особливості постановки та критерії задачі багатокритеріальної оптимізації, які дозволяють швидко і ефективно аналізувати якість отриманих на першому етапі карт розкрою, коригувати значущість і пріоритетність кожного із вибраних критеріїв оптимізації. Удосконалено алгоритм пошуку початкового базисного розв'язку задачі лінійного програмування, який суттєво скоротив кількість ітерацій в розрахунковій схемі та спростив процес розрахунку. Проведено комп'ютерну реалізацію розроблених алгоритмів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бабаев Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф.В. Бабаев; - М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.
2. Мухачева Э. А. Прямоугольный раскрой в индивидуальном производстве / Э. А. Мухачева; В кн.: Математическое обеспечение расчетов линейного и прямоугольного раскроя. Материалы всесоюзного семинара. Уфа, 1981, - С. 108-118.
3. Pisinger D, Sigurd M. Using decomposition techniques and constraint programming for solving the two-dimensional bin-packing problem. *INFORMS Journal on Computing* 2007, - P. 36–51.
4. Young-Gun G, Kang MK. A new upper bound for unconstrained two-dimensional cutting and packing. *Journal of the Operational Research Society* 2002, - P. 87–91.
5. Сергиенко И.В. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования / И.В. Сергиенко, В.П. Шило; К.: Наук, думка, 2003.- 262 с.

6. Stoyan Y. Functions for primary 2D-objects / Y. Stoyan, J. Terno, G. Scheithauer, N. Gil, T. Romanova; *Studia G.Informatica* – 2002. – Vol. 2 (1). – P. 1–32.
7. Романова Т.Е. Математическая модель и метод решения задачи оптимизации упаковки произвольных двумерных объектов в прямоугольных областях /Т.Е. Романова, Е.А. Ступак, М.В. Злотник; *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. – 2009. – №1. – С. 48–53.
8. Milenkovic V. A monotonic convolution for Minkowski sums / V. Milenkovic, E. Sacks; *International Journal of Computational Geometry and Applications*. – 2007. – 17(4). – P. 383–396.
9. Чуб І.А. Конструктивні особливості задачі розміщення геометричних об'єктів в анізотропній області / І.А. Чуб; *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. – 2008. – Вип. 80. – С. 139–143.
10. Балабанов В.Н. Многокритериальная задача рационального планирования продольного раскроя рулонного материала / В.Н. Балабанов; *Проблемы информационных технологий*. – 2009. – №2 (6). – С.57–63.
11. Mukherjee I. A review of optimization techniques in metal cutting processes / I. Mukherjee, P. Ray; *Computers and Industrial Engineering*. – 2006. – Vol. 50(1). – P.15–34.
12. Wascher G. An improved typology of cutting and packing problems / G. Wascher, H. Haubner, H. Schumann; *European Journal of Operational Research*. – 2007. –Vol. 183. – P. 1109–1130.
13. Математические методы в программировании: Учебник. - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2006. - 224 с.
14. Введение в исследование операций. 6-е издание: Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. - 912 с.
15. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике: Учебное пособие для вузов / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман; Под ред. проф. Н.Ш. Кремера; - М.: ЮНИТИ, 2001. - 407 с.
16. Ашманов С.А. Линейное программирование / С.А. Ашманов; - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 340 с.
17. Пустюльга С.І. Математична модель “м'якої оптимізації” процесу вибору легкового автомобіля відповідно прийнятих критеріїв / С.І. Пустюльга, Л.С. Громко, В.П. Самчук; *Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті»* – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. - Вип. 3. - С. 41-52.
18. Пустюльга С.І. Знаходження парето-оптимальних розв'язків багатокритеріальних оптимізаційних задач / С.І. Пустюльга, Л.С. Громко, Ю.В. Клак; *Наукові нотатки ЛНТУ*. – Луцьк: ЛНТУ, 2015. - Вип. 48. - С. 72-77.

REFERENCES

1. Babaev F.V. Optimalniy raskroy materialov s pomoschyu EVM / F.V. Babaev; - М.: Mashinostroenie, 1982. – 168 s.
2. Muhacheva E. A. Pryamougolnyiy raskroy v individualnom proizvodstve / E. A. Muhacheva; V kn.: Matematicheskoe obespechenie raschetov lineynogo i pryamougolnogo raskroya. Materialyi vsesoyuznogo seminaru. Ufa, 1981, - P. 108-118.
3. Pisinger D., Sigurd M. Using decomposition techniques and constraint programming for solving the two-dimensional bin-packing problem. *INFORMS Journal on Computing* 2007, - P. 36–51.
4. Young-Gun G., Kang M. A new upper bound for unconstrained two-dimensional cutting and packing. *Journal of the Operational Research Society* 2002, - P. 87–91.
5. Sergienko I.V. Zadachi diskretnoy optimizatsii: problemyi, metodyi resheniya, issledovaniya / I.V. Sergienko, V.P. Shilo; K.: Nauk. dumka, 2003.- 262 s.
6. Stoyan Y. Functions for primary 2D-objects / Y. Stoyan, J. Terno, G. Scheithauer, N. Gil, T. Romanova; *Studia G.Informatica* – 2002. – Vol. 2 (1). – P. 1–32.
7. Romanova T.E. Matematicheskaya model i metod resheniya zadachi optimizatsii upakovki proizvolnyih dvumernyih ob'ektov v pryamougolnyih oblastiakh / T.E. Romanova, E.A. Stupak, M.V. Zlotnik; *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. – 2009. – S. 48–53.
8. Milenkovic V. A monotonic convolution for Minkowski sums / V. Milenkovic, E. Sacks; *International Journal of Computational Geometry and Applications*. – 2007. – 17(4). – P. 383–396.

9. Chub I.A. Konstruktivni osoblivosti zadachi rozmischennya geometrichnih ob'ektiv v anizotropniy oblasti / I.A. Chub; Prikladna geometriya ta Inzhenerna grafika. – 2008. – Vip. 80. – S. 139–143.
10. Balabanov V.N. Mnogokriterialnaya zadacha ratsionalnogo planirovaniya prodolnogo raskroya rulonnogo materiala / V.N. Balabanov; Problemy informatsionnykh tehnologiy. – 2009. – 2 (6). – S.57–63.
11. Mukherjee I. A review of optimization techniques in metal cutting processes / I. Mukherjee, P. Ray; Computers and Industrial Engineering. – 2006. – Vol. 50(1). – P.15–34.
12. Wascher G. An improved typology of cutting and packing problems / G. Wascher, H. Haubner, H. Schumann; European Journal of Operational Research. – 2007. –Vol. 183. – P. 1109–1130.
13. Matematicheskie metody v programmirovani: Uchebnik. - M.: ID «FORUM»: INFRA-M, 2006. - 224 s.
14. Vvedenie v issledovanie operatsiy. 6-e izdanie: Per. s angl. - M.: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2001. - 912 s.
15. Kremer N.Sh. Issledovanie operatsiy v ekonomike: Uchebnoe posobie dlya vuzov /N.Sh. Kremer, B.A. Putko, I.M. Trishin, M.N. Fridman; Pod red. prof. N.Sh. Kremera; - M.: YuNITI, 2001. - 407 s.
16. Ashmanov S.A. Lineynoe programmirovanie / S.A. Ashmanov; - M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1981. – 340 s.
17. Pustylulga S.I. Matematichna model “m'yakoyi optimizatsiyi” protsesu viboru legkovogo avtomobilya vidpovidno priynyatih kriteriyiv / S.I. Pustylulga, L.S. Gromko, V.P. Samchuk; Naukoviy zhurnal «Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni ta transporti» – Lutsk: Lutskiy NTU, 2015. - Vip. 3. - S. 41-52.
18. Pustylulga S.I. Znahodzhennya pareto-optimalnih rozv'yazkiv bagatokriterialnih optimizatsiynih zadach / S.I. Pustylulga, L.S. Gromko, Yu.V. Klak; Naukovi notatki LNTU. – Lutsk: LNTU, 2015. - Vip. 48. - S. 72-77.

S. Pustylulga, V. Puts, Y. Klak. Multicriterion optimization will cut out flags for individual furniture production

This work is sanctified to development of effective algorithms for the decision of multicriterion optimization tasks will cut out flags on enterprises from making of furnitures after an individual order.

Known far of the specialized programs will cut out, that are actively used on a furniture production. Practically all of them, in one or another measure, are the compatible programs of creation of maps will cut out, that combine in itself the optimality of location of contours of details in the set sizes of feedstock with necessary speed of calculations. In basis of work of these most programs approach is fixed from the use of certain mathematical algorithms that allow effectively to conduct cutting out with the least of wastes.

However, going out features exactly of single furniture production, it follows to admit such automated approach an optimal variant to forming of maps will cut out materials, that would allow to the producer to take into account most criteria of optimization of placing of elements, flexibly to manage priorities of importance of their account, to form optimal maps according to technological possibilities of equipment that works on this production (parameters are a dust, degree of freedom and turning of tables, presence of the special adaptations for fixing of folias and т. and.). Account of the above-mentioned productive functions none of the enumerated programs not able to provide.

In-process, on the basis of analysis of the standard stages and possibilities of the programs of computer calculation rational will cut out materials, methodology and algorithms of decision of tasks of multicriterion optimization are offered will cut out letters of flags on the elements of different geometrical form for the production of furnitures of individual order. The features of raising and criteria are certain tasks of multicriterion optimization, that allow quickly and effectively to analyse quality of the maps got on the first stage will cut out, to correct meaningfulness and priority each of the chosen criteria of optimization. The algorithm of search of initial base decision of task of the linear programming, that substantially shortened the amount of iterations in a calculation chart and simplified procedure of calculation is improved. Computer realization of the worked out algorithms is conducted. Efficiency of the offered methodology and algorithms is tested for the production of goods on an enterprise from making of furnitures after an individual order.

Keywords: rational cutting out of materials, multicriterion optimization, Pareto-optimality of decision, linear programming, criteria of task of optimization.

ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького національного технічного університету, e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

ПУЦЬ Віталій Степанович, кандидат технічних наук, завідувач кафедри галузевого машинобудування та легкої промисловості Луцького національного технічного університету, e-mail: gm@lntu.edu.ua <http://orcid.org/0000-0003-3164-6173>.

КЛАК Юрій Володимирович, старший викладач кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького національного технічного університету, e-mail: y.klak@lntu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-7359-0756>.

Serhii PUSTIULHA, Doctor of Technical Sciences, Professor of Engineering and Computer Graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

Vitaliy PUTS, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Industrial Engineering and Light Industry of Lutsk National Technical University, e-mail: gm@lntu.edu.ua <http://orcid.org/0000-0003-3164-6173>.

Yurii KLAК, Senior Lecturer, Department of Engineering and Computer Graphics, Lutsk National Technical University, e-mail: y.klak@lntu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-7359-0756>.

DOI: 10.36910/automash.v2i15.398

Півторак Г.В., Голомовзий В.М., Жила М.П.
НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІЇ ПЕРЕВАГИ НА РОЗПОДІЛ ПОПИТУ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ МІЖ ТРАНСПОРТНИМИ РАЙОНАМИ МІСТА

Метою виконання роботи була оцінка того, як впливатиме зміна значень коефіцієнтів функції переваги Вох-Сох, що застосовується при виконанні етапу розподілу попиту 4-етапної моделі транспортного планування в програмному середовищі Visum, на результати розподілу матриці кореспонденцій.

У PTV Visum оцифровано територію проходження тролейбусного маршруту № 29 у м. Львові та занесено необхідну початкову інформацію про режим роботи маршруту. Для отримання даних про величину пасажиропотоку на маршруті для формування початкової матриці кореспонденцій проведено натурні спостереження.

В процесі виконання першого етапу розрахунку, етапу генерації попиту, розраховано ступені генерації та притягання для кожного транспортного району на шляху руху маршруту. На етапі розподілу попиту початкову матрицю кореспонденцій розподілено між шарами попиту в залежності від мети переміщення (всього отримано 7 таких матриць). Коефіцієнти використаної функції переваги Вох-Сох розраховувалися на основі параметрів сформованої еліпсоїдної моделі території проектування.

Щоб проаналізувати вплив значень коефіцієнтів функції переваги на значення отриманих матриць, по чергово змінювалися значення коефіцієнтів та проводився перерахунок етапу розподілу попиту у PTV Visum. Зміна значень коефіцієнтів не здійснює впливу на сумарну величину матриці, проте змінює суму прибуттів в кожен транспортний район. Визначено граничні значення коефіцієнтів функції Вох-Сох, при перевищенні яких розподіл між транспортними районами суттєво змінюється. Чим більші абсолютні значення коефіцієнтів досліджуваної функції переваги, тим більше впливу на кінцевий результат матриць матиме похибка в їх розрахунку.

Ключові слова: транспортне моделювання, 4-етапна модель транспортного попиту, розподіл попиту, функція переваги, PTV Visum

ВСТУП

Рішення, які приймаються в сфері транспортного планування та організації роботи транспорту, мають бути виваженими, оскільки вони здійснюють вплив на міську транспортну систему та її користувачів, а також загалом на якість міського середовища. Використання спеціалізованих програмних продуктів дозволяє моделювати транспортні процеси, прогнозуючи можливі результати впровадження певних заходів.

Програмне середовище PTV Visum на сьогодні є одним з найефективніших пакетів для моделювання транспортних систем міст [1]. При моделюванні з його допомогою розподілу пасажирських кореспонденцій зазвичай використовується чотирьохетапна модель транспортного попиту [2, 3]. На першому етапі проводиться визначення кількості поїздок, які генеруються і притягуються кожним транспортним районом, на етапі розподілу транспортного попиту – формування матриць кореспонденцій для кожного шару попиту, на етапі вибору режиму – розподіл транспортних кореспонденцій за видами транспорту, і на четвертому етапі – перерозподіл переміщень по вуличній та маршрутній мережі.

На етапі розподілу попиту необхідне застосування функції переваги для моделювання розподілу переміщень між транспортними районами. Визначення коефіцієнтів функції переваги проводиться окремо для кожної території моделювання на основі аналізу проведених натурних обстежень, анкетних опитувань тощо. Похибки в розрахунках значень цих коефіцієнтів вплинуть на якість транспортної моделі та достовірність її результатів. Тому оцінка впливу їх зміни на загальний результат моделювання є актуальною задачею.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Моделювання процесу формування транспортних та пасажирських потоків відбувається за спільним для всіх методів принципом: користувачі транспортної системи мають набір альтернатив для пересування (режими руху, шляхи переміщення тощо). Кожна з цих альтернатив має свої характеристики, і користувач здійснює вибір між ними, шукаючи варіант, який якомога більше задовольнить його вимогам [4].

Чинники, які здійснюють вплив на вибір пасажирями шляху їх пересування, поділяються на чотири групи: чинники, що характеризують витрати часу на переміщення, чинники, які оцінюють

зручність переміщення, чинники, що характеризують фінансові витрати пасажирів та чинники соціо-економічних характеристик населення [5].

Якщо користувач обирає режим свого переміщення (громадський транспорт, приватний транспорт, велорух тощо), то при здійсненні вибору враховуються такі групи чинників, як характеристики користувача (вік, стать, рівень доходу, наявність власного автомобіля), показники переміщення (мета, відстань, напрям, пункти генерації та притягання) та параметри транспортної системи (середній час очікування, експлуатаційна швидкість, комфорт) [6, 7].

Витрати часу на переміщення є одним з основних чинників, який впливає на вибір пасажиром способу свого пересування. Проте це не єдиний чинник. Зокрема, в праці [8], можливі альтернативи шляхів оцінюються, окрім часу на пересування, величиною тарифу на поїздку та показником транспортної стомлюваності пасажирів. Вплив цих чинників на вибір користувача залежить від його середнього доходу та відстані поїздки.

В роботі [9] авторка пропонує враховувати при виборі способу пересування такі основні характеристики переміщення, як час та вартість.

Горбачов П.Ф. у своїй праці розраховує ймовірність вибору шляху пересування при виконанні трудових переміщень на основі тривалості переміщення, коефіцієнта заповнення салону автобуса, вартості поїздки та кількості пересадок [10].

Автори [11] при розрахунку ймовірності вибору пасажиром маршруту пересування враховували час очікування пасажиром транспортного засобу на зупинці. На основі даних, отриманих під час анкетування пасажирів в місті Кременчук, ними отримана функція переваги, коефіцієнти якої визначалися методом підбору.

В роботі [12] привабливість шляху переміщення маршрутним транспортом визначається з врахуванням вартості поїздки, інтервалів руху, ймовірності відмови в посадці, заповнення салону ТЗ, витрат часу на підхід до зупинки та наявності пересадок. Важливість цих чинників визначалася шляхом аналізу анкет опитування в м. Рівне.

На основі проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що при оцінці ймовірності виконання переміщення певним режимом руху базовим показником є час пересування. Вибір функції ймовірності та підбір значень їх коефіцієнтів проводиться окремо в кожному конкретному випадку залежно від виду території проектування.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціллю проведеного дослідження є оцінка впливу коефіцієнтів функції переваги W_{ij} на зміну розподілу величини попиту на переміщення між транспортними районами міста. Для виконання поставленої мети виконано такі задачі:

- територію дослідження змодельовано в програмному середовищі Visum;
- розраховано матрицю кореспонденцій між транспортними районами;
- розраховано значення коефіцієнтів функції переваги W_{ij} для етапу розподілу переміщень між шарами попиту;
- з допомогою моделювання у Visum проаналізовано вплив зміни значень коефіцієнтів функції на загальну величину кореспонденцій та їх перерозподіл між транспортними районами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основою для проведення розподілу транспортного попиту є матриці кореспонденцій, для отримання яких необхідно розв'язати задачу максимізації функції для кожного шару попиту [13]:

$$\sum_{i,j=1}^n F_{ij} \ln\left(\frac{P_{ij}}{F_{ij}}\right) \rightarrow \max \quad (1)$$

При таких обмеженнях:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n F_{ij} &= Q_i \\ \sum_{i=1}^n F_{ij} &= Z_i \end{aligned} \quad (2)$$

В результаті розв'язання задачі оптимізації отримується величина кореспонденцій з району i в район j :

$$F_{ij} = k \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot P_{ij}(U_{ij}) = k \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot e^{\frac{c(U_{ij}^b - 1)}{b}} \quad (3)$$

Де $P_{ij}(U_{ij})$ - функція переваги, що характеризує ставлення учасника руху до витрат на переміщення.

В транспортних моделях міст часто застосовують функцію переваги Вох-Сох, названу в честь учених Джорджа Бокса та Девіда Кокса, яка має вигляд [2]:

$$f(U_{ij}) = e^{\left(\frac{c \cdot U_{ij}^b - 1}{b}\right)} \quad (4)$$

Де U_{ij} - витрати на виконання кореспонденції між кожною парою транспортних районів;

b, c - коефіцієнти функції.

По осі абсцис відкладається час на здійснення переміщення, а по осі ординат – ймовірність здійснення такого переміщення.

Одним зі способів визначення коефіцієнтів функції переваги Вох-Сох є застосування еліпсової моделі території. Ця модель відображає просторовий розподіл місць проживання населення, і, відповідно, характеризує генеруючу здатність окремих будівель і транспортних районів загалом [13].

Суть розрахунку полягає в тому, що спершу висувається припущення про те, що розподіл житлових будівель територією міста підпорядковується нормальному закону розподілу. Потім розраховуються математичні відхилення розподілу просторових координат житлових будівель, стандартні відхилення σ_x, σ_y та коефіцієнт кореляції ρ . Далі обирається такий переріз, при якому 90% всіх житлових будинків досліджуваної області попадуть у внутрішню область еліпса. Функція ймовірності для геометричного місця точок матиме вигляд:

$$\begin{aligned} P(x, y) &= 1 - e^{-\lambda/2} \\ 1 - e^{-\lambda/2} &= 0,9 \end{aligned} \quad (5)$$

При такій умові значення щільності ймовірності становитиме $\lambda = 4,61$.

Довжини півосей еліпса ($a_{ел}$ - мала піввісь еліпса, $b_{ел}$ - велика піввісь еліпса) визначаються за такими формулами:

$$\begin{aligned} a_{ел} &= \sigma_y \sqrt{2\lambda(1-\rho^2)} \\ b_{ел} &= \sigma_x \sqrt{2\lambda(1-\rho^2)} \end{aligned} \quad (6)$$

Зв'язок між параметрами еліпса та коефіцієнтами функції Вох-Сох описується виразами:

$$b = k_1(a_{ел} + b_{ел}) \quad (7)$$

$$c = k_2 \frac{a_{ел}}{b_{ел}} \quad (8)$$

Де k_1, k_2 - коефіцієнти пропорційності.

Для проведення розрахунків у програмному середовищі Visum створено детальну (з точністю до окремої будівлі) модель території проходження міського тролейбусного маршруту № 29 Львова та внесено всі показники роботи маршруту (розклад руху, тривалості простою на зупинках тощо). Територію руху маршруту поділено на 15 транспортних районів. Кількість районів рівна кількості зупинок на маршруті в одному напрямку. Кількість жителів в будинку визначалася як добуток

кількості поверхів, під'їздів, квартир та жителів в квартирі. При розрахунку приймалося, що в кожному під'їзді є по 4 квартири, а в квартирі проживає 3 жителі. Згідно статистичних даних по місту Львову [14], станом на 2019 рік у Львові проживає 30,9% непрацюючого населення (діти до 14 років і пенсіонери), 21% студентів та 48,1% працюючого населення. З врахуванням цих даних розраховано середню кількість жителів кожної з груп населення в транспортних районах.

Для визначення пасажиропотоків на досліджуваному маршруті проводилися натурні дослідження протягом робочих днів тижня.

Результати розрахунків параметрів еліпсової моделі подано в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків параметрів розподілу житлових будівель на території проектування з врахуванням кількості жителів

Показник	Значення
Середнє математичне очікування MX	313250
Середнє математичне очікування MU	221652
Стандартне відхилення σ_x	311995
Стандартне відхилення σ_y	220756
Коефіцієнт кореляції ρ	0.99226

Значення коефіцієнтів пропорційності взято з рекомендацій авторів [15].

Згідно з формулами (6 - 8):

$$a_{ei} = 220756,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 4,61 \cdot (1 - 0,992259^2)} = 83244,84 \text{ м}$$

$$b_{ei} = 311995 \cdot \sqrt{2 \cdot 4,61 \cdot (1 - 0,992259^2)} = 117650,02 \text{ м}$$

$$b = 0,000006429 \cdot (83244,84 + 117650,02) = 1,291553072$$

$$c = -0,00615094 \cdot \frac{83244,84}{117650,02} = -0,00435218$$

Функція Вох-Сох набуде вигляду:

$$f(U_{ij}) = e^{\left(-0,00435218 \cdot \frac{U_{ij}^b - 1}{1,291553072} \right)}$$

На рис. 1 подано графік отриманої функції.

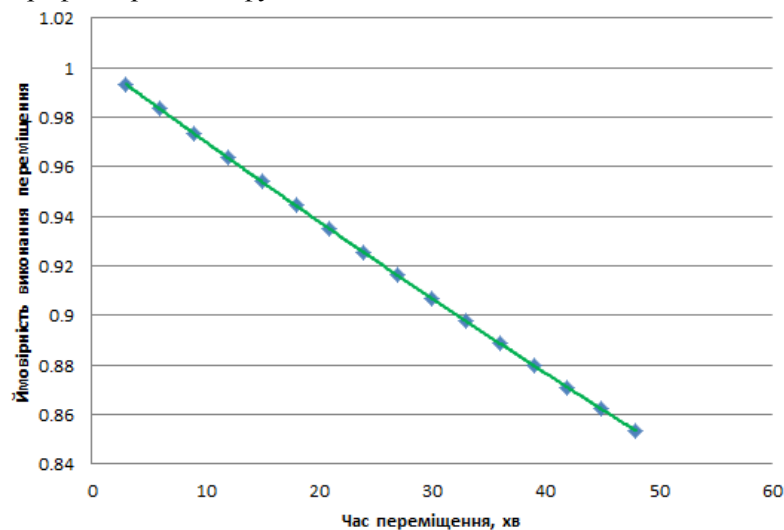


Рис. 1. Графік функції Вох-Сох, отриманий в результаті розрахунку показників еліпсової моделі території

При проведенні процедури розподілу руху пасажиропотоки розподілялися по семи шарах попиту: дім – робота, дім – навчання, дім – інше, робота – дім, навчання – дім, інше – дім та інше – інше. В результаті отримано 7 матриць кореспонденцій. Розподіл проводився на основі функції переваги Вох-Сох з вище розрахованими параметрами та матриці затрат часу на переміщення при користуванні досліджуваним маршрутом.

На основі результатів проведеного у Visum моделювання здійснено аналіз впливу на результати процедури розподілу перемішень значень коефіцієнтів функції переваги ВохСох. Очевидно, що зміна значень коефіцієнтів функції переваги не змінює сумарну величину матриці попиту, а тільки змінює розподіл кореспонденцій між районами.

Якщо значення коефіцієнта b залишають незмінним, а змінювати тільки значення коефіцієнта c , то величина відправок з транспортних районів залишатиметься незмінною, а кількість прибуттів змінюватиметься.

Аналогічно, при однаковому значенні коефіцієнта c зміна коефіцієнта b не змінює суму відправок транспортних районів, але змінює суму прибуттів. Також зміна коефіцієнта b змінює не тільки сумарні значення кореспонденцій, але й розподіл їх між районами. Для прикладу на рис. 2 подано матриці кореспонденцій для шару попиту дім – інше при значенні $b = 2$ та $b = 8$.

a)

Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sum	133.17	0.00	225.28	135.50	2721.19	0.00	114.08	68.48	1824.53	0.00	68.19	0.00	180.67	0.00	2234.94	
1	289.55	5.34	0.00	8.86	5.30	104.45	0.00	4.35	2.59	68.53	0.00	2.53	0.00	6.63	0.00	80.98
2	164.10	3.00	0.00	4.99	2.99	59.05	0.00	2.46	1.47	38.83	0.00	1.44	0.00	3.77	0.00	46.12
3	386.12	6.91	0.00	11.65	6.98	138.50	0.00	5.77	3.44	91.33	0.00	3.39	0.00	8.91	0.00	109.23
4	415.00	7.41	0.00	12.43	7.47	148.54	0.00	6.19	3.70	98.14	0.00	3.65	0.00	9.60	0.00	117.94
5	304.92	10.72	0.00	18.00	10.81	216.55	0.00	8.99	5.38	142.83	0.00	5.31	0.00	14.01	0.00	172.30
6	359.87	9.84	0.00	16.57	9.96	199.65	0.00	8.31	4.98	132.30	0.00	4.93	0.00	13.01	0.00	160.33
7	317.02	15.92	0.00	26.91	16.18	325.32	0.00	13.62	8.16	217.10	0.00	8.10	0.00	21.41	0.00	264.31
8	265.46	4.57	0.00	7.74	4.65	93.65	0.00	3.93	2.36	62.84	0.00	2.35	0.00	6.23	0.00	77.14
9	044.4	17.83	0.00	30.25	18.21	366.92	0.00	15.42	9.27	247.42	0.00	9.27	0.00	24.61	0.00	305.20
10	193.2	20.23	0.00	34.40	20.71	417.80	0.00	17.59	10.59	282.77	0.00	10.61	0.00	28.20	0.00	350.32
11	178.4	19.87	0.00	33.83	20.38	411.41	0.00	17.35	10.45	279.32	0.00	10.49	0.00	27.93	0.00	347.44
12	534.18	10.63	0.00	18.12	10.92	220.72	0.00	9.32	5.62	150.37	0.00	5.65	0.00	15.07	0.00	187.73
13	53.63	0.89	0.00	1.53	0.92	18.62	0.00	0.79	0.48	12.74	0.00	0.48	0.00	1.28	0.00	15.90
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

b)

Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sum	145.47	0.00	301.17	185.53	2499.46	0.00	171.83	100.16	2445.19	0.00	77.59	0.00	169.06	0.00	1610.56
1	289.55	79.77	0.00	131.88	74.90	2.95	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	164.10	21.44	0.00	35.73	21.31	82.43	0.00	3.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	386.12	12.23	0.00	30.26	18.16	305.55	0.00	12.60	3.16	4.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	415.00	13.52	0.00	24.07	14.44	282.25	0.00	11.74	5.78	63.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	304.92	13.93	0.00	29.29	17.58	351.70	0.00	14.61	8.38	169.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00
6	359.87	4.59	0.00	24.77	15.03	301.68	0.00	12.57	7.51	190.36	0.00	3.35	0.00	0.01	0.00
7	317.02	0.00	0.00	22.73	19.47	494.94	0.00	20.92	12.55	332.87	0.00	10.58	0.00	2.98	0.00
8	265.46	0.00	0.00	2.31	3.38	136.26	0.00	6.07	3.64	97.18	0.00	3.63	0.00	8.08	0.00
9	044.4	0.00	0.00	0.12	1.25	366.72	0.00	23.33	14.03	374.09	0.00	14.03	0.00	36.58	0.00
10	193.2	0.00	0.00	0.00	0.01	156.91	0.00	28.03	17.15	457.60	0.00	17.16	0.00	45.66	0.00
11	178.4	0.00	0.00	0.00	0.00	18.03	0.00	27.19	17.81	476.50	0.00	17.87	0.00	47.65	0.00
12	534.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	11.19	9.42	257.65	0.00	9.68	0.00	25.81	0.00
13	53.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.72	22.50	0.00	0.86	0.00	2.30	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Рис. 2. Матриця кореспонденцій для шару попиту дім – інше: а) при значенні коефіцієнта $b = 2$; при значенні коефіцієнта $b = 8$

За зміною значень матриць можна простежити, що при збільшенні значення коефіцієнта b всі кореспонденції починають тяжіти до шляхів з меншими затратами часу на переміщення і для сполучень між віддаленими транспортними районами кореспонденції стають нульовими (а, отже, реалістичність результатів розподілу стає сумнівною).

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для того, щоб оцінити величину зміни значень, проведено розрахунки абсолютних, відносних відхилень та коефіцієнтів варіації [16].

При значенні коефіцієнта функції Вох-Сох $c \geq -0,1$ коливання результатів є порівняно незначними. Відносні відхилення в цьому випадку не перевищують 15%, а середнє їх значення знаходиться в межах 7%. При зменшенні величини коефіцієнта c відхилення починають зростати, і при значеннях $-0,5 \geq c \geq -0,1$ середні відхилення знаходяться в межах 24 %. При збільшенні значення коефіцієнта c середні відносні відхилення зменшуються за прямолінійною залежністю (рис. 3):

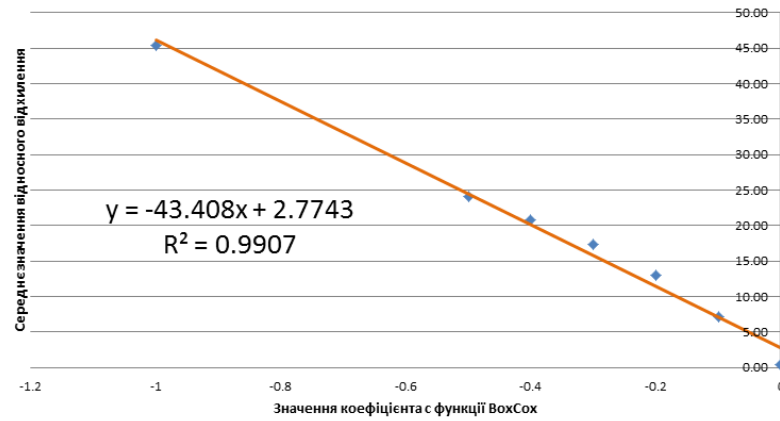


Рис. 3. Тенденція зміни середніх значень відносних відхилень величини кореспонденцій залежно від зміни значень коефіцієнта c

Щодо впливу зміни значень коефіцієнта b на розподіл кореспонденцій між транспортними районами можна зробити такі висновки:

- при значенні коефіцієнта $b \leq 2$ його зміна несуттєво впливає на величину розподілу кореспонденцій (середня відносна похибка становить 0,37%, максимальна – не перевищує 1%);
- при значенні коефіцієнта $2 \geq b \geq 4$ середня відносна похибка значень матриць кореспонденцій становить 7%, максимальне спостережуване значення – 16%;
- при значенні коефіцієнта $b \geq 4$ похибки починають різко зростати.

Графік зміни середніх відносних відхилень коефіцієнта b залежно від зміни його значення подано на рис. 4.

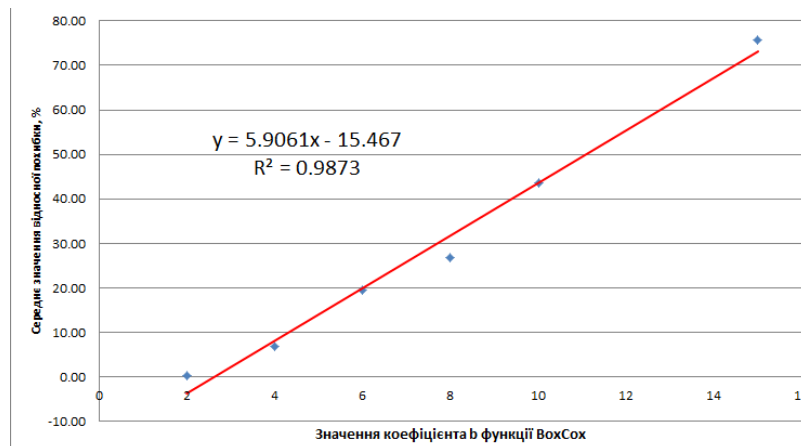


Рис. 4. Тенденція зміни середніх значень відносних відхилень величини кореспонденцій залежно від зміни значень коефіцієнта b

Для того, щоб оцінити наявність взаємозв'язку між значеннями відносних відхилень розподілу кореспонденцій по транспортних районах та кількістю жителів і кількістю місць культурно-побутового призначення в районі, проведено регресійний аналіз. Проте результати аналізу не показали достатнього зв'язку між цими показниками: коефіцієнт кореляції Пірсона в жодному з випадків не перевищив значення 0,6 (точність регресійної моделі достатня при значенні $R > 0.7$), а коефіцієнт детермінації R^2 - значення 0,36 (точність регресійної моделі достатня при значенні коефіцієнта детермінації $R^2 > 0.5$).

ВИСНОВКИ

Щоб оцінити вплив значень параметрів функції переваги Вох-Сох на значення матриць кореспонденцій, отриманих в результаті розподілу попиту на переміщення громадським транспортом у Visum, проводився перерахунок етапу при різних значеннях коефіцієнтів b та c . Зміна значень коефіцієнтів не здійснює впливу на сумарну величину матриці кореспонденцій та не змінює сумарні

значення рядків матриці (кількість відправок), проте змінює сумарні значення стовпців матриці (кількість прибуттів). Визначено, що якщо значення коефіцієнта c знаходяться в межах від -1 до 0 , то його зміна несуттєво вплине на розподіл кількості переміщень між районами. Якщо ж значення $c < -1$, то похибка в його розрахунку вплине на достовірність отриманого результату. Незначний вплив на результати розрахунку кореспонденцій спостерігався при значенні коефіцієнта b менше 4 . При подальшому зростанні b похибки результатів розрахунку матриць стають значними, а кореспонденції починають прив'язуватися тільки до шляхів з меншою тривалістю поїздки, що не відповідає реальним умовам розподілу переміщень.

Отримані результати допоможуть дослідникам оцінити необхідну величину вибірки при визначенні значень коефіцієнтів функції переваги Вох-Сох для етапу розподілу попиту на основі проведення анкетувань чи натурних досліджень. Якщо при мінімальній величині вибірки отримані коефіцієнти знаходяться в межах $c > -1$ чи $b < 4$, то результати можна застосовувати для моделювання, якщо ж значення коефіцієнтів є вищими, то доцільно провести додаткові дослідження, щоб неточність в їх розрахунку не вплинула негативно на результат моделювання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Любий Є.В. Транспортне планування міст: сучасні інструменти транспортного моделювання автотранспортних систем / Є.В. Любий, Н.В. Пономарьова, О.С. Чернишова // Комунальне господарство міст. – Харків, 2016. – Випуск 128. с. 76-82.
2. VISUM 11.5. Basics. Karlsruhe, 2010. 756 p.
3. Willumsen G., Ortuzar D. Modelling Transport. 3rd Edition, London, 2006. – 300 p.
4. Брайлоский Н.О., Грановский Б.И. Моделирование транспортных систем. М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
5. Cascetta, E. Transportation Systems Analysis. Springer Optimization and Its Applications. – Springer US, 2009. – 742 p.
6. Бонсалл П.У., Чемпертоун А.Ф., Мейсон А.К., Уилсон А.Г. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе. Пер. с англ. М.: Транспорт, 1982. – 207 с.
7. Доля В.К. Пасажи́рські перевезення: підручник. Х.:Форт, 2011. – 504 с.
8. Понкратов Д.П. Вибір пасажирами шляху пересування у містах: монографія / Д.П. Понкратов, Г.І. Фалецька – Х.: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 164 с.
9. Свічинська О.В. Удосконалення моделей вибору шляху пересування пасажирів в маршрутних системах міст: автореф. дис. канд. техн. наук спеціальності 05.22.01. Харків, 2015. – 23 с.
10. Горбачов, П. Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.22.01. Харків, 2009. – 39 с.
11. Хорольський В.Р. Дослідження закономірностей вибору пасажирами альтернативних маршрутів сполучення / В.Р. Хорольський, В.В. Богаєнко, В.О. Шерметов // Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві. Вісник КрНУ ім. М.Остроградського. – 2016. – Вип. 5, ч.2. с.71 – 76.
12. Кристопчук М.Є. Дослідження факторів впливу на розподіл пасажирських кореспонденцій по маршрутній мережі. «Наукові нотатки». – 2014. – Випуск № 45. Луцьк. с. 317 – 322.
13. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. – Москва, 2013. – 188 с.
14. Головне управління статистики у Львівській області. URL: http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/themes/19/theme_19.php?code=19.
15. Трофименко Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов – М.: Логос, 2013. – 464 с.
16. Клименко Л.П. Метрология, стандартизация та управління якістю / Л.П. Клименко, Л.В. Пізінцалі, Н.І. Александровська, В.Д. Євдокимов – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 243 с.

REFERENCES

1. Liubiyi, Ye.V., Ponomarova, N.V., Chernyshova O.S. (2016). Transportne planuvannya mist: suchasni instrumenty transportnoho modeliuвання avtotransportnykh system. Komunalne hospodarstvo mist. 128, 76 – 82.
2. VISUM 11.5. Basics. Karlsruhe, 2010. 756 p.
3. Willumsen G., Ortuzar D. (2006). Modelling Transport. 3rd Edition, 300.

4. Brailovskyi, N.O., Hranovskyi, B.Y. (1978). Modelyrovanye transportnykh system, 125.
5. Cascetta, E. (2009). Transportation Systems Analysis, 742.
6. Bonsall P.U., Chempertoun A.F., Meison A.K., Uylson A.H. (1982). Modelyrovanye passazhyropotokov v transportnoi systeme. Transport. 207.
7. Dolia, V.K. (2011). Pasazhyrski perevezennia: pidruchnyk, 504.
8. Ponkratov, D.P., Faletska, H.I. (2015). Vybir pasazhyramy shliakhu peresuvannia u mistakh: monohrafiia. 164.
9. Svichynska, O.V. (2015). Udoskonalennia modelei vyboru shliakhu peresuvannia pasazhyriv v marshrutnykh systemakh mist: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk spetsialnosti 05.22.01. Kharkiv. 23.
10. Horbachov, P. F. (2009). Kontseptsiia formuvannia system marshrutnoho pasazhyrskoho transportu v mistakh: avtoref. dys. dokt. tekhn. nauk: spets. 05.22.01. Kharkiv. 39.
11. Khorolskyi, V.R., Bohaienko, V.V., Shermetov, V.O. (2016). Doslidzhennia zakonmironosti vyboru pasazhyramy alternatyvnykh marshrutiv spoluchennia. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni, transporti ta hirnytstvi. Visnyk KrNU im. M.Ostrohradskoho. 5(2), 71 – 76.
12. Krystopchuk, M.Ie. (2014). Doslidzhennia faktoriv vplyvu na rozpodil pasazhyrskykh korespondentsii po marshrutnii merezhi. «Naukovi notatky». 45, 317 – 322.
13. Iakymov, M.R. (2013). Transportnoe planyrovanye: sozdanye transportnykh modelei horodov: monohrafiia, 188.
14. Holovne upravlinnia statystyky u Lvivskii oblasti. URL: http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/themes/19/theme_19.php?code=19.
15. Trofymenko, Yu.V., Yakymov, M.R. (2013). Transportnoe planyrovanye: formyrovanye efektyvnykh transportnykh system krupnykh horodov: monohrafiia, 464.
16. Klymenko, L.P., Pizintsali, L.V., Aleksandrovska, N.I., Yevdokymov, V.D. (2011). Metrolohiia, standartyzatsiia ta upravlinnia yakistiu, 243.

H. Pivtorak, V. Holomovzyy, M. Zhyla. Assessment of the influence of changes in the parameters of the utility function on the trip distribution between the transport zones of the city.

The purpose of this work was to determine the coefficients of the utility function of Box-Cox in the distribution in the Visum software demand for public transport in Lviv and assess the impact of their change on the results of the trip distribution.

The trolleybus route № 29 of Lviv was chosen for the simulation. The territory of its passage was digitized in Visum, the necessary initial information about the route was entered, as well as field research was carried out in order to determine the size of passenger flows and the formation of the initial matrix of correspondence.

At the stage of trip generation, when calculating the four-stage model of transport planning, the total number of trips produced and attracted by each transport zone on the route is determined. At the stage of trip distribution, the received correspondence is distributed between the activity pairs (depending on the purpose of the trip). As a result, seven demand matrices were obtained. The coefficients of the Box-Cox utility functions were determined based on the results of constructing an elliptical model of the survey territory.

To analyze the influence of the values of the coefficients of the utility function Box-Cox on the values of the resulting matrices in Visum recalculated the stage of trip distribution at different values of the coefficients. The change in the coefficients does not affect the total amount of trips but affects the number of arrivals in each transport zone. The limit values of each of the coefficients are calculated, at the excess of which the error in their definition significantly affects the values of the elements of the matrix

Based on the calculations, it can be concluded that at insignificant values of the coefficients of the utility function Box-Cox inaccuracy of their definition is permissible, but with increasing absolute values, the error in their calculation significantly affects the final result.

Key words: transport modeling, four-stage demand model, trip distribution, utility function, PTV Visum

ПІВТОРАК Галина Василівна, старший викладач кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: halyna.v.pivtorak@lpnu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-3645-1586>

ГОЛОМОВЗІЙ Віктор Миколайович, кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту та міжнародного підприємництва, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: viktor.m.holomovzyi@lpnu.ua.

ЖИЛА Мар'яна Павлівна, студентка кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: mariana.zhyla@gmail.com

Halyna PIVTORAK, lecturer of department of transport technologies, Lviv National Polytechnic University, e-mail: halyna.v.pivtorak@lpnu.ua. <https://orcid.org/0000-0003-3645-1586>

Viktor HOLOMOVZYY, PhD (Economics), Associate Professor, Department of Management and International Business, Lviv National Polytechnic University, e-mail: viktor.m.holomovzyi@lpnu.ua.

Mariana ZHYLA, student of department of transport technologies, Lviv National Polytechnic University, e-mail: mariana.zhyla@gmail.com

DOI 10.36910/automash.v2i15.399

Самостян В. Р.
Луцький національний технічний університет

ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПІДХОДІВ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В індустріально розвинених країнах імітаційне моделювання логістичних ланцюгів використовується досить широко і рахується звичайною складовою частиною проектів по створенню нових або реконструкції існуючих логістичних ланцюгів. В даній статті були розглянуті три підходи до імітаційного моделювання логістичних систем. Розглядалося застосування різних підходів імітаційного моделювання для оцінки ефективності логістичних процесів. Представлена узагальнена структура імітаційної моделі функціонування логістичної системи. Для її реалізації запропоновано використання тривіневого комплексу моделей, що використовують різні парадигми імітаційного моделювання. Були розглянуті та окреслені переваги кожного із підходів імітаційного моделювання логістичних процесів, зокрема: системний динаміка, дискретно-ситуативний підхід, агентний підхід. Визначено призначення моделей кожного підходу: системна динаміка – для проектування загальної структури логістичної системи; дискретно-ситуативний підхід – для поліпшення параметрів окремих логістичних процесів; агентний підхід – для незалежного територіально-розподіленого ланцюга поставок. Для прикладу було взято узагальнену імітаційну модель логістичної системи у вигляді «чорного ящика». Запропоновано приклад реалізації рівня дискретно-ситуативних моделей у вигляді трьох типових видів моделей. У середовищі імітаційного моделювання Agena розроблена мультипродуктова модель для оцінки базових показників ефективності логістичної системи: рівень обслуговування, середній рівень запасів, середній рівень затриманих замовлень, загальна кількість втрачених або затриманих замовлень.

В ході подальшої роботи планується наповнення запропонованого комплексу моделей з використанням всіх трьох підходів імітаційного моделювання. В цілому можна зробити висновок, що застосування переваг кожного із підходів імітаційного моделювання є перспективним і може бути використаний для широкого кола підприємств різних галузей діяльності.

Ключові слова: імітаційне моделювання, логістична система, дискретно-ситуативний підхід, агентний підхід, ланцюги поставок, постачальник.

ВСТУП

Ефективність роботи всієї логістичної системи будь якого транспортного підприємства залежить від своєчасної переробки великих обсягів оперативної інформації та обґрунтованості прийняття відповідальних управлінських рішень. Для досягнення мети транспортних підприємств, в умовах невизначеності і ризику, зводиться до оцінки логістики матеріальних потоків і технологічних операцій на всіх стадіях виробництва від поставок сировини до реалізації готової продукції з перебуванням оптимальних рішень в оперативних умовах і довгострокових стратегіях діяльності підприємства.

Стан складної логістичної системи в умовах невизначеності і ризику в більшості випадків непередбачуваний і не може бути прогнозований спочатку аналітично або шляхом логічного аналізу, так як він є результатом багатокрокової взаємодії безлічі матеріальних потоків і активних автономних елементів системи і навколишнього середовища. Аналітичні методи прийняття рішення розглядають статичні стани окремих виробничих сфер без урахування динаміки поведінки кожного активного елементу і його прямого впливу на стан інших елементів.

Оцінка і вибір стратегії виробничої діяльності в невизначеній ситуації поставок, виробництва і попиту на продукцію можлива за допомогою імітаційного моделювання поведінки кожного елемента виробничої системи. Тому, для вирішення задачі оптимізації управління запасами і матеріальними потоками в сферах поставок сировини, його переробки, зберігання і збуту готової продукції є соціально значущою і актуальною розробка об'єктно-орієнтованих мультиагентних імітаційних моделей стану і поведінки складних логістичних систем підприємства при початковій стохастичній невизначеності виробничих і маркетингових ситуацій.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В умовах жорсткої конкуренції компанії стикаються з проблемами мінімізації витрат, максимізації прибутку, поліпшення якості обслуговування клієнтів і зниження впливу факторів невизначеності. Логістика є однією зі сфер діяльності, що швидко розвиваються та дають підприємствам значні переваги в конкурентній боротьбі. У зв'язку з цим корпоративні структури мають сильну мотивацію до підвищення ефективності управління логістичними процесами для отримання конкурентних переваг. Концепція управління ланцюгами поставок – один з найбільш

стрімко розвинутих напрямків наукової та практичної діяльності протягом останніх десятиліть. Управління ланцюгами поставок означає управління потоком (матеріали, товари, послуги) і забезпечення ефективної інтеграції та координації постачальників, виробників, логістичних та торгових компаній і споживачів. Найбільш складним етапом в управлінні ланцюгами поставок є процес прийняття рішення, так як необхідно проаналізувати безліч взаємопов'язаних, часто хаотичних подій. Для того, щоб досягти загального зниження витрат в ланцюзі постачань при заданому рівні якості обслуговування кінцевих споживачів необхідно знайти компроміс між вартістю, сервісом, якістю і часом.

Можна виділити три можливих шляхи вирішення подібних завдань: аналітичні (математичні) моделі; фізичні експерименти; імітаційні моделі. Очевидно, що фізичні експерименти вимагають, як правило, великих технічних і фінансових витрат. Використання відомих аналітичних моделей обмежена аналізом щодо простих систем особливо в умовах невизначеності [3-5]. Імітаційне моделювання дозволяє аналізувати логістичні процеси практично будь-якої складності [1]. За допомогою симуляції вже на етапі проектування можна порівняти і оцінити альтернативи реалізацій процесів, провести ряд експериментів з різними показниками («що - якщо») і зробити найбільш обґрунтований і ефективний вибір [3].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою роботи є дослідження можливостей підходів до імітаційного моделювання для оцінки ефективності і поліпшення логістичних процесів. Використання переваг кожного із підходів до імітаційного моделювання дасть можливість якісно, ефективно та з найменшими затратами часу змодельовати логістичну систему.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В індустріально розвинених країнах імітаційне моделювання логістичних ланцюгів використовується досить широко і рахується звичайною складовою частиною проектів по створенню нових або реконструкції існуючих логістичних ланцюгів. Такі компанії, як BMW, Daimler-Chrysler, MercedesBenz, Audi використовують імітаційне моделювання, як інструмент прийняття логістичних рішень. Світова статистика прийняття рішень на основі імітаційних моделей дозволяє говорити про підвищення ефективності управління логістичними процесами в середньому на 10 - 15% [2].

Для прикладу візьмемо узагальнену імітаційну модель логістичної системи у вигляді «чорного ящика» (рис. 1).

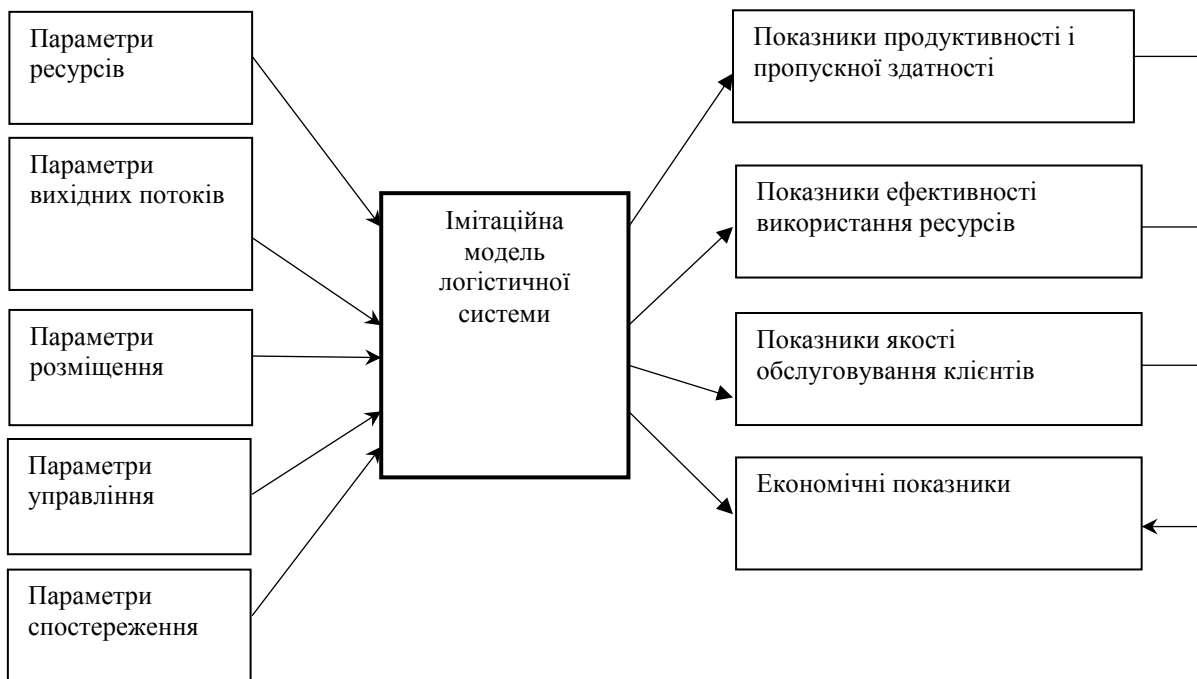


Рисунок 1. Вхідні дані і результати імітаційного моделювання

Первинні показники на виході моделі вимірюються за допомогою відповідних фізичних величин, наприклад, обсяг перевезеного або обробленого вантажу, моменти часу початку і закінчення операцій, сумарний шлях, пройдений транспортними засобами, тощо. Шляхом використання

відповідних нормативних коефіцієнтів на базі цих показників можуть бути розраховані будь-які необхідні економічні показники. Існує три основних підходи до імітаційного моделювання (системна динаміка, дискретно-точкові і агентні підходи), кожен з яких має свої переваги і недоліки. Парадигма імітаційного моделювання, яка використовується в моделі управління ланцюгами поставок, багато в чому залежить від типу завдань, які необхідно вирішити. Основний критерій, який має важливий вплив на розробку імітаційної моделі логістичних процесів, – це рівень декомпозиції (деталізації) системи.

Схема імітаційної моделі, зображена на рис. 1, може бути реалізована будь-яким з підходів імітаційного моделювання. Але не всі логістичні завдання можна вирішити з використанням тільки одного підходу, часто необхідно комбінувати підходи в межах однієї моделі, щоб досягти бажаного результату. Звідси важливим є комплексність підходу до моделювання логістичних систем, поєднання різних парадигм імітаційного моделювання, що дозволить використовувати перевагу кожної з них. Пропоноване різнопланове моделювання полягає в реалізації комплексу моделей, в якому результати, отримані за допомогою одного типу моделей, можуть бути використані в інших моделях. У створюваному комплексі моделей можна виділити три інтегрованих рівня (рис. 2), рухаючись по яких «зверху-вниз» або «знизу-вгору» можна вирішувати завдання проектування і оцінки ефективності логістичних систем.

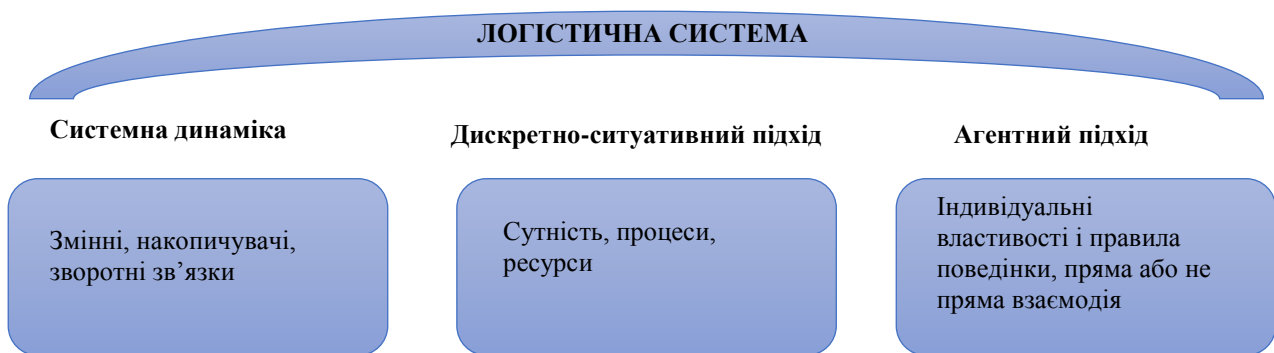


Рисунок 2. Підходи реалізації комплексу логістичних систем

Як правило, вже на етапі розробки концептуальної моделі дослідник точно знає, за допомогою якого підходу імітаційного моделювання модель буде реалізована у вигляді комп'ютерної програми. Тому багато елементів концептуальної моделі (наприклад, типи відображення логістичних об'єктів і ресурсів системи) бувають безпосередньо зорієнтовані на можливості відповідного підходу імітаційного моделювання. Завжди враховується той факт, що в більшості сучасних підходів імітаційного моделювання готова модель представляється як мережева структура, вузли якої є представниками (об'єктами) відповідних бібліотечних компонентів (класів). Якщо розробник моделі знайомий з конкретним підходом імітаційного моделювання, для нього не складе великих труднощів вибрати в бібліотеці компоненти, найкращим чином відповідні компонентам концептуальної мережевої моделі. Але саме побудова концептуальної мережевої моделі є найбільш складним етапом дослідження, пов'язаного із застосуванням імітаційного моделювання при аналізі логістичних систем. Повна методологія створення концептуальних моделей, орієнтованих на вивчення матеріальних потоків в логістичних мережах, включає в себе принципи побудови наступних часткових моделей:

- моделей структури системи обробки матеріальних потоків;
- моделей асортименту і кількості вантажів в потоках;
- моделей просторової вкладеності вантажів, носіїв вантажу, транспортних засобів і стаціонарних сховищ вантажу;
- тимчасових моделей вхідних потоків системи;
- моделей для визначення тривалості технологічних операцій;
- моделей маршрутизації динамічних об'єктів (транспортних засобів, носіїв вантажу і самих вантажів);
- моделей об'єднання і поділу динамічних об'єктів;
- моделей стратегій обробки черг очікування;
- моделей стратегій управління запасами;
- моделей процесів розподілу ресурсів і диспетчеризації.

Перша із зазначених часткових моделей є моделлю фізичної (просторової) структури системи. Моделі другого і третього типу служать для відображення структури логістичних об'єктів, що переміщуються і зберігаються в системі. Всі інші моделі складають в сукупності модель процесу, що розвивається в логістичній системі. Переважна більшість імітаційних моделей систем внутрішньої логістики і мереж поставок створюються за допомогою програмних продуктів імітаційного моделювання для процесів з дискретними подіями, таких як Arena, AutoMod, eM-Plant (SIMPLE ++, Plant Simulation), Enterprise Dynamics, Extend, ProModel, QUEST, Simul8 і WITNESS, а також за допомогою універсального імітаційного моделювання AnyLogic. Порівняно нескладні або навчальні моделі створюються також за допомогою мови GPSS, представленого на ринку у формі двох різних продуктів: GPSS World і GPSS / H.

Дискретно-ситуативний підхід. Моделі даного рівня призначені для оцінки ефективності окремих процесів як внутрішньої, так і зовнішньої логістики підприємства. До внутрішньої логістики відноситься переміщення об'єктів всередині всієї території підприємства або в окремих підрозділах. До зовнішньої логістики відноситься перевезення вантажів між різними географічними пунктами із застосуванням засобів транспортування: автомобільного, залізничного, морського і повітряного. Дискретно-ситуативний підхід комплексу моделей можна представити у вигляді трьох типових видів моделей, що охоплюють більшість логістичних процесів внутрішньої і зовнішньої логістики: базова модель (1 продукт - 1 клієнт): мультипродуктова модель (кілька продуктів і клієнтів); багатоланкова (multichain) модель (ланцюжок поставок, багатоклієнтний постачальник – виробник, дилер, оптовий продавець і споживач і т. д.)

Розглянемо мультипродуктову модель, реалізовану в середовищі імітаційного моделювання Arena 13.5. Виробничі потужності випускають три типи продуктів, які поставляються трьох незалежних потоків клієнтів. Вихідний матеріал (сировина) надходить у виробничий процес, а готова продукція зберігається на складі. Замовлення клієнтів надходять в систему, і якщо попит (розмір замовлення) не може бути задоволений поточним запасом готової продукції, то не забезпечена частина замовлення втрачається або затримується. Кожен продукт має власні налаштування параметри попиту і зберігання. Модель складається з двох сегментів: управління запасами і управління попитом. Сегмент управління запасами (рис. 3) моделює виробничі потужності.

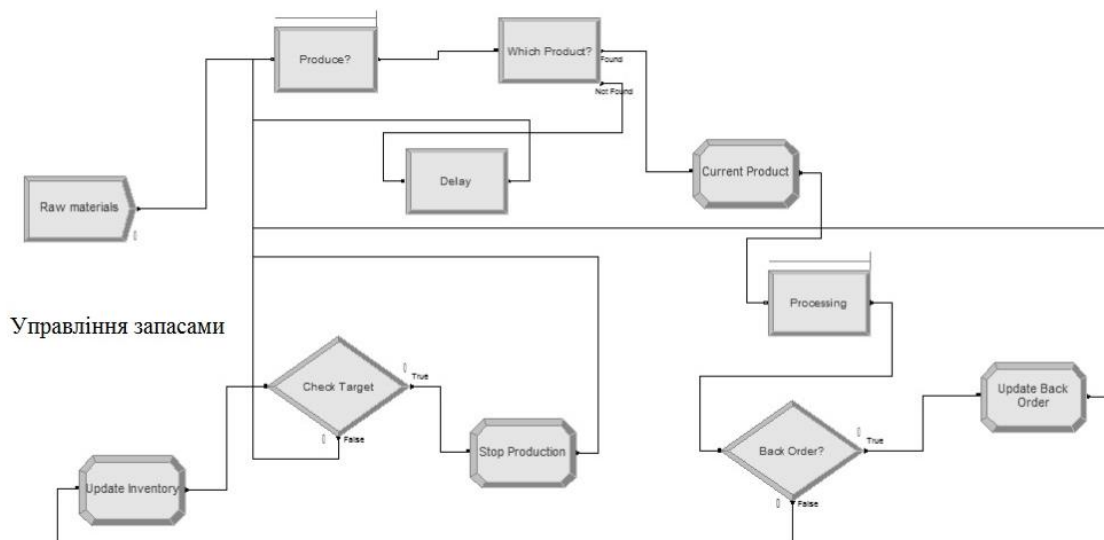


Рисунок 3. Управління запасами

Модуль Create (ім'я Raw Material) генерує одну єдину одиницю, яка управляє процесом виробництва для всіх типів продуктів. Модулі Hold (ім'я Produce?) і Search (ім'я Which Product?) Ініціюють запуск на виробництво одного з типів продуктів, включаючи облік пріоритету продуктів. Модуль Processing імітує виробництво поточного виду продукції. Потім в блоках Decide (ім'я Back Order) і Assign (Update Back order) перевіряється виконання затриманих замовлень, блок Update Inventory оновлює рівень поточних запасів і в завершенні циклу в модулі Decide (ім'я Check Target) перевіряється досягнення цільового рівня запасів. У сегменті управління попитом (рис. 4) моделюється прибуття замовлень на готову продукцію.



Рисунок 4. Управління попитом

Блоки Create (ім'я Customer 1, 2, 3 Arrives) генерують суті (замовлення клієнтів) на продукти трьох типів, а в модулях Assign (Customer 1, 2, 3 Demand) задаються розміри замовлень, що надійшли. При недостатньому рівні запасів для задоволення поточного замовлення, заявка переходить з виходу модуля Decide (ім'я Check Inventory) в модуль Assign (ім'я Lost Customer), який оновлює статистику по затриманим і невиконаним замовленням. При наявності достатнього запасу після поновлення поточного рівня запасів в модулі Assign (ім'я Take Away from Inventory) виконується перевірка в модулі Decide (ім'я Restart Production?). Необхідності відновлення запасів для даного типу продуктів, якщо поточний рівень запасів даного типу продукту знизився (менше або дорівнює) до точки замовлення Reorder Level. У моделі можна управляти такими показниками, як початковий рівень запасів на складі, частота надходження замовлень і їх кількість, розмір партії і час виробництва та ін. Тим самим оцінюючи: рівень обслуговування клієнтів (наприклад, частка задоволених вимог замовника, Fill rate), середній рівень запасів (Stock on Hand) і середній рівень затриманих замовлень, швидкість (в одиницю часу) і загальна кількість втрачених або затриманих замовлень (BackOrder і Lost Sales). Таким чином, рівень дискретно-ситуативних моделей використовується для поліпшення параметрів окремих логістичних процесів – процесів фізичного переміщення в часі і просторі матеріальних об'єктів.

Методологія створення дискретно-ситуативних імітаційних моделей, орієнтованих на вивчення матеріальних потоків в логістичних мережах, включає в себе принципи побудови таких окремих моделей:

- моделей структури системи обробки матеріальних потоків;
- моделей асортименту і кількості вантажів в потоках;
- моделей просторової вкладеності вантажів, носіїв вантажу, транспортних засобів і стаціонарних сховищ вантажу;
- тимчасових моделей вхідних потоків системи;
- моделей для визначення тривалості технологічних операцій;
- моделей маршрутизації динамічних об'єктів (транспортних засобів, носіїв вантажу і самих вантажів);
- моделей об'єднання і поділу динамічних об'єктів;
- моделей стратегій управління запасами;
- моделей процесів розподілу ресурсів і диспетчеризації;

Методологія створення дискретно-ситуативних імітаційних моделей може бути розширена з урахуванням специфіки об'єкта, що моделюється і досліджуваних логістичних процесів.

Агентні моделі. При наявності великої кількості незалежних клієнтів або територіально-розподіленого ланцюжка поставок, який характеризується наявністю незалежних учасників, необхідно використовувати агентний підхід. Глобальна поведінка в такій системі виникає, як результат діяльності агентів, кожен з яких слідує своїми власними правилами. Перевагою агентного моделювання є можливість оцінки ефективності взаємодії агентів один з одним, а саме: агенти обмінюються необхідною інформацією (кількість замовлень, розподіл попиту і т.п.) і приймають рішення на підставі отриманих даних, що знижує ризик появи ефекту «хлиста». Моделювання спілкування агентів допомагає виявляти позитивний або негативний ефект від дій одного агента на іншого. Наприклад, експерименти з агентною моделлю ланцюга поставок допоможуть менеджеру

проаналізувати вплив обміну інформацією партнерів на рівень запасів і вибрати оптимальну стратегію для мінімізації витрат на їх зберігання.

ОБГОВОРЕННЯ РЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Імітаційне моделювання логістичних систем різного призначення є в індустріально розвинених країнах цілком звичайною складовою частиною проектів, спрямованих на створення нових або реконструкцію існуючих логістичних систем. У Західній Європі та США є досить багато фірм, які пропонують таке моделювання як основний або додатковий вид послуг, які виконуються в рамках консалтингових або проектних робіт. При цьому у замовників давно склалася думка, що розробку складних (і, отже, дорогих) моделей можна доручати тільки фахівцям, що мають статус експертів в області імітаційного моделювання логістичних систем, які:

- володіють базовими інженерними та економічними знаннями, необхідними для розуміння принципів функціонування певних класів логістичних систем;
- володіють методами системного аналізу та управління проектами, необхідними для коректної постановки задачі моделювання та організації всіх етапів робіт по реалізації та використанню моделей;
- володіють незалежними від конкретних моделей загальними методами імітаційного моделювання, особливо, математичними методами;
- володіють методами роботи з одним або декількома підходами імітаційного моделювання і вміють створювати власні комп'ютерні програми;
- знайомі з сучасними інформаційними технологіями, що забезпечують інтеграцію моделей в системах проектування, планування та управління.

ВИСНОВКИ

У статті розглядається застосування різних підходів імітаційного моделювання для оцінки ефективності логістичних процесів. Представлена узагальнена структура імітаційної моделі функціонування логістичної системи. Для її реалізації запропоновано використання тривіневого комплексу моделей, що використовують різні парадигми імітаційного моделювання (системна динаміка, дискретно-ситуативний підхід, агентний підхід). Визначено призначення моделей кожного рівня: системна динаміка – для проектування загальної структури логістичної системи; дискретно-ситуативний підхід – для поліпшення параметрів окремих логістичних процесів; агентний підхід – для незалежного територіально-розподіленого ланцюжка поставок. Запропоновано приклад реалізації рівня дискретно-ситуативних моделей у вигляді трьох типових видів моделей. У середовищі імітаційного моделювання Arena розроблена мультипродуктова модель для оцінки базових показників ефективності логістичної системи: рівень обслуговування (Fill rate), середній рівень запасів (Stock on Hand), середній рівень затриманих замовлень, загальна кількість втрачених або затриманих замовлень (BackOrder і Lost Sales). В ході подальшої роботи планується наповнення запропонованого комплексу моделей з використанням всіх трьох підходів імітаційного моделювання. В цілому можна зробити висновок, що застосування переваг кожного із підходів імітаційного моделювання є перспективним і може бути використаний для широкого кола підприємств різних галузей діяльності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник для вузов. – 20-е изд., перераб. и доп. // М.: Дашков и К, 2012. – 484 с.
2. Рожков М.И. Имитационное моделирование логистических сетей поставщиков в автомобильной промышленности // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 2. – С. 40 – 49.
3. Толуев Ю.И. Методология создания моделей логистических сетей на базе стандартных средств имитационного моделирования // Logistics, Supply Chain Management and Information Technologies: Proceedings of the German-Russian Logistics Workshop. Ivanov D., Kuhn A., Lukinsky V. (eds.), St. Petersburg, Publishing House of the State Polytechnic University, 2006. – P. 133-142.
4. Cachon G., Terwiesch C. «Matching Supply With Demand: An Introduction To Operations Management» // 2008, McGraw-Hill Higher Education s. 486.
5. Terzi S., Cavalieri S. «Simulation in the supply chain context: a survey», // Computers in Industry. – 2004. Vol. 53. P. 3 – 16.

REFERENCES

1. Gadginckii A. M. Logistika: Ychebnik dlia vyzov. – 20-e izd., pererab. i dop. // M.: Dashkov i K, 2012. – 484 c.
2. Rogkov M. I. Imitatsionoe modelirovanie logisticheskikh setey postavchikov v avtomobilnoj promyshlenosti // Logistika i upravlenie tsepiami postavok. – 2012. – № 2. – С . 40 – 49.
3. Tolyev Yu.I. Metodologiya sozdania modeley logisticheskikh setey na baze standartnuh sredstv imitatsionnogo modelirovania // Logistics, Supply Chain Management and Information Technologies: Proceedings of the German-Russian Logistics Workshop. Ivanov D., Kuhn A., Lukinsky V. (eds.), St. Petersburg, Publishing House of the State Polytechnic University, 2006. – P. 133-142.
4. Cachon G., Terwiesch C. «Matching Supply With Demand: An Introduction To Operations Management» // 2008, McGraw-Hill Higher Education s. 486.
5. Terzi S., Cavalieri S. «Simulation in the supply chain context: a survey», // Computers in Industry. – 2004. Vol. 53. P. 3 – 16.

V. Samostian. Efficient use of approaches for simulation modeling of logistics processes

In industrialized countries, simulation of logistics chains is widely used and is considered a common part of projects to create new or renovate existing logistics chains. In this article, three approaches to simulation modeling of logistics systems were considered. The application of different approaches of simulation modeling to evaluate the efficiency of logistics processes was considered. The generalized structure of the simulation model of the logistics system functioning is presented. To implement it, the use of a three-level set of models using different paradigms of simulation modeling is proposed. The advantages of each of the approaches of simulation modeling of logistics processes were considered and outlined, in particular: system dynamics, discrete-situational approach, agent approach. The purpose of the models of each approach is determined: system dynamics - for designing the general structure of the logistics system; discrete-situational approach - to improve the parameters of individual logistics processes; agent approach - for an independent territorially distributed supply chain. For example, a generalized simulation model of the logistics system in the form of a "black box" was taken. An example of realization of the level of discrete-situational models in the form of three typical types of models is offered. In the simulation environment Arena developed a multi-product model to assess the basic performance of the logistics system: the level of service, the average level of stocks, the average level of delayed orders, the total number of lost or delayed orders.

In the course of further work it is planned to fill the proposed set of models using all three approaches of simulation. In general, we can conclude that the application of the advantages of each of the approaches to simulation is promising and can be used for a wide range of enterprises in different industries.

Keywords: simulation modeling, logistics system, discrete-situational approach, agent approach, supply chains, supplier.

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Луцький національний технічний університет e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Viktor SAMOSTIAN, PhD in Engineering, associate professor of engineering and computer graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

DOI 10.36910/automash.v2i15.400

Сахно¹ В.П., Яценко¹ Д.М., І.С., Диких¹ О.В., Стельмашук² В.В., Онищук² В.П.
¹Національний транспортний університет
²Луцький національний технічний університет

ДО ВИБОРУ ТИПУ ДВИГУНА ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ БТР-70

В роботі розглянуті варіанти переобладнання БТР-70 шляхом встановлення на шасі цього автомобіля замість двох двигунів ЗМЗ-4905 двох двигунів General Motors потужністю 103 кВт, або двох двигунів IVECO Tector P4 потужністю 110,4 кВт, або двох двигунів D245.30E2 потужністю 115 кВт, або двох двигунів різної потужності – потужність основного двигуна DEUTZ TCD 2013 L4 4V 161 кВт і потужність додаткового двигуна DEUTZ D 914L3 43 кВт. В основу порівняльного аналізу покладено основні показники тягово-швидкісних властивостей, що отримані шляхом розв'язку диференціального рівняння руху, вихідними даними для якого слугують масові та геометричні параметри автомобіля та умови експлуатації. Вибір кращого варіанту виконано на основі порівняння кожного показника тягово-швидкісних властивостей з еталоном, у якості якого прийнято кращий показник із усіх можливих варіантів. За результатами розрахунків встановлено, що показники тягово-швидкісних властивостей автомобіля з двигунами IVECO Tector P4, D245.30E2 і двома двигунами DEUTZ TCD 2013 майже однакові і змінюються від найбільшого значення (двигуни D245.30E2) до найменшого (два двигуни DEUTZ TCD 2013) в межах 4%, не зважаючи на те, що їх потужність змінюється на 11,3%. Тому вибір кращого типу двигуна при переобладнанні БТР-70 повинен проводитися з урахуванням інших показників, зокрема, паливної економічності.

Ключові слова: БТР-70, двигун, потужність, модернізація, показник, тягово-швидкісні властивості, еталон, диференціальне рівняння руху

ВСТУП

На виставці "Зброя і безпека-2018" крім абсолютно нових моделей і прототипів перспективних зразків озброєнь представлено і досить велика кількість варіантів модернізації старої радянської техніки. Це перш за все лінійка БМП (як БМП-1, так і БМП-2), а також бронетранспортери БТР-60 і БТР-70. Всі представлені зразки модернізації в тій чи іншій мірі унікальні, проте деякі варто виділити. Так, вельми радикальним видається варіант модернізації БТР-70 від Житомирського бронетанкового заводу. Нова бойова машина отримала назву БТР-70Д (ГМ). Щодо інформації по двигунам, то штатні бензинові двигуни ГАЗ 4905 були замінені на дизелі виробництва General Motors потужністю 103 кВт [1].

Сама ідея подібної модернізації техніки в Україні не нова і до початку бойових дій на Донбасі вже були вдало реалізовані проекти на ДП "Миколаївський бронетанковий завод" під назвою БТР-7(БТР-70Ді) тоді штатні силові установки замінили двома двигунами FPT IVECO Tector P4 потужністю 150 к.с. кожний, що на 30 к.с. більше ніж в рідного двигуна марки ГАЗ. Також були і інші варіації ремоторизації машини, зокрема, вітчизняний ХБКМ ім. Морозова у середині 2000-х років представив БТР-70 з встановленим двигуном вітчизняного виробництва УТД-20 на бронетранспортер [1].

Державний концерн "Укроборонпром", що об'єднує головні оборонні підприємства України, адаптував свою бронетехніку під нагівський двигун Deutz (Німеччина) замість російських, постачання яких припинилося з початком військової агресії Росії на Донбасі [2]. При переобладнанні спеціальної колісної техніки (СКТ) заміні підлягають, як правило, тільки двигуни базової машини.

Як при модернізації, так і при переобладнанні СКТ не до кінця вирішеним є питання потужності силової установки, яка задовольнила б усім вимогам, що висувуються до подібної техніки, зокрема, до показників тягово-швидкісних властивостей.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Тягово-швидкісні властивості мають важливе значення при експлуатації автомобіля, оскільки вони безпосередньо пов'язані із середньою швидкістю руху та продуктивністю. Поліпшення тягово-швидкісних властивостей означає збільшення потенційної середньої швидкості та зменшення часових втрат перевезення вантажів, а також підвищення продуктивності автомобіля [3-6].

Ці властивості визначають динаміку розгону автомобіля, можливість розвивати ним максимальну швидкість, зменшувати час, необхідний для розгону автомобіля до певної швидкості.

Поліпшення тягово-швидкісних властивостей є однією з основних тенденцій розвитку автомобілебудування, про що свідчать більш високі значення максимальної швидкості та прискорення кожного нового покоління автомобілів. Автомобіль з відносно кращими тягово-

швидкісними властивостями в реальних дорожніх умовах має більший запас потужності, який дозволяє долати опір руху (сили опору коченню, повітря, підйому) без зменшення швидкості, або здійснювати розгін, більшу середню швидкість руху [3], проте до тепер немає загальної методики оцінки показників динамічності автомобіля.

У роботі [7] для вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності запропонована методика, що заснована на аналізі відомих показників тягово-швидкісних властивостей і вибором кращого із розглянутих, що присвоюється еталону. По відношенню до еталону встановлюються питомі показники для автопоїзда з різними автомобілями-тягачами, сума яких дає передумови для вибору кращого серед них, що може бути використано і в даній роботі.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль дослідження полягає у виборі типу двигуна при переобладнанні БТР-70 за показниками тягово-швидкісних властивостей. Для досягнення цілі дослідження вирішувалися такі задачі:

- вибір типу двигуна та побудова його швидкісної зовнішньої характеристики;
- вибір, обґрунтування та визначення показників тягово-швидкісних властивостей;
- вибір двигуна для БТР-70 за показниками порівняння його з еталонним автомобілем.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розрахунок показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля базується на його характеристиках та умовах експлуатації. При цьому порівняльний аналіз показників тягово-швидкісних властивостей проводиться для одного і того ж автомобіля з різними силовими установками. Такий аналіз проводиться, як правило, шляхом розв'язку диференціального рівняння руху, вихідними даними для якого слугують масові та геометричні параметри автомобіля та умови експлуатації, що наведені у роботі [8]. Зокрема, це повна маса автомобіля $G_a=11900$ кг; коефіцієнт корисної дії трансмісії при роботі двох двигунів $\eta_{m2}=0,701$, при роботі тільки одного двигуна $\eta_{m1}=0,837$; фактор обтічності $k_v \times F=3,68 \text{ Н} \times \text{с}^2/\text{м}^2$; коефіцієнт опору кочення $f_v=0,015+0,012 \times (0,01v)^{2,5}$, де V - швидкість автомобіля, $\text{км}/\text{год}$.

У цій же роботі розглянута можливість встановлення на автомобілі таких двигунів:

- 1 варіант – два двигуни ЗМЗ-4905 потужністю 120 к.с. (базовий варіант);
- 2 варіант – два двигуна General Motors потужністю 140 к.с. («Житомирський бронетанковий завод»);
- 3 варіант – два двигуни IVECO Tector P4 потужність 150 к.с. (ДП «Миколаївський бронетанковий завод»);
- 4 варіант – два двигуна Д245.30Е2 потужністю 115 кВт (приватна компанія «Техимпекс»);
- 5 варіант два двигуна різної потужності – потужність основного двигуна 161 кВт і потужність додаткового двигуна 43 кВт (пропонований варіант).

У табл. 1 наведена коротка технічна характеристика пропонованих двигунів.

Таблиця 1 – Коротка технічна характеристика двигунів

Тип двигуна	Максимальна потужність, кВт/ при частоті обертання ω_1	Максимальний крутний момент, Нм/ при частоті обертання ω_1^{-1}
ЗМЗ-4905	88,3/3300	284/2300
General Motors	103/2700	470/1700
IVECO Tector P4	110,4/2700	504/1700
Д245.30Е2	115/2400	526/1500
DEUTZ TCD 2013 L4 4V	161/2300	816/ 1700
D 914L3	43/2300	204/1700

За відсутності експериментальних зовнішніх характеристик двигунів, табл.1, скористаємося методикою її побудови, наведеної у роботі [7], в якій показано, що максимальна похибка апроксимації кривої крутного моменту за параметрами максимального значення моменту і моменту при максимальній потужності для різних типів двигунів поліномом другого ступеня не перевищить 6%. Тому у подальших розрахунках криву крутного моменту двигуна будемо апроксимувати поліномом другого ступеня виду

$$M_k = a \cdot \omega^2 + b \cdot \omega + c, \quad (1)$$

де a, b, c - сталі коефіцієнти, котрі визначають за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа [9]:

$$a = \frac{M_{e \min}}{A_{11}} + \frac{M_{e \max}}{A_{12}} + \frac{M_{eN}}{A_{13}},$$

$$b = \left[\frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{e \min}}{A_{11}} + \frac{(\omega_N + \omega_{\min}) \cdot M_{e \max}}{A_{12}} + \frac{(\omega_{\min} + \omega_M) \cdot M_{eN}}{A_{13}} \right],$$

$$c = \left(M_{e \min} \cdot \frac{\omega_M \cdot \omega_N}{A_{11}} + M_{e \max} \cdot \frac{\omega_N \cdot \omega_{\min}}{A_{12}} + M_{eN} \cdot \frac{\omega_{\min} \cdot \omega_M}{A_{13}} \right),$$

де $A_{11} = \omega_{\min}^2 - \omega_{\min}(\omega_N + \omega_M) + \omega_N \cdot \omega_M$;

$A_{12} = \omega_M^2 + \omega_M(\omega_N + \omega_{\min}) + \omega_N \cdot \omega_{\min}$;

$A_{13} = \omega_N^2 + \omega_N(\omega_M + \omega_{\min}) + \omega_M \cdot \omega_{\min}$;

ω_{\min} , $M_{k \min}$ – мінімальна кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с, та крутний момент, Н·м, при цій кутовій швидкості;

$M_{k \max}$, ω_M – максимальний крутний момент двигуна, Н·м, та кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с, що йому відповідає;

M_N , ω_N – крутний момент, Н·м, та кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с, що відповідають його максимальній потужності.

У табл. 2 наведені результати розрахунку апроксимуючих коефіцієнтів для двигунів, що розглядаються.

Таблиця 2 – Коефіцієнти апроксимуючого поліному

	M_{\min} / ω_{\min}	M_N / ω_N	M_m a_x/ω_M	A $_{11}$	A $_{12}$	A $_{13}$	a	b	c
	215/ 990	228 /3300	284 /2300	0 ,2800	1 ,7	2 ,2100	- $5,74 \cdot 10^{-5}$	0 ,252	2 1,95
	405/ 810	409 /2700	470 /1700	0 ,2310	1 ,5169	2 ,1190	- $7,31 \cdot 10^{-5}$	0 ,257	2 44,8
	430/ 810	438 /2700	504 /1700	0 ,2310	1 ,5169	2 ,1190	- $4,05 \cdot 10^{-4}$	1 ,100	1 94,5
	440/ 720	457 /2400	526 /1500	0 ,2275	1 ,5031	2 ,1175	- $4,12 \cdot 10^{-7}$	0 ,110	3 60,4
	690/ 690	710 /2300	816 /1700	0 ,308	1 ,8096	2 ,2620	- $1,86 \cdot 10^{-4}$	0 ,570	3 85,2
	165/ 690	178 /2300	204 /1700	0 ,308	1 ,8096	2 ,2620	- $1,42 \cdot 10^{-4}$	0 ,378	- 28,15

Похибка визначення максимального крутного моменту за рівнянням (1) не перевищує 1,5%.

Визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля за різних типів двигуна виконаємо при незмінній трансмісії базового автомобіля з параметрами: коробка передач – чотирьох ступенева з передаточними відношеннями передач: $u_{k1}=6,65$; $u_{k2}=3,09$; $u_{k3}=1,71$; $u_{k4}=1,00$; додаткової коробки передач: $u_{dk1}=1,00$; $u_{dk2}=1,89$; головної передачі: $u_0=1,846$; колісного редуктора $u_{ok}=4,33$.

Диференціальне рівняння, яке використовується в теорії автомобіля, справедливе для прямолінійного руху і тому може бути використане для моделювання руху на ЕОМ в умовах визначення основних оцінних показників тягово-швидкісних властивостей [9]:

$$\frac{dv}{dt} m_a \delta_{об} = P_{ко}(v) - P_o(v, v^2) \pm G_a \sin \alpha, \quad (2)$$

де m_a – маса автомобіля;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт, що враховує обертові маси автомобіля;

$P_{ко}(v)$ – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля;

$P_o(v, v^2)$ – сума сил опору руху автомобіля, що залежать від швидкості його руху;

$G_a \sin \alpha$ – сила опору підйому;

G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля;

α – кут нахилу поверхні дороги;

v – швидкість руху автомобіля;

$\frac{dv}{dt}$ – прискорення автомобіля.

Зважаючи на те, що аналітичну функцію для сили $P_{ко}(v)$ точно визначити неможливо, зазначене диференціальне рівняння (1) другого порядку із сталими коефіцієнтами є таким, що в загальному випадку не інтегрується. Проте його інтегрування можна провести, якщо вважати, що функція $P_{ко}(v)$ задана або визначена, наприклад, коли розглядати роботу двигуна за швидкісною зовнішньою характеристикою.

Повна колова сила на ведучих колесах автомобіля $P_{ко}$ з достатньою для практичних розрахунків точністю і з урахуванням умов експлуатації може визначатися з формули тягової сили [9]:

$$P_{ко} \approx P_T = \frac{M_k U_T \eta_m}{r_d}, \quad (3)$$

де M_k – момент двигуна;

U_T – загальне передаточне число трансмісії;

η_m – ККД трансмісії тягача;

r_d – динамічний радіус колеса.

Таким чином, для отримання залежності $P_{ко}=f(V)$ вихідними даними послуговують залежність $M_k=f(\omega)$, яку отримують із швидкісної зовнішньої характеристики двигуна, та рівняння зв'язку між швидкістю руху та кутовою швидкістю колінчастого валу двигуна:

$$V = \frac{\omega r_k}{U_T} \quad (4)$$

З урахуванням залежностей $M_k=f(\omega)$ та $V=f(\omega)$ тягова сила на ведучих колесах визначиться:

$$P_T = A_i V^2 + B_i V + C_i, \quad (5)$$

$$\text{де } A_i = a \frac{U_i^3 \eta_m}{r_d r_k^2}, \quad B_i = b \frac{U_i^2 \eta_m}{r_d r_k}, \quad C_i = c \frac{U_i \eta_m}{r_d},$$

U_i - передаточне відношення трансмісії на i -ій передачі за прямої передачі у додатковій коробці передач: $u_1=53,15$; $u_2=24,7$; $u_3=13,67$; $u_4=7,99$.

Коефіцієнт обертових мас АТЗ $\delta_{об}$, що входить у рівняння (1), визначається із виразу

$$\delta_{об} = 1 + \sigma_1 \times u_{ki}^2 + \sigma_2, \quad (6)$$

де σ_1 , σ_2 – сталі коефіцієнти, які для автомобіля, що розглядається, знаходяться в межах - 0,03...0,05.

Динамічний радіус колеса (в першому наближенні) дорівнює статичному радіусу [10], тобто $r_d = r_c$ і для шин 340/80R18 складає 0,465 м.

У табл. 3 наведені значення коефіцієнтів A_i , B_i , C_i для вищої передачі в додатковій коробці передач автомобіля з двигунами, що розглядаються.

Таблиця 3 – Коефіцієнти A_i , B_i , C_i для вищої передачі в додатковій коробці передач автомобіля з двигунами, що розглядаються

Двигун	Коефіцієнти апроксимуючого поліному двигуна			Коефіцієнти для усіх передач			
	a	b	c	передача	A_i	B_i	C_i
1	$-5,74 \cdot 10^{-5}$	0,252	21,95	1	-60,09	2307,91	1758,55
				2	-6,03	498,44	817,33
				3	-1,02	152,67	452,34
				4	-0,20	52,16	264,39
2	$-7,31 \cdot 10^{-5}$	0,257	244,8	1	-76,52	2369,20	19614,61
				2	-7,69	508,33	9115,29
				3	-1,30	155,70	5044,78
				4	-0,26	53,19	2948,63
3	$-4,05 \cdot 10^{-4}$	1,100	194,5	1	-423,96	10074,21	15580,75
				2	-42,5	2173,77	7241,54
				3	-7,2	666,41	4007,73
				4	-1,41	227,68	2342,49
4	$-4,12 \cdot 10^{-7}$	0,110	360,4	1	-0,430	1007,42	28873,87
				2	-0,043	219,31	13420,56
				3	-0,007	67,16	7427,42
				4	-0,0014	22,95	4341,28
5	$-1,86 \cdot 10^{-4}$	0,570	385,2	1	-194,71	5220,27	30857,09
				2	-19,55	1130,36	14338,25
				3	-3,31	346,53	7935,31
				4	-0,65	118,39	460,33
6	$-1,42 \cdot 10^{-4}$	0,378	-28,15	1	-148,64	3461,86	-2256,17
				2	-14,91	749,19	-1046,69
				3	-2,53	229,75	-579,28
				4	-0,496	78,49	-33,60

Примітка. Номер двигуна відповідає типу, наведеному у табл.2.

З урахуванням сил опору руху автомобіля диференціальне рівняння записується у вигляді [9]:

$$\frac{dv}{dt} m_a \delta_{06} = A_1 v^2 + B_1 v + C_1 - P_0(v, v^2) \pm G_a \sin \alpha, \quad (7)$$

де $P_0(v, v^2)$ – сили опору кочення і повітря автомобіля;

α – кут підйому (спуску) дороги.

Рівняння (7) використовують для розв'язання задач, що пов'язані як з ustalеним рухом АТЗ (тоді ліва частина рівняння дорівнює нулю, і диференціальне рівняння перетворюється в алгебраїчне), так і з несталім рухом (прискорений рух, уповільнений рух). Рівняння (7) дозволяє визначити різні показники тягово-швидкісних властивостей як тих, які нормовані, так і тих, що рекомендовані різними дослідниками, зокрема такими, що наведені у роботі [9]:

1. Швидкісна характеристика «розгін-вибіг».
2. Швидкісна характеристика на останній і передостанній передачах.
3. Швидкісна характеристика на дорозі зі змінним поздовжнім профілем.

4. Максимальна швидкість.
5. Прискорення при розгоні.
6. Умовна максимальна швидкість.
7. Час розгону на шляху 400 і 1000 м.
8. Час розгону до заданої швидкості.
9. Мінімальна стійка швидкість.
10. Максимальний долаємий підйом.
11. Усталена швидкість на зтяжних підйомах.
12. Сила тяги на гаку.
13. Довжина динамічно долаємого підйому.

Вище наведені показники тягово-швидкісних властивостей при роботі автомобіля з різними двигунами визначимо за методикою, наведеною в роботі [7]. Основні розрахункові формули для визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Основні розрахункові формули для визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля [10]

Параметр	Розрахункова формула
1	2
Рівняння руху при розгоні	$\frac{dV}{dt} m_a \delta_o = aV^2 + bV + c_i$
Час розгону, с	$\tau = M_a \delta_o \int_{V_H}^{V_K} \frac{dV}{aV^2 + bV + c_i}$
Шлях розгону, м	$S = m_a \cdot \delta_o \cdot \left\{ \frac{1}{2a_i} \ln |aV^2 + bV + c_i| \Big|_{V_H}^{V_K} - \frac{b_i}{2 \cdot a_i} \int_{V_H}^{V_K} \frac{dV}{aV^2 + bV + c_i} \right\}$
Рівняння руху при вибігу	$\frac{dV}{dt} \cdot m_a \cdot \delta_o' = -m_a \cdot g(f_0 K_f V) - K_B \cdot F \cdot V^2 - P_{fx}$
Мінімальна усталена швидкість, м/с	$V_{\min y} = -\frac{m_a g f_0 A_i - K_B F C_i}{m_a g K_f A_i - K_B F B_i} + \sqrt{\left(\frac{m_a g f_0 A_i - K_B F C_i}{m_a g K_f A_i - K_B F B_i} \right)^2 - \frac{m_a g (f_0 B_i - K_f C_i)}{m_a g K_f A_i - K_B F B_i}}$
Максимальна швидкість, м/с	$V_{\max} = \frac{-b_i - \sqrt{b_i^2 - 4a_i c_i}}{2a_i}$
Середня швидкість на швидкісній дорозі, м/с	$V_c = \frac{\sum S_i}{\sum t_i}$
Максимальне прискорення при розгоні, м/с ²	$j_{\max} = \frac{1}{G_a \delta_i} \left(c_i - \frac{b_i^2}{4a_i} \right)$
Середнє прискорення при розгоні, м/с ²	$j_{\text{ср}} = \frac{1}{G_a \delta_i} \left[\frac{a_i}{3} (V_K^2 + V_K V_H + V_H^2) + \frac{b_i}{2} (V_K + V_H) + c_i \right]$
Максимальний долаємий підйом	$\sin \alpha_{\max} = \frac{1}{G_a \delta} \left(C_i - G_a g f_0 \cos \alpha - \frac{(B_i - G_a g K_f \cos \alpha)^2}{4A_i} \right)$
Швидкість на підйомі, м/с	$V_{\text{ycm}} = \frac{-b_i - \sqrt{b_i^2 - 4a_i c_i}}{2a_i}$
Максимальна сила тяги на гаку, Н	$P_{\text{КР max}} = C_i - \frac{b_i^2}{4a_i}$

Середня швидкість на маршруті, м/с	$V_c = \frac{0,27 N_{y0} \eta_m \sum_{i=1}^n K_i d_i}{\gamma_{piN} \sum_{i=1}^n K_i d_i l_i}$
Коефіцієнти рівнянь	$a_i = A_i - K_B \cdot F, \quad b_i = B_i - K_f \cdot m_a \cdot g, \quad c_i = C_i - f_a \cdot m_a \cdot g ;$ $A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_m}{r_0 r_k^2}, \quad B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_m}{r_0 \cdot r_k}, \quad C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_m}{r_0},$ $a = \frac{M_{emin}}{A_{11}} + \frac{M_{emax}}{A_{12}} + \frac{M_{eN}}{A_{13}},$ $b = \left[\frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{emin}}{A_{11}} + \frac{(\omega_N + \omega_{min}) \cdot M_{emax}}{A_{12}} + \frac{(\omega_{min} + \omega_M) \cdot M_{eN}}{A_{13}} \right],$ $c = \left(M_{emin} \cdot \frac{\omega_M \cdot \omega_N}{A_{11}} + M_{emax} \cdot \frac{\omega_N \cdot \omega_{min}}{A_{12}} + M_{eN} \cdot \frac{\omega_{min} \cdot \omega_M}{A_{13}} \right);$ $\delta_i = 1 + \sigma_1 \times u_{ki}^2 + \sigma_2 ;$ $P_{ix} = (2 + 0,025 \cdot V) \cdot m_a \cdot g \cdot 10^{-3}, \quad H$ <p> f_0 – коефіцієнт опору кочення за швидкості 1 м/с; f_a – коефіцієнт опору кочення при заданій швидкості; K_f – коефіцієнт, що враховує приріст коефіцієнта f від швидкості руху; K_B – коефіцієнт опору повітря; F – площа поперечного перерізу автобуса; m_a – маса автобуса; g – прискорення вільного падіння; V_K, V_H – кінцева і початкова швидкість в процесі розгону; $N_{уд}$ – питома потужність автобуса; η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії; K_i – відносний шлях руху автобуса на i-ій передачі γ_{piN} – питома тягова сила на i-ій передачі при роботі двигуна в режимі максимальної потужності; l_i – коефіцієнт, що враховує тип закону розподілу швидкості на передачі; $d_i = \frac{V_i}{V_{i-1}},$ V_i, V_{i-1} – максимальні швидкості на i-ій та $i-1$ передачах. </p>

У відповідності з наведеним алгоритмом розрахунку визначені показники тягово-швидкісних властивостей автомобіля за різних двигунів, табл. 5. Зважаючи на те, що потужності двигунів різняться між собою, то і максимальна їх швидкість буде різною. Цю швидкість можна визначити з рівняння потужнісного балансу автомобіля, що представлено у вигляді графіка, рис. 1.

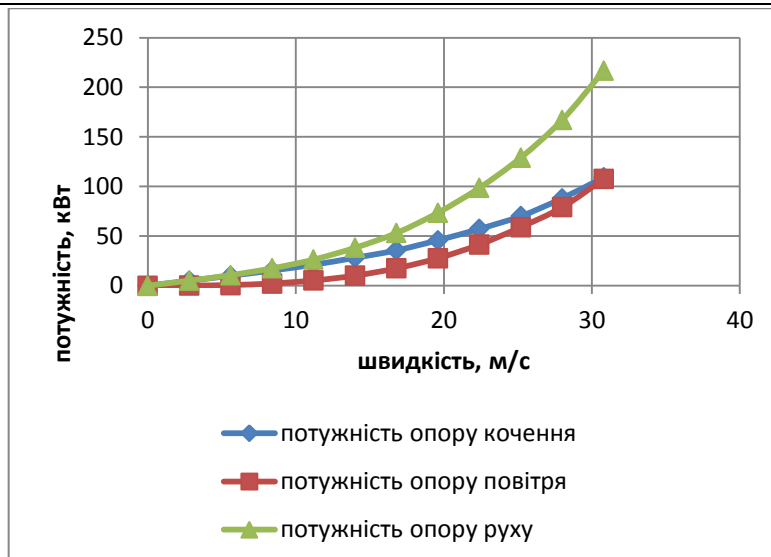


Рисунок 1 – Залежність потужностей опору кочення і повітря, а також сумарної потужності опору від швидкості автомобіля

Для автомобіля з різними двигунами вона склала: 25 м/с для автомобіля з двигунами ЗМЗ; 26,3 м/с – з двигунами General Motors; 27,5 – з двигунами IVECO Tector P4; 27,9– двигунами Д245.30Е2; 25,7–з двигуном DEUTZ TCD 2013 L44V; 26,2 – з двигунами DEUTZ TCD 2013 L44V і D 914L3.

У зв'язку з цим розганяння автомобіля з різними двигунами визначалося до швидкості 25 м/с (90 км/год).

У табл. 5 наведені значення окремих параметрів, необхідних для розрахунку показників тягово-швидкісних властивостей, зокрема: P_{Mmax} , P_{MN} , V_M , V_N ; J_M , J_N – тягова сила на ведучих колесах, швидкість і прискорення автомобіля на i -ій передачі за частоти обертання колінчастого валу двигуна, що відповідає максимальному крутному моменту і максимальній потужності; P_f , P_w – сили опору кочення і повітря; T , S – час і шлях розгону автомобіля на i -ій передачі.

Таблиця 5 – Вихідні параметри для розрахунку показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля

Двиг ун	Параметри										
	P_{Mmax} , Н	V_M , м/с	P_{MN} , Н	V_N , м/с	Передача	P_f , Н	P_w , Н	J_M , м/с ²	J_N , м/с ²	T, с	S, м
1	45511	2,1	36537	3,0	1	1750	0	1,31	1,04	1,8	4,6
	21150	4,54	16980	6,5	2	1750	0	1,15	0,90	3	16,5
	11705	8,2	9387	11,7	3	1900	400	0,72	0,61	6,5	65,8
	6842	14,02	5487	20,0	4	2400	1500	0,396	0,29	10,5	180
	5474	17,53	4390	25,0	5(0,8)	2710	1680	0,09	0	166	3486
2	81647	1,55	69469	2,46	1	1750	0	2,39	2,02	1,42	2,8
	37943	3,36	28102	5,33	2	1750	0	1,56	1,56	1,9	8,6
	20999	6,09	15535	9,69	3	1850	400	1,34	0,96	4,2	33,2
	12275	10,37	9081	16,8	4	2100	900	0,72	0,47	9,7	118
	8249	15,43	6102	25,0	5(0,67 2)	2710	1680	0,30	0,14	45,5	808

3	87526	1,55	73777	2,46	1	1750	0	2,56	2,15	1,41	2,82
	40675	3,36	29844	5,33	2	1750	0	2,30	1,66	2,11	9,3
	22510	6,09	16498	9,69	3	1850	400	1,47	1,03	5,8	44,1
	13159	10,37	9969	16,8	4	2100	900	0,79	0,54	10,0	135
	8843	15,43	6480	25,0	5(0,67 2)	2710	1680	0,35	0,16	38,3	766
4	91377	1,38	77023	2,19	1	1750	0	2,68	2,25	1,3	1,1
	42468	3,29	31157	4,74	2	1750	0	2,41	1,74	1,7	7,0
	23500	5,42	17224	8,62	3	1850	400	1,54	1,08	3,5	24,5
	13738	9,23	10408	14,9	4	2100	900	0,84	0,58	9,2	111
	8243	13,27	6040	25,0	5(0,60)	2710	1680	0,30	0,13	41,6	765
5	70909	1,56	59770	2,10	1	1750	0	2,07	1,74	1,3	2,4
	32955	3,72	24188	4,55	2	1750	0	1,85	1,33	1,52	6,3
	18236	6,12	13366	8,28	3	1850	400	1,16	0,81	3,15	22,7
	10661	10,43	8077	14,3	4	2100	900	0,60	0,40	9,2	114
	6130	15,64	4492	25,0	5(0,57 5)	2710	1680	0,14	0,01	133	2367
6	92565	1,56	78024	2,10	1	1750	0	2,72	2,52	1,2	2,1
	43020	3,72	31562	4,55	2	1750	0	2,44	1,76	1,4	5,8
	23806	6,12	17448	8,28	3	1850	400	1,56	1,10	2,6	19,3
	13917	10,43	10543	14,3	4	2100	900	0,85	0,59	6,5	80,6
	8002	15,64	5864	25,0	5(0,57 5)	2710	1680	0,28	0,10	49,3	1077

У табл. 6 наведені результати розрахунку оціночних показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля з двигунами, що розглядаються. Порівняння автопоїздів за показниками тягово-швидкісних властивостей виконано за допомогою відносних показників [7]

$$k_i = \frac{P_i}{P_e}$$

де P_i – значення показника для автомобіля з різними двигунами;

P_e – значення показника для еталонного автомобіля, кожний показник якого є кращим із показників автомобіля з двигунами, що розглядаються.

У табл. 6 наведені результати розрахунку абсолютних і відносних показників тягово-швидкісних властивостей БТЗ-70 з двигунами, що розглядаються.

Таблиця 6– Показники тягово-швидкісних властивостей БТР-70

1	Назва показника	Оціночні показники автомобіля з двигунами / відносний показник						
		ЗМЗ-4905	General Motors	IVECO Tector P4	Д245. 30E2	DEUTZ TCD 2013L4 4V	DEUTZ TCD 2013 L4 4V + D 914L3	Еталон
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	час розгону до V=90 км/год	187,8/0,3 1	64,72/0,8 9	57,3/1,0 0	57,3/0,99	148,2/0,3 9	61,0/0,9 4	57,3/1,0 0
	-шлях розгону до V=90 км/год, м	3752,9/0, 26	1110,6/0, 86	957,2/1, 00	1208,6/0, 79	2513,2/0, 38	984,3/0, 97	957,2/1, 00
	-шлях вибігу з v=90 км/год, м	1021,6/1, 00	1021,6/1, 00	1021,6/ 1,0	1021,6/1, 0	1021,6/1, 00	1021,6/ 1,0	1021,6/ 1,0

	Назва показника	Оціночні показники автомобіля з двигунами / відносний показник						
		ЗМЗ-4905	General Motors	IVECO Tector P4	Д245.30E2	DEUTZ TCD 2013L4 4V	DEUTZ TCD 2013 L4 4V + D 914L3	Еталон
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	- час розгону на останній передачі, с	166/0,23	45,5/0,84	38,3/1,0 0	41,6/0,92	133/0,29	49,3/0,7 8	38,3/1,0 0
	- шлях розгону на останній передачі, м	3486/0,22	808/0,95	766/1,0	1065/0,72	2367/0,32	1077/0,71	766/1,0
	- час розгону на передостанній передачі, с	10,5/0,62	9,7/0,67	10,0/0,6 5	9,1/0,71	9,2/0,71	6,5/1,00	6,5/1,00
	- шлях розгону на передостанній передачі, м	180/0,62	118/0,68	135/0,6 5	111/0,71	114,8/0,7	80,6/1,0	80,6/1,0
3	середня швидкість, м/с	15,07/0,7 5	19,26/0,9 6	19,53/0,97	20,06/1,0 0	19,31/0,9 6	19,34/0,96	20,06/1,00
4	максимальна швидкість за енергетичними можливостями, м/с	25,0/0,90	26,3/0,94	27,5/0,9 9	27,9/1,00	25,7/0,92	26,2/0,9 4	27,9/1,0 0
5	тах. прискорення при розгоні, м/с ²	1,31/0,48	2,39/0,88	2,56/0,9 4	2,68/0,99	2,07/0,76	2,72/1,0	2,72/1,0
6	умовна максимальна швидкість, м/с	28,8/0,90	30,5/0,95	31,6/0,9 8	32,1/1,00	30,7/0,96	30,1/0,9 6	32,1/1,0 0
7	час розгону на шляху, с: 400 м	23,14/0,8 9	22,54/0,9 1	22,12/0,93	20,58/1,0 0	22,42/0,9 2	20,84/0,99	20,58/1,00
	1000 м.	60,5	-	-	55,6	54,8	-	-
8	2000 м	122,27	-	-	118,27	115,76	-	-
9	мінімальна стійка швидкість, м/с	2,10/0,66	1,55/0,89	1,55/0,8 9	1,38/1,00	1,55/0,89	1,55/0,8 9	1,38/1,0 0
10	максимальний долаємий підйом, %	21,66/0,4 0	49,34/ 0,91	49,85/0,92	53,17/0,9 8	37,19/0,6 9	54,26/1,00	54,26/1,00
11	усталена швидкість на затяжних підйомах (3%), м/с	14,87/0,6 5	21,23/0,9 3	22,02/0,97	22,39/0,9 8	21,98/0,9 8	22,76/1,00	22,76/1,00
12	тах. сила тяги на гаку, кН	43,76/0,4 8	82,90/0,9 2	85,78/0,94	89,63/0,9 9	69,16/0,7 6	90,82/1,00	90,82/1,00

	Назва показника	Оціночні показники автомобіля з двигунами / відносний показник						
		ЗМЗ-4905	General Motors	IVECO Tector P4	Д245.30E2	DEUTZ TCD 2013L4 4V	DEUTZ TCD 2013 L4 4V + D 914L3	Еталон
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 3	довжина динамічно долаємого підйому (3%), м	1128/0,82	1326/0,96	1232/0,90	1259/0,91	1216/0,88	1376/1,00	1376/1,00
	ΣPi	10,02	15,14	15,69	15,76	12,77	15,13	

Як слідує з табл. 6, показники тягово-швидкісних властивостей автомобіля з двигунами IVECO Tector P4, Д245.30E2 і двома двигунами DEUTZ TCD 2013 майже однакові. При цьому сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей змінюється від найбільшого (двигуни Д245.30E2) до найменшого (два двигуни DEUTZ TCD 2013) в межах 4%, не зважаючи на те, що їх потужність змінюється на 11,3%. Тому вибір кращого типу двигуна при переобладнанні БТР-70 повинен проводитися з урахуванням інших показників, зокрема, паливної економічності.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

При переобладнанні автомобілів заміні підлягає один з базових його агрегатів, зокрема, у розглянутому випадку заміна двигуна. Проте таке переобладнання не можна вважати доцільним, бо тягово-швидкісні властивості автомобіля визначаються не тільки потужністю двигуна, а і передаточними відношеннями трансмісії. Штатна трансмісія БТР-70 з бензиновими двигунами не сумісна при його оснащенні дизелями. Тому для отримання необхідних показників тягово-швидкісних властивостей БТР-70 потрібно не його переобладнання, а модернізація, тобто заміна системи двигун-трансмісія. Вибору передаточних відношень трансмісії БТР-70 при його оснащенні одним із розглянутих дизелів будуть присвячені подальші дослідження.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що показники тягово-швидкісних властивостей автомобіля з двигунами IVECO Tector P4, Д245.30E2 і двома двигунами DEUTZ TCD 2013 майже однакові. При цьому сумарний відносний показник тягово-швидкісних властивостей змінюється від найбільшого (двигуни Д245.30E2) до найменшого (два двигуни DEUTZ TCD 2013) в межах 4%, не зважаючи на те, що їх потужність змінюється на 11,3%. Тому вибір кращого типу двигуна при переобладнанні БТР-70 повинен проводитися з урахуванням інших показників, зокрема, паливної економічності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- [1. \[http://www.ukrudprom.com/digest/Radikalnaya_modernizatsiya_Kak_iz_starogo_sovetskogo_BTR\]\(http://www.ukrudprom.com/digest/Radikalnaya_modernizatsiya_Kak_iz_starogo_sovetskogo_BTR\)](http://www.ukrudprom.com/digest/Radikalnaya_modernizatsiya_Kak_iz_starogo_sovetskogo_BTR)
- Модернізований БТР-70 з двигуном General Motors /<https://mil.in.ua/uk/>
- С.П. Мазін, Г.М. Маренко, А.Г. Скиба, В.М. Франков Пропозиції щодо вдосконалення конструкції бронетранспортерів Національної гвардії України/ Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2017. Випуск № 60 (111). – С.156-160.
- Сахно В.П. та ін. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів: [навчальний посібник] /В.П.Сахно, А.П.Костенко, М.І.Загороднов та ін. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 444 с.
- Сахно В.П. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: [навч. посіб.] / В.П. Сахно. Г.Б. Безбородова, М.М. Маяк, С.М. Шарай. – К. : «КВЦ», 2004. – 174 с.
- Подригало М.А., Волков В.П., Бобошко А.А., Павленко В.А., Файст В.Л., Клец Д.М., Редько В.В. Динаміка автомобіля. – Харків: Изд-во ХНАДУ, 2008. – 426 с.
- Сахно В.П. До вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності / В.П.Сахно, В.М.Поляков, І.С.Мурований, С.М.Шарай //Вісник машинобудування та транспорту:

науковий журнал /Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет – Вінниця: ВНТУ, № 2(10), 2019. – С.120-125.

8. Литвінов О.В. Експериментальне оцінювання показників динаміки та опору руху спеціалізованої колісної техніки/Механіка та машинобудування, 2017, №1, с.278-288

9. Литвінов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

10. Фаробин Я.Е., Щупляков В.С. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для междугородных перевозок. М.: Транспорт. 1983. – 200 с.

REFERENCES

1. http://www.ukrrudprom.com/digest/Radikalnaya_modernizatsiya_Kak_iz_starogo_sovetskogo_BTR
2. Modernized BTR-70 with General Motors engine /<https://mil.in.ua/uk/>
3. S.P. Mazin, G.M. Marenko, A.G. Skiba, V.M. Frankov Proposals for improving the design of armored personnel carriers of the National Guard of Ukraine / Interuniversity collection "SCIENTIFIC NOTES". Lutsk, 2017. Issue № 60 (111). - P.156-160.
4. Sakhno V.P. etc. Performance properties of vehicles. In 3 hours. Part 1. Dynamics and fuel economy of vehicles: [textbook] / V.P. Sakhno, A.P. Kostenko, M.I. Zagorodnov and others. - Donetsk: Knowledge Publishing House (Donetsk branch), 2014. - 444 p.
5. Sakhno V.P. Cars: Traction and speed properties and fuel economy: [textbook. aid.] / V.P. Sakhno, G.B. Bezborodova, M.M. Majak, S.M. Sharay. - K.: «КВІЦ», 2004. - 174 с.
6. Podrigalo M.A., Volkov V.P., Boboshko A.A., Pavlenko V.A., Faist V.L., Klets D.M., Redko V.V. Car dynamics. - Kharkiv: KhNADU Publishing House, 2008. - 426 p.
7. Sakhno V.P. To choose the type of tractor for a high-capacity road train / V.P.Sakhno, V.M.Polyakov, I.S.Murovany, S.M.Sharay // Bulletin of Mechanical Engineering and Transport: a scientific journal / Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University - Vinnytsia: VNTU, № 2 (10), 2019. - P.120-125.
8. Litvinov O.V. Experimental evaluation of indicators of dynamics and resistance to movement of specialized wheeled vehicles / Mechanics and Mechanical Engineering, 2017, №1, p.278-288.
9. Litvinov A.S., Farobin Ya.E. Car: Theory of operational properties: A textbook for universities in the specialty "Cars and Automotive". - М.: Mashinostroenie, 1989. - 240 s.
10. Farobin Ya.E., Shchuplyakov V.S. Estimation of operational properties of road trains for long-distance transportations. М.: Transport. 1983. - 200 p.

V. Sakhno, D.Jachenko, O. Dykich, V. Stelmashchuk, V. Onyshchuk. To choose the type of engine when modernizing BTR-70

The paper considers options for retrofitting BTR-70 by installing on the chassis of this car instead of two engines ZMZ-4905 two engines General Motors with a capacity of 103 kW, or two IVECO Tector P4 with a capacity of 110.4 kW, or two engines D245.30E2 with a capacity of 115 kW, or two engines of different power - the power of the main engine DEUTZ TCD 2013 L4 4V 161 kW and the power of the additional engine DEUTZ D 914L3 43 kW.

The comparative analysis is based on the main indicators of traction-velocity properties, obtained by solving the differential equation of motion, the initial data for which are the mass and geometric parameters of the car and operating conditions. The choice of the best variant is made on the basis of comparison of each indicator of traction-speed properties with the standard as which the best indicator from all possible variants is accepted. According to the results of calculations, it is established that the best indicators of traction and speed properties are achieved when installing two engines D245.30E2 on the BTR-70.

However, such conversion can not be considered appropriate, because the traction and speed properties of the car are determined not only by engine power, but also the gear ratio. Regular transmission BTR-70 with gasoline engines is not compatible when equipped with diesels. Therefore, to obtain the necessary indicators of traction and speed properties of the BTR-70 requires not its re-equipment, but modernization, ie replacement of the engine-transmission system. Further research will be devoted to the choice of BTR-70 transmission gear ratios when it is equipped with D245.30E2 diesels.

Keywords: BTR-70, engine, power, modernization, indicator, traction-speed properties, standard, differential equation of motion.

САХНО Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, svp_40@ukr.net

ЯЦЕНКО Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: y_d@ukr.net

ДИКИХ Олександр Вікторович, аспірант кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, aleksandrdik@ukr.net

СТЕЛЬМАЩУК Валерій Віталійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: Val.stelmashchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>.

ОНИЩУК Василь Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

Dmytro JACHENKO, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Assoc. Professor of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: y_d@ukr.net

Oleksandr DYKICH, magistr of transport, postgraduate student of Automobiles Department, National Transport University, aleksandrdik@ukr.net

Valery STELMASHCHUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: Val.stelmashchuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>.

Vasyl ONYSHCHUK, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>

DOI 10.36910/automash.v2i15.401

Хітров І.О., Кристопчук М.Є., Пашкевич С.М.

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

ОЦІНОЧНІ ПОКАЗНИКИ РОЗВИТКУ МАРШРУТНОЇ СИСТЕМИ ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ МІСТА ДУБНО

Системи міського пасажирського транспорту займають особливе місце в загальній структурі пасажирського транспорту, що пояснюється безупинним підвищенням ролі міст у житті суспільства, обумовленого розподілом праці та концентрацією виробництва. Зміни в житті України призвели до значної модифікації структури потреб населення в перевезеннях і перебудові маршрутних систем більшості українських міст, яка найчастіше носила стихійний характер. У той же час прийняття рішень про зміну маршрутних систем являє собою складну задачу, що торкається інтересів великої кількості городян та має значне соціальне й економічне значення. Створення інформаційної бази міста передбачає збір вихідних даних про транспортну мережу, характеристики вулично-дорожньої мережі і попиту на переміщення пасажирів.

При цьому вибір маршрутів руху громадського транспорту, що входять у систему, відбувається на основі попередньої оцінки ефективності її функціонування. На підставі пасажиропотоків за кожним маршрутом розраховується раціональна кількість транспортних засобів, техніко-економічні і техніко-експлуатаційні показники роботи на маршрутах.

У роботі представлено аналіз оціночних показників функціонування пасажирської системи міста Дубно, дано їх характеристику, намічено шляхи покращення ефективності функціонування на перспективу.

Ключові слова: транспортна інфраструктура, міський пасажирський транспорт, транспортна мережа, показники міської маршрутної системи, потоки переміщення пасажирів.

ВСТУП

Соціально-економічне зростання України, функціонування всіх галузей народного господарства, неможливе без транспортного сектору. Саме автомобільним транспортом забезпечується задоволення потреб в переміщенні вантажів і рухливості населення. Для більшості жителів міський пасажирський є вкрай важливим засобом досягнення місця призначення.

Ефективне функціонування системи перевезень пасажирів з транспортним забезпеченням залежить від прийнятого рівня якості надання послуг. Потребують негайного вирішення завдання щодо якісної організації і оцінки роботи міського пасажирського транспорту для сталого розвитку міст.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У даний час накопичено значний досвід виконання комплексних досліджень з оцінкою ефективності функціонування міського пасажирського транспорту, результати яких представлені в наукових працях зарубіжних і вітчизняних вчених [1-5].

Стійкість та безпека функціонування транспортного комплексу міста є однією з головних задач при розробці стратегії розвитку населеного пункту. В цьому контексті, важливими стають процеси виявлення проблемних ділянок вулично-дорожньої мережі та пошуку можливих резервів для забезпечення адекватної роботи транспортної інфраструктури.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Функціонування міської мобільності в першу чергу впливає на задоволення попиту на перевезення і характеризується низькою чинників розвитку мережі транспорту, як територіально і в часовому просторі при взаємодії всіх та окремих маршрутів. Розвиток маршрутної системи дозволить скоротити витрати часу на переміщення пасажирів, ефективність використання транспортних засобів та на ефективність (економічність) фінансової діяльності перевізника.

Розвиток інфраструктури міста, його демографічного, соціально-економічного прояву потребує постійного аналізу рівня розвитку. Одним з ключових елементів є регулярний контроль показників міських пасажирських перевезень, які можуть бути визначені шляхом комплексного їх обстеження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Показники розвитку маршрутної системи, які вирішуються при плануванні транспортної інфраструктури беруть за основу цільової функції або в якості її обмежень.

Основними показниками міської маршрутної системи пасажирського транспорту є:

1. транспортна рухливість населення $P_{тр}$
2. сумарна середня довжина маршруту ($L_{сер}$, км), розрахована за окремими видами транспорту;
3. маршрутний коефіцієнт ($K_{мар}$), який характеризує насиченість території мережею міського

транспорту і водночас доступність знаходження зупинок (часу підходу пасажирів);

4. коефіцієнт непрямолінійності маршрутів ($K_{нт_мар}$), який характеризує ступінь прямолінійності маршрутів і впливає на затрати часу на переміщення маршрутом;

5. Швидкість маршрутного сполучення, який характеризується організацією дорожнього руху.

Транспортна рухливість міського населення $\Pi_{тр}$ визначає річну кількість поїздок населення міським пасажирським транспортом з розрахунку на одного жителя [6]

$$\Pi_{тр} = \frac{Q}{N_{нас}}. \quad (1)$$

де Q – річний обсяг перевезень, тис. пас.;

$N_{нас}$ – чисельність населення міста, тис. пас.

Довжина маршруту руху визначає режим роботи водія маршрутки, ступінь використання пасажиромісткості рухомого складу, його експлуатаційну швидкість, витрати пального та інші складові економічної діяльності перевізника.

Короткі маршрути простіше в організації, економічно вигідніші, втім вони підвищують коефіцієнт пересадочності, мають відносно меншу експлуатаційну швидкість та ступінь використання пасажиромісткості рухомого складу. У протиположності, довгі маршрути збільшують безпересадочність сполучення, експлуатаційну швидкість та забезпечують менші експлуатаційні витрати на організацію руху [1].

Відношення сумарної довжини всіх маршрутів ($L_{сум_мар}$, км) до загальної довжини маршрутної мережі ($L_{мар}$, км) описується маршрутним коефіцієнтом $K_{мар}$ [6, 7]

$$K_{мар} = \frac{L_{сум_мар}}{L_{мар}}. \quad (2)$$

За величиною маршрутного коефіцієнта можна оцінити ступінь дублювання маршрутів існуючої маршрутної мережі міста. Велике значення маршрутного коефіцієнта, з одного боку, зменшує пересадочність поїздок, а з іншого, за незмінних умов, збільшує інтервали руху на маршрутах і, відповідно, тривалість очікування пасажирами посадки на зупинках. Рекомендована величина маршрутного коефіцієнта транспортної мережі повинна становити 1,5-3,5.

Відношення довжини маршрутної мережі ($L_{мар}$, км) до сельбищної площі міста ($F_{с_м}$, км²) описується щільністю маршрутної мережі δ [6, 7]

$$\delta = \frac{L_{мар}}{F_{с_м}}. \quad (3)$$

Для повноцінного функціонування транспортної інфраструктури щільність маршрутної мережі повинна становити 1,5-2,5 [8].

Відношення довжини маршруту ($l_{мар}$, км) до загальної повітряної лінії довжини маршруту ($l_{нов_мар}$, км) описується коефіцієнтом прямолінійності маршрутів $K_{нт_мар}$ [9]

$$K_{нт_мар} = \frac{l_{мар}}{l_{нов_мар}}. \quad (4)$$

Середньозважений коефіцієнт прямолінійності маршрутів становить 1,2-1,3 [9].

На величину швидкості руху впливає низка факторів, серед яких [9]: частота зупинок на маршруті (для здійснення пасажирообміну або викликаних засобами регулювання дорожнього руху), тягово-динамічні якості рухомого складу та конструктивні особливості його пристроїв для посадки та висадки пасажирів, інтенсивність пасажирообміну, інтенсивність транспортного потоку та дорожні умови, досвід та психофізіологічний стан водія.

Рекомендована швидкість руху міського пасажирського транспорту повинна становити в межах 17-20 км/год [8].

За допомогою епюр пасажиропотоків транспортній мережі здійснюється розрахунок необхідної

кількості транспортних засобів за напрямками руху. Величини пасажиропотоків непостійні, вони змінюються, мають значну нерівномірність. Ступінь їх нерівномірності оцінюється за допомогою коефіцієнта нерівномірності K_n , який представляє собою відношення максимальної потужності пасажиропотоку Q_{max} за розрахунковий період часу до середньої потужності пасажиропотоку Q_c за цей період часу [7]

$$K_n = \frac{Q_{max}}{Q_c}. \quad (5)$$

Місто Дубно є одним із малих міст Західного регіону України. Дубно входить до складу Рівненської області і розміщене в південно-західній частині. Місто є центром Дубенського району Рівненської області. Місто має важливі автомобільні шляхи державного та європейського значення, зокрема, М-06 (Київ-Чоп), М-19 (Ковель, Брест), Е40 і Е85 та ін.

Транспортна магістральна мережа міста Дубно сформована основними меридіональними (зокрема, вул. Шевченка, Сурмичі, Семидубська) та широтними (Залізнична, Мирогощанська) вулицями (рис. 1). Частково територією міста проходить об'їзна дорога.

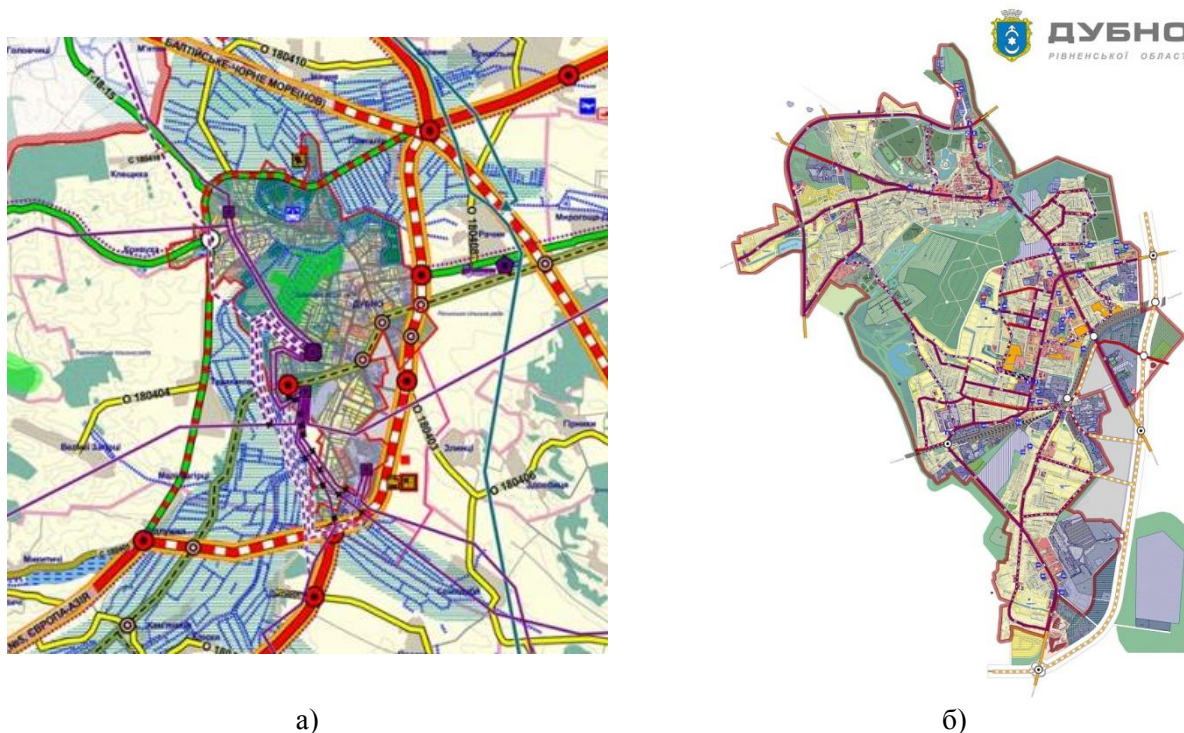


Рисунок 1 – Місто Дубно з його головними автомобільними шляхами (а) та вулично-дорожньою мережею (б) [10]

Важливими об'єктами інфраструктури для організації і безпеки перевезень пасажирів є наявність трьох мостових переходів (водопропускна канава вул. Львівська і вул. Михайла Грушевського та через річку Ікву по вул. Замковій).

Особливістю планування міста Дубно є наявність електрифікованої залізниці із розгалуженою системою колій. Зокрема функціонують три переїзди. Щодо організації перевезень пасажирів містом вкрай важливим є залізничний переїзд сторону Цукрового заводу, який розміщений на перетині вулиці Залізничної та Страклівської.

Система функціонування пасажирського транспорту міста Дубно направлена на задоволення трудових, культурно-побутових та інших видів потреб в пересуванні пасажирів. Зокрема передбачено 30 громадських (автобусних) маршрутів із звичайним режимом руху. Загальна протяжність всіх маршрутів в обидві сторони становить близько 174 км. Громадський транспорт здійснює перевезення пасажирів вулично-дорожньою мережею з двостороннім рухом.

Враховуючи специфічні особливості вулично-дорожньої мережі, відзначимо, що більшість маршрутів мають спільні ділянки проходження (рис. 2). До таких ділянок з найбільшою кількістю

маршрутів відносяться вулиці Сурмичі, Забрама, Данила Галицького. Відзначимо, що планувальна характеристика мережі вулиць не дозволяє розмежувати маршрути руху пасажирського транспорту без уникнення їх дублювання.

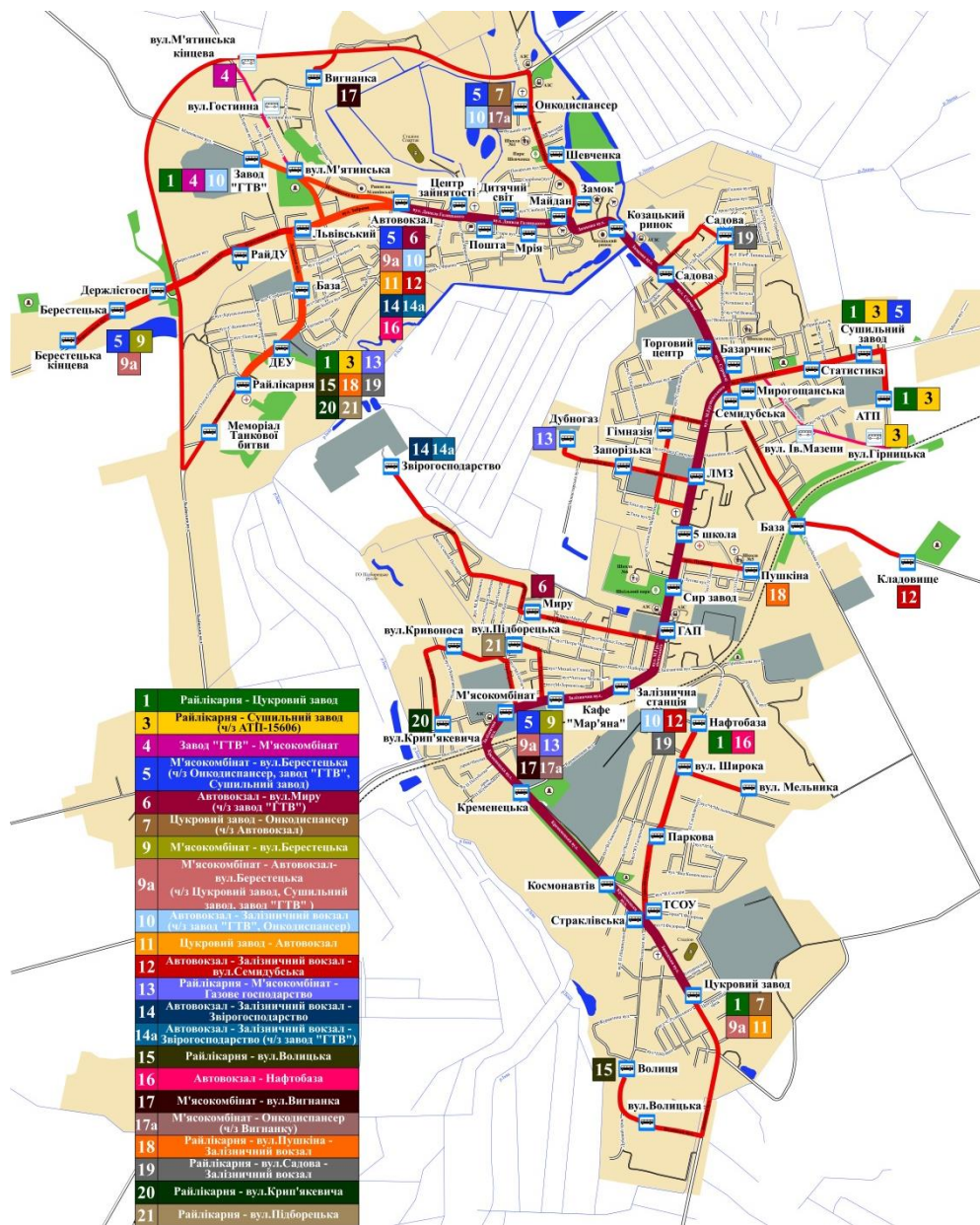


Рисунок 2 – Загальна схема руху міського пасажирського транспорту міста Дубно

Оцінимо ефективність функціонування системи перевезень пасажирів міста Дубно.

Поїздки конкретного пасажиря носять імовірнісний характер. Враховуючи планувальні особливості міста в середньому за рік становить 167 поїздок, що відповідає потребам малого міста.

В основному транспортна маршрутна мережа міста за окремими маршрутами характеризується незначною їх довжиною в межах 6-14 км. З огляду на це, дані маршрути простіші в організації та економічно вигідніші (порівняно з довгими).

Оціночна величина маршрутного коефіцієнта $K_{мар}$ становить 2,35, що свідчить про задовільний рівень розвиненості маршрутної мережі міста і підкреслює значне дублювання маршрутів існуючої маршрутної мережі міста.

Щільність маршрутної мережі δ становить 2,5, що вказує на розвиненість маршрутної мережі малого міста.

Розрахункове значення коефіцієнта прямолінійності маршрутів $K_{пн_мар}$ становить від 1,8 до 5,1 і характеризується як помірно прямолінійні.

Швидкість поїздки на маршруті (сполучення) визначається головним чином часовим періодом руху пасажирів до місця призначення, від кількості зупинок на маршруті, технічного стану транспортного засобу, дорожньої ситуації. Оціночна середня швидкість руху становить 18-20 км/год з його максимальним значенням до 28-32 км/год.

Маршрути громадського транспорту починають функціонувати починаючи з 5-6 години зранку і закінчуються о 22-23 годині. Тривалість рейсу найбільша 40 хв. для маршруту слідування «Цукровий завод-Районна лікарня», найменша – 15 хв. «М'ясокомбінат – вул. Берестецька».

При дослідженні похвилинного розкладу руху міського пасажирського транспорту відмічене часове накопичення автобусів за однаковим часом їх прибуття на зупинки, наприклад, на зупинці «Базарчик» в напрямку Цукрового заводу.

Навантаження транспортної мережі міста Дубно характеризується нерівномірним часовим розподілом пасажиропотоків, які в свою чергу визначаються потужністю всієї системи (рис. 3).

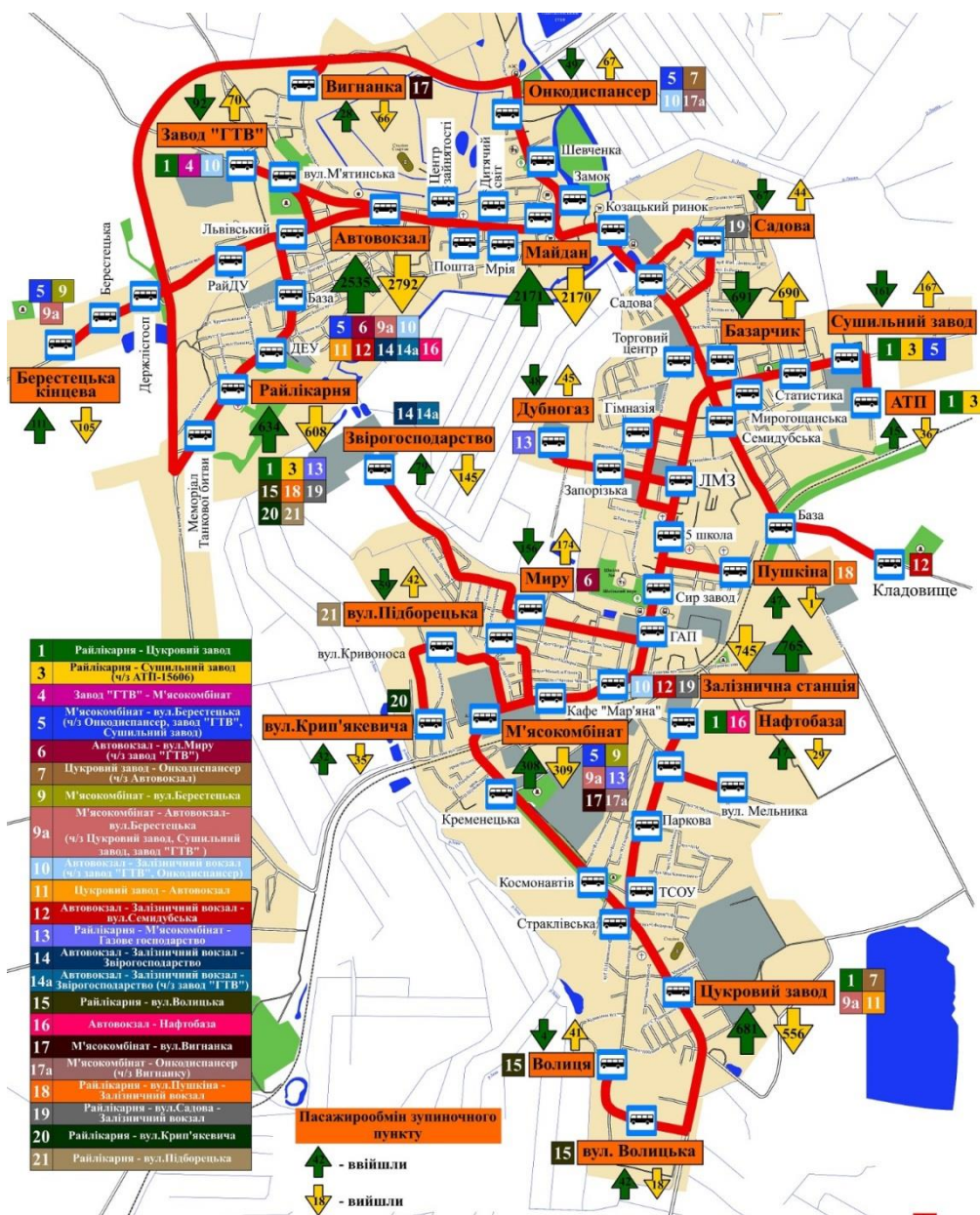


Рисунок 3 – Сумарні добові потоки переміщення пасажирів містом Дубно на зупиночних пунктах

Коефіцієнти нерівномірності пасажиропотоків мають такі значення:

- коэффициенти нерівномірності за годинами доби 1,5-2,0;
- коэффициенти нерівномірності за днями тижня 1,1-1,25;
- коэффициенти нерівномірності за напрямками 1,3-1,6.

На основі аналізу кількості перевезених пасажирів маршрутами руху (наприклад, «Цукровий завод – Районна лікарня») міста Дубно, встановлено, що в ранкові і вечірні періоди кількість перевезених пасажирів сягає максимуму (навіть і більше на 10-20%) паспортної технічної пасажиромісткості транспорту. Це в свою чергу негативно впливає на якість перевезень і потребує правильної організації перевезень, одним з напрямів реалізації якої є збільшення пасажиромісткості в особливі періоди.

В місті Дубно рух громадського транспорту здійснюється найрозповсюдженішими транспортними засобами ПАЗ-4234, БАЗ А079.04, БАЗ А079.14, БАЗ А079.23, Богдан А069.21, ЗАЗ А07А11-VAN. Щодо вікового складу транспортних засобів, відзначимо, що більшість транспортних засобів вже мають термін експлуатації 10-12 років (64%) і більше. Загальна пасажиромісткість основних і резервних маршруток в основному складає 40-42 пасажири. Нажаль, тільки один автобус обладнано для перевезення осіб з індивідуальними потребами.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Функціонування міської мобільності в першу чергу впливає на задоволення попиту на перевезення і характеризується низькою чинників розвитку мережі транспорту, як територіально і в часовому просторі при взаємодії всіх та окремих маршрутів.

Розвиток маршрутної системи дозволить скоротити витрати часу на переміщення пасажирів, ефективність використання транспортних засобів та на ефективність (економічність) фінансової діяльності перевізника. Соціальний аспект удосконалення організації міських пасажирських перевезень неможливий без урахування інтересів пасажирів (споживачів транспортних послуг). Механізм покращень міських перевезень в більшості регулює відомчі економічні відносини, а також ресурсні можливості транспортних перевізників.

Отримані дані дозволять визначити пріоритетні напрями та спрогнозувати заходи на покращення функціонування міської пасажирської транспортної системи для умов сталого розвитку міста.

ВИСНОВКИ

Формування раціонального варіанту маршрутної мережі міста базується на об'єктивних даних про потреби населення у пересуваннях та сучасних методах моделювання процесу перевезення пасажирів маршрутним транспортом на основі встановлених показників пасажирських перевезень (комплексне обстеження необхідно проводити кожні 3-5 років). Першочергово необхідно забезпечити якісні показники надання послуг з перевезення, які направлені на безпечність перевезень, комфортність, екологічність, тощо. Для формування ефективної системи пасажирського транспорту необхідно знати не лише напрямки і величини (потужності) пасажиропотоків, а також ступінь їх нерівномірності. Як перспективний варіант маршрутної системи пропонується використання транспортних засобів раціональної пасажиромісткості та рекомендацій щодо необхідності корегування розкладів руху на маршрутах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. Москва : Высш. школа, 1980. 534 с.
2. Formation and Distribution Flows of External Transport in the City / Krystopchuk M., Pashkevych S., Khitrov I., Tkhoruk Y. *Reliability and Statistics in Transportation and Communication. RelStat 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020. Vol 117. P. 141-150 Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-44610-9_15.
3. Кристопчук М. Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : монографія. Рівне : НУВГП, 2012. 158 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1645> (дата звернення: 16.10. 2020)
4. Farber Steven, Liwei Fu. Dynamic Public Transit Accessibility Using Travel Time Cubes: Comparing the Effects of Infrastructure (dis)investments over Time. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2017. Vol. 62. P. 30-40. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2016.10.005.
5. Othayoth Darshana, Bhimaji K. Katti. Modelling Trip Distribution Using Fuzzy Logic Approach. *Transportation in Developing Economies*. 2017. Vol. 3. P. 157-168. doi:10.1007/s40890-017-0036-y.
6. Спиринов И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. Москва : Академия, 2010. 400 с.
7. Доля В. К. Пасажирські перевезення. Харків : Вид-во «Форт», 2011. 504 с.
8. ДБН Б.2.2-12:2018. Планування і забудова територій. Київ : Міністерство регіонального

розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 187 с.

9. Спирин И. В. Перевозки пассажиров городским транспортом. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2004. 413 с.

10. Генеральный план. *Дубенська міська рада* : веб-сайт. URL: <https://dubno-adm.gov.ua/dubenchaniu/arkhitektura-ta-mistobuduvannja/generalnii-plan.html> (дата звернення 08.10.2020).

REFERENCES

1. Efremov Y. S., Kobozev V. M. & Yudyn V. A. (1980). Teoriya horodskiykh passazhirskiykh perevozk. Moscow : Vyssh. shkola.

2. Krystopchuk M., Pashkevych S., Khitrov I. & Tkhoruk Y. Formation and Distribution Flows of External Transport in the City. Reliability and Statistics in Transportation and Communication. RelStat 2019. Lecture Notes in Networks and Systems. 117, 141-150. DOI:10.1007/978-3-030-44610-9_15.

3. Krystopchuk M. YE. (2012). Sotsialno-ekonomichna efektyvnist pasazhyrskoyi transportnoyi systemy prymiskoho spoluchennya : monohrafiya. Rivne: NUWM. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1645>.

4. Farber Steven & Liwei Fu. (2017). Dynamic Public Transit Accessibility Using Travel Time Cubes: Comparing the Effects of Infrastructure (dis)investments over Time. Computers, Environment and Urban Systems. 62, 30-40. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2016.10.005.

5. Othayoth Darshana & Bhimaji K. Katti. (2017). Modelling Trip Distribution Using Fuzzy Logic Approach. Transportation in Developing Economies. 3, 157-168. doi:10.1007/s40890-017-0036-y.

6. Spirin Y. V. (2010). Orhanizatsiya i upravleniye passazhirskimi avtomobilnyimi perevozkami. Moscow : Akademiya.

7. Dolya V. K. (2011). Pasazhyrski perevezennya. Kharkiv : Vyd-vo «Fort».

8. DBN B.2.2-12:2018. (2018). Planuvannya i zabudova terytoriy. Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrayiny.

9. Spirin Y. V. (2004). Perevozki passazhirovi horodskim transportom. Moscow : YKTS «Akademkniha».

10. Heneralnyy plan. Dubenska miska rada : web-site. URL: <https://dubno-adm.gov.ua/dubenchaniu/arkhitektura-ta-mistobuduvannja/generalnii-plan.html>

I. Khitrov, M. Krystopchuk, S. Pashkevych. Estimated indicators of the development of the public passenger transport route system in Dubno.

The development of the city's infrastructure, its demographic, socio-economic manifestation, requires a constant analysis of the level of development. The functioning of urban mobility primarily affects the satisfaction of transport demand and is characterized by a number of factors in the development of the transport network, both geographically and in time space with the interaction of all and individual routes.

The development of the route system will reduce the time spent on the movement of passengers, the efficiency of the use of vehicles and the efficiency (economy) of the financial activity of the carrier. The social aspect of improving the organization of urban passenger transport is impossible without taking into account the interests of passengers (consumers of transport services). The mechanism for improving urban transport in most cases regulates departmental economic relations, as well as the resource capabilities of transport carriers.

A key element is the regular monitoring of urban passenger transport indicators, which can be determined through a comprehensive survey. The data obtained will make it possible to identify priority areas and predict measures to improve the functioning of the urban passenger transport system for the conditions of sustainable development of the city.

The main indicators of the urban route system of passenger transport are: transport mobility of the population; total average route length; route coefficient (characterizes the saturation of the territory with the urban transport network and at the same time the availability of stopping locations); non-straightforward ratio of routes (characterizes the degree of straightforward routes and affects the time spent moving along the route); the speed of the route message.

The length of the route determines the mode of operation of the minibus driver, the degree of use of the passenger of the capacity of the rolling stock, its operational speed, fuel costs and other components of the carrier's economic activity.

By the value of the route coefficient, it is possible to estimate the degree of duplication of routes of the existing route network of the city. The large value of the route coefficient, on the one hand, reduces the number of transfers, and on the other, under constant conditions, increases the intervals of traffic on routes and, accordingly, the length of waiting for passengers to board at stops.

The speed is influenced by a number of factors, including: the frequency of stops on the route (for passenger exchange or caused by traffic control means), the traction and dynamic qualities of the rolling stock and the design features of its devices for boarding and disembarking passengers, the intensity of passenger exchange, the intensity of traffic flow and road conditions, experience and psychophysiological state of the driver.

Key words: transport infrastructure, city passenger transport, transport network, indicators of a city route system, streams of movement of passengers.

ХИТРОВ Ігор Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>;

КРИСТОПЧУК Михайло Євгенович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8701-4469>;

ПАШКЕВИЧ Світлана Михайлівна, старший викладач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: s.m.pashkevych@nuwm.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0001-7667-8932>.

Ihor KHITROV, PhD, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>;

Mykhailo KRYSTOPCHUK, PhD., Associate Professor, Head of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8701-4469>;

Svetlana PASHKEVYCH, Senior Lecturer of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: s.m.pashkevych@nuwm.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0001-7667-8932>.

DOI 10.36910/automash.v2i15.402

Чеберячко С.І., Дерюгін О.В., Третяк О.О., Муха О.А.

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна***ОЦІНКА ЕРГОНОМІЧНИХ РИЗИКІВ ЗДОРОВ'Ю РОБІТНИКІВ АВТОСЕРВІСУ**

Професійні захворювання опорно-рухового апарату працівників автосервісу є одними з найрозповсюдженіших серед цієї категорії робітників. Саме вони зменшують продуктивність праці та якість життя. Тому пошук шляхів для забезпечення безпеки і комфорту на робочому місці та обґрунтування рішень щодо удосконалення ергономіки технологічного процесу є актуальним завданням.

Мета дослідження - оцінка ергономічних ризиків здоров'ю працівників автосервісу під час здійснення виробничої діяльності, пов'язаної з ремонтом і технічним обслуговуванням автомобілів та обґрунтування способів їх зниження.

Для оцінки ризику виникнення професійних захворювань опорно-рухового апарату скористаємось методом швидкої оцінки робочої пози працівників (Rapid Entire Body Assessment worksheet ("REBA")).

За результатами проведеного дослідження - встановлено, що найбільша ймовірність захворювання опорно-рухового апарату виникає у працівників шиномонтажу. Для цієї технологічної операції є характерною ручна робота з великим навантаженням при значній кількості незручних поз. Визначено, що найбільш ризикованими операціями з обслуговування є розкручування (закручування шайок) та установка (знімання) колеса, що пов'язано насамперед з поєднанням значного фізичного зусилля і незручної пози. При цьому ймовірність травмування опорно-рухового апарату складає майже - 99%. Наведено характеристики сучасного обладнання для підвищення безпеки праці за ергономічним критерієм – зменшення фізичного навантаження на робітників. Встановлено, що його використання призведе до покращення рівня безпеки на - 60%.

В результаті проведеного дослідження, було показано на прикладі проведення оцінки ергономічного ризику, що за його величиною можна визначити найбільш травмонебезпечні операції та обґрунтувати доцільність удосконалення технологічного процесу, зокрема шиномонтажу, за рахунок збільшення використання засобів механізації роботи автомеханіка.

Ключові слова: підприємство автосервісу, зміна функціонального стану організму, метод REBA, ризик, ергономіка

ВСТУП

За даними Фонду соціального страхування України, основними причинами виникнення професійних захворювань робітників на промисловому виробництві, є недосконалість механізмів та робочого інструменту - 25,4%, недосконалість технологічного процесу - 18,4% та неефективність роботи засобів індивідуального захисту - 15,1%. У структурі професійних захворювань перше місце займають хвороби органів дихання - 39,8% від загальної кількості діагнозів по Україні (873 випадки). Захворювання опорно-рухового апарату (ЗОРА) (радикулопатії, остеохондрози, артрити, артрози) складають 27,6% (606 випадків), хвороби слуху - 12% (263 випадки), вібраційна хвороба - 5,8% (127 випадків) (рис. 1) [1].

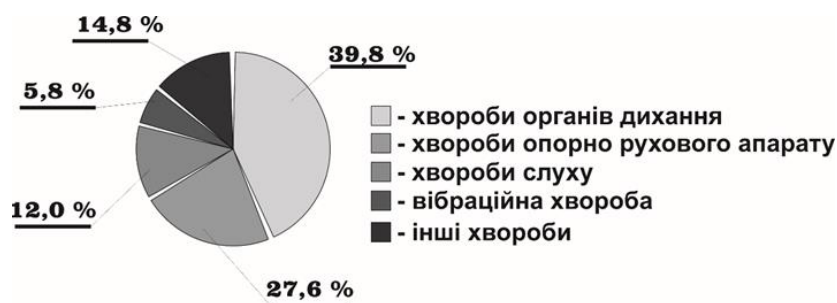


Рисунок 1. Структура професійних захворювань працівників промислових підприємств в Україні

Автомобільний сервіс, в нашій країні, охоплює значний соціальний сегмент працюючих (приблизно 200 тис. осіб), оскільки його послугами користуються кожний автовласник. На жаль, статистичні дані свідчать про зростання кількості нещасних випадків та професійних захворювань у цій галузі (за минулий рік тільки у Дніпропетровській області зафіксовано 120 випадків, що у 2,5 рази більше від попереднього [2]). Робота працівника автосервісу характеризується великою кількістю важкої ручної роботи, наявністю у більшості технологічних операцій з технічного обслуговування

або ремонту (ТО і Р) потенційних небезпек його здоров'ю, які характеризуються великою кількістю одноманітних стереотипних рухів з додаванням значних фізичних зусиль, травмонебезпечними позами тулуба при виконанні технологічної операції, низьким рівнем автоматизації праці, відсутністю у більшості випадків ефективного ергономічного обладнання тощо. Саме тому, оцінка ергономічних ризиків для виявлення потенційних небезпек здоров'ю працівників автосервісу дозволить обґрунтувати способи їх усунення, що є актуальним і важливим завданням.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ергономіка вивчає взаємозв'язок між умовами і об'єктами роботи для забезпечення високої працездатності і безпеки працівників [3, 4]. Важливою її складовою є встановлення вимог до робочих місць, знарядь праці і навколишнього середовища для мінімізації їх впливу на фізичні і психологічні властивості працівників [5]. Звідси виникає необхідність у проведенні всебічних досліджень, які пов'язані з вивченням антропометричних, психофізіологічних, сенсомоторних та енергетичних характеристик людини, для організації, просторового компонування, розмірів, технологічного оснащення, розміщення виробничого обладнання та технологічних ліній. Для вирішення цих завдань виконується велика кількість наукових праць [6-14], які спрямовані перш за все на дослідження умов праці для зменшення імовірності ризику виникнення професійних захворювань опорно-рухового апарату працівника під час виконання виробничої діяльності. Однак аналіз наукових досліджень показав використання складних механізмів щодо визначення критеріїв для покращення комфорту на робочих місцях, які здебільшого трудомісткі і недоступні для використання. Тому виникає потреба саме в простих методах оцінювання ергономічних ризиків, що дозволить обґрунтувати інженерні рішення з підвищення як рівня безпеки, так і комфорту праці [10, 11].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження – ергономічні ризики при ремонті автомобіля.

Ціль дослідження - оцінка ергономічних ризиків здоров'ю працівників автосервісу під час виконання виробничої діяльності з ремонту і технічного обслуговування автомобілів та обґрунтування шляхів їх зниження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оцінки ризику виникнення професійних захворювань опорно-рухового апарату скористасємось методом швидкої оцінки робочої пози працівників - "REBA" (рис. 2). Він представляє собою спеціальний бланк, який розділений на дві частини "А" і "В". До першої належить розташування тулуба, шиї та ніг. Друга частина присвячена оцінці розташування плечей, ліктів та зап'ястя. Виходячи з діапазонів та напрямку руху суглобів, величини зусиль, навантаження та стану активності, розраховується відповідний бал для кожної частини тіла, які потім за допомогою спеціальної таблиці дозволяють визначити величину ризику виникнення професійного захворювання опорно-рухового апарату працівника.

Кожний етап розділений на декілька кроків. Перші три присвячені встановленню балів, які відповідають положенню частин тіла: шиї, тулуба, ніг. Кожному положенню частини тіла, яке визначається через аналіз фотографії відповідає певна кількість балів, які потім підставляються у таблицю "А" для визначення результуючого значення. На наступному кроці до отриманого значення додаються бали, які відповідають величині зусилля чи навантаження на працівника при виконанні відповідної роботи. Одержаний результат, дозволяє знайти відповідний стовбець у таблиці "С". Далі переходимо до визначення балів, які відповідають розташуванню передпліччя, плеча і зап'ястя. Встановлені бали підставляють у таблицю "В", що дозволяє отримати результуюче значення. Додаючи до нього бали, які характеризують тип захвату встановлюємо величину, яка допомагає знайти необхідний рядок у таблиці "С". На перетині – знайдемо результуючий показник ризику, для уточнення якого додають бали, що відповідають за активність і складність роботи.

У результаті одержимо певну цифру, інтерпретація, якої дозволить прийняти управлінське рішення, щодо зменшення рівня ризику виникнення захворювання. Загальним результатом проведеної оцінки є величина ризику виникнення захворювання опорно-рухового апарату, який є високим і потребує кардинальних змін технології виконання робіт.

REBA Employee Assessment Worksheet

Date:

Шия

Оцінки

Крок 1. Аналіз положення ший

Крок 1а. Коригування.
Якщо тұлбу скручений +1
Якщо тұлбу нахилено у бік +1

Крок 2. Аналіз положення тұлбу

Крок 3. Аналіз розташування ніг

Крок 4. Розрахунок
Оцінки з п. 1 - 3 занесіть до таблиці А

Крок 5. Зусилля/Навантаження
Якщо навантаження до 5 кг +1
Якщо навантаження від 5 до 10 кг +2
Якщо навантаження більше 10 кг +3
Коригування. Швидке виконання роботи +1

Крок 6. Отримайте оцінку А
Підсумуйте значення оцінок кроків 4 і 5
Знайдіть рядок у таблиці С

Коригування

Оцінка А + Зусилля/Навантаження = Оцінка Б

Оцінка з таблиці А + Оцінка Б = Оцінка з таблиці А

Оцінка А + Оцінка Б = Оцінка А

Таблиця А

		Шия											
		1				2				3			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Розташування тұлбу	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Таблиця Б

		Зап'ястя					
		1		2		3	
		1	2	3	1	2	3
Передпліччя	1	1	2	3	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Таблиця С

		Оцінка Б											
		Оцінка А											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Результат з таблиці С + Оцінка активності = Загальний результат

Крок 7. Аналіз розташування передпліччя

Крок 7а. Коригування.
Плече підняте +1
Людина робить нахил +1
Плече відтягнуто назад +1

Крок 8. Аналіз розташування плечей

Крок 9. Аналіз розташування зап'ястя

Крок 9а. Коригування.
Якщо зап'ястя закручене чи сильно зігнуте +1

Крок 10. Отримайте оцінку Б
Визначте бал із таблиці Б, користуючись оцінками кроків 7 - 9

Крок 11. Оцініть захват
Гарна рукоятка +0
Прийнятна рукоятка +1
Неприйнятна рукоятка +2
Рукоятка відсутня +3

Крок 12. Отримайте оцінку Б
Підсумуйте значення оцінок кроків 10, 11
Знайдіть рядок у таблиці С

Крок 13. Оцінка активності
Статична робота +1
Динамічна робота +2
Велика кількість повторювальних операцій +2
Значний перепад навантажень +3

Інтерпретація оцінок

- 1 - ризик відсутній;
- 2-3 - мінімальний ризик (потрібні незначні зміни)
- 4-7 - середній ризик (потрібно удосконалення технологій)
- 8-10 - високий ризик (роботи виконувати не можна, потрібні кардинальні зміни)
- 11 - неприпустимий ризик (роботи заборонені)

Original Worksheet Developed by Dr. Alan Hedge. Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

Рисунок 2. Чек-лист для оцінки ергономічного ризику виникнення захворювань опорно-рухового апарату

Загальну величину ергономічного ризику за формулою [15]:

$$R_{EP} = 1 - \prod_{i=1}^n S_{EPi}, \quad (1)$$

де S_{EPi} - рівень безпеки виконання i - ой технологічної операції з ремонту або обслуговування автомобіля:

$$S_{EP} = \frac{(x_{max} + 1) - x_i}{x_{max}}, \quad (2)$$

де x_{max} - максимальна бальна оцінка, яка визначається за результатами обробки розташування працівників на робочому місці методом "REBA"; x_i - бальна оцінка ергономічного ризику, яка визначена за методом "REBA" за відповідною операцією технологічного процесу ремонту або обслуговування автомобіля.

Під час виконання виробничих операцій в незручних позах існує декілька варіантів настання небажаних подій, які пов'язані зі ЗФСО працівника автосервісу (рис. 3).



Рисунок 3. Основні сценарії прояву ЗФСО працівника автосервісу

Визначення величини ймовірності настання небезпечної події проведемо на прикладі виконання технологічного процесу – заміна пошкодженого колеса легкового автомобіля. Запропонована технологічна операція є найменш автоматизованою і вимагає від працівників автосервісу знаходитися під час її виконання в доволі незручних робочих позах із застосуванням ручної роботи, яка вимагає великих фізичних зусиль при виконанні наступних технологічних операцій: зривання гайок, установку домкрата, зняття/заміна колеса та ін. Величину бальних оцінок ергономічного ризику проводили, виходячи із аналізу фотознімків положення тулуба працівника автосервісу при виконанні відповідної технологічної операції, на яких попередньо була зроблена структурна схема фіксації частин тулуба і кутів між ними. За допомогою чек-листа методу «REBA» встановлено ергономічний ризик за відповідними технологічними операціями. Для прикладу на рис. 4, 5 наведено алгоритм розрахунку величини ергономічного ризику при виконанні технологічної операції – зривання гайок з колеса.

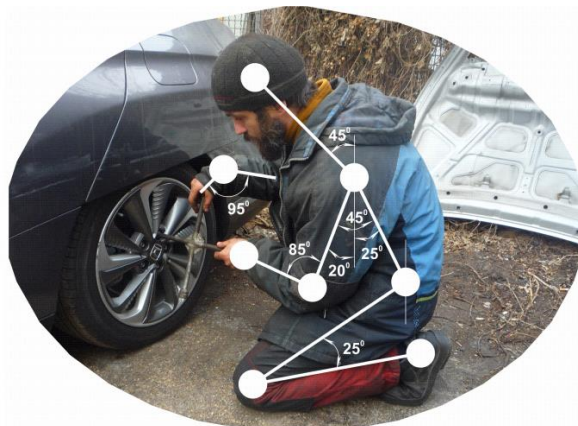
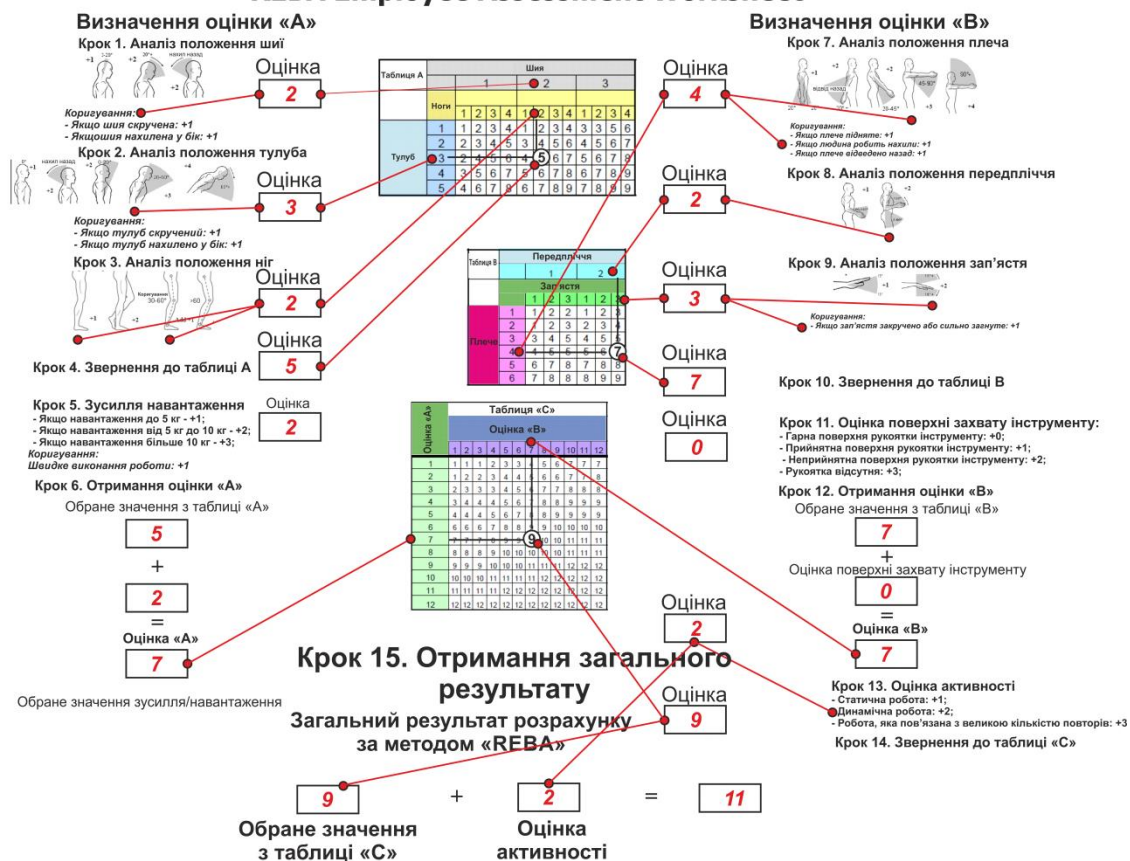


Рисунок 4. Зображення працівника, що виконує технологічну операцію – зривання кріпильних гайок колеса легкового автомобіля з нанесеною структурною схемою положення тулуба

В подальшому за формулами (1) і (2) розраховується ймовірність настання професійного захворювання/травмування для кожної технологічної операції (табл. 1). Аналіз отриманих результатів говорить про значну небезпеку ЗФСО працівника автосервісу. Найбільш ризикованими операціями з обслуговування є розкручування (закручування шайок) та установка (зняття) колеса, що пов'язано насамперед з поєднанням значного фізичного зусилля і незручної пози. При цьому ймовірність травмування/професійного опорно-рухового апарату складає майже 99%. Зменшення цієї величини можливе лише за рахунок впровадження хоча б часткової механізації/автоматизації технологічного процесу. Запропоновано нове ергономічне обладнання, яке дозволить зменшити рівень ризику наведено в табл. 2. В результаті подальших обрахунків вже нових поз і зусиль під час виконання шиномонтажу з урахуванням модернізації наведені в табл. 3. Розрахунки показують, що його використання призведе до покращення рівня безпеки на 60%, при цьому рівень ризику буде середнім.

REBA Employee Assessment Worksheet



Інтерпретація отриманого результату:






- 1 - ризик відсутній;
- 2-3 - мінімальний ризик (потрібні незначні зміни);
- 4-7 - середній ризик (потрібно удосконалення технологій);
- 8-10 - високий ризик роботи виконувати не можна, потрібні кардинальні зміни);
- 11 - неприпустимий ризик (роботи заборонено)

Рисунок 5. Алгоритм розрахунку ергономічного ризику при виконанні робітником автосервісу технологічної операції – зривання кріпильних гайок колеса легкового автомобіля

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В цілому, результати оцінювання ергономічного ризику дозволяють адекватно обґрунтувати витрати на закупівлю нового ергономічного обладнання. І хоча рівень ризику в результаті запропонованого рішення є середнім, (помірним) – це дозволяє при дотриманні відповідних інструкцій все ж таки зменшити ймовірність травмування чи виникнення професійного захворювання. Однак, це не означає «зупинку», потрібні інші інженерні рішення і подальші дослідження, що, в цілому, дозволяє здійснити запровадження система управління безпекою праці на основі ризик-орієнтованого підходу. Вона сьогодні широко впроваджується на вітчизняних підприємствах, в тому числі і на підприємствах автосервісу. На думку багатьох фахівців, вона є досить результативною [16-19], що підтверджено реальним станом виробничого травматизму на підприємствах та спонукає до постійного пошуку та виявлення небезпек і, відповідно, їх усунення. Особливо такий підхід актуальний при обґрунтуванні витрат на усунення небезпеки зі значним рівнем ризику. З іншого боку ризикам із незначним рівнем також потрібно приділяти належну увагу, хоча їх величина знаходиться у прийнятній зоні, що не може завдати значної шкоди працівникам, у яких, однак через накопичувальну дію з часом з'являється захворювання. Виходячи з розуміння окресленої проблеми все більше небайдужих фахівців намагаються удосконалити та запропонувати альтернативні підходи до систем управління ергономікою і гігієною праці. Тому, запропонований метод, який враховує ергономічні критерії - дозволить не тільки обґрунтувати доцільність закупівлі ефективного обладнання, а й реально сприятиме підвищенню продуктивності праці, що збільшить прибуток автосервісного підприємства, а не лише його витрати на охорону праці.




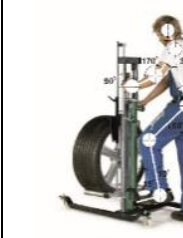

Таблиця 1 Результати розрахунку ймовірності ергономічного ризику працівника автосервісу

Технологічний процес	Затягування гайок	Установка домкрата і підйом автомобіля	Розкручування (закручування) гайок	Зняття (установка) колеса	Заміна колеса
Нова поза при виконанні операцій					
Результат, отриманий за методом "REBA"	11	5	11	11	6
Рівень ризику	Неприпустимий	Середній	Неприпустимий	Неприпустимий	Середній
Рівень безпеки виконання технологічної операції S_{EP}	0.083	0,583	0.083	0.083	0,583
Ймовірність захворювання/травмування, R	0.99				

Таблиця 2 Обладнання для удосконалення технологічного процесу заміни пошкодженого колеса легкового автомобіля

№ п/п	Технологічний процес	Технологічне обладнання	Вартість обладнання, грн./\$	Виробник
1.	Зривання (затягування) гайок	Ножичний підйомник	150000/6200	ТОВ «Форстор» 49006, Дніпро, пр. Пушкіна, буд. 8а. Email: info@forstor.ua
		Пневматичний гайковерт	12000/500	ТОВ «Форсаж», м. Мінськ, вул Орловська, буд. 40, Білорусь Email: info@forsagebel.by
2.	Установка (зняття) домкрата і підйом (опускання) автомобіля	Ножичний підйомник	150000/6200	ТОВ «Форстор» 49006, Дніпро, пр. Пушкіна, буд. 8а. Email: info@forstor.ua
		Пневматичний домкрат	4000/160	ТОВ «Індастріал-Сервіс» 49000, Дніпро, вул. Стартова, буд. 20. Email: kiev@indservice.com.ua
3.	Закручування гайок	Пневматичний гайковерт	12000/500	ТОВ «Форсаж», м. Мінськ, вул. Орловська, буд. 40, Білорусь Email: info@forsagebel.by
4.	Зняття (установка) колеса	Візок для зняття і транспортування автомобільних коліс	35000/1430	ТОВ «Форсаж», м. Мінськ, вул Орловська, буд. 40, Білорусь Email: info@forsagebel.by
5.	Заміна колеса			

Таблиця 3 Результати розрахунку ймовірності ергономічного ризику ЗФСО працівника автосервісу при виконанні технологічного процесу - заміна пошкодженого колеса легкового автомобіля після запровадженні заходів з використання ергономічного обладнання

Технологічний процес	Зривання (затягування) гайок	Установка (зняття) домкрата і підйом (опускання) автомобіля	Розкручування (закручування) гайок	Зняття (установка) колеса	Заміна колеса
Нова поза при виконанні операцій					
Результат, отриманий за методом "REBA"	7	5	4	6	5
Рівень ризику	Середній	Середній	Середній	Середній	Середній
Рівень безпеки виконання технологічної операції, S_{EP}	0,417	0,583	0,667	0,5	0,583
Ймовірність захворювання/травмування, R	0,417				

ВИСНОВКИ

Проведена оцінка ергономічних ризиків при шиномонтажних роботах за допомогою методу "REBA". Встановлено, що найбільша ймовірність захворювання опорно-рухового апарату на автосервісі у працівників шиномонтажу, для якого характерна ручна робота зі значним навантаженням при значній кількості незручних поз. Визначено, що найбільш ризикованими операціями з обслуговування є розкручування (закручування шайок) та установка (зняття) колеса, що пов'язано насамперед з поєднанням фізичних зусиль і незручної пози. При цьому ймовірність травмування опорно-рухового апарату складає майже - 99%. Наведено характеристику сучасного обладнання для підвищення безпеки праці за ергономічним критерієм – зменшення фізичних витрат робітників. Встановлено, що його використання призведе до покращення рівня безпеки на - 60%.

В результаті проведеного дослідження на конкретних прикладах було показано проведення оцінювання ергономічного ризику, за величиною якого можна визначити найбільш травмонебезпечні операції та обґрунтувати доцільність удосконалення технологічного процесу, зокрема шиномонтажу, за рахунок збільшення використання засобів механізації роботи автомеханіка.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Державна служба статистики України. Травматизм на виробництві в Україні у 2017 році. Статистичний збірник. Київ – 2018 рік, 132 с.
2. Дайджест новин фонду соціального страхування України з 10 по 15 грудня 2018 року. // Фонд соціального страхування України: Режим доступу: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/chnig/uk/publish/article/101426> (дата звернення: 15.05.2020).
3. Al Madani, D., & Dababneh, A. (2016). Rapid Entire Body Assessment: A Literature Review. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 9(1), 107-118. DOI: 10.3844/ajeassp.2016.107.118.

4. Subramanian, S., Raju, N., Srinivasan, P., Jeganathan, K., & Jayaraman, S. (2018). Low back pain assessment using surface electromyography among industry workers during the repetitive bending tasks. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 5(4), 277-292. DOI: 10.1504/IJHFE.2018.096112.
5. Workplace injuries and illnesses – 2011. // Bureau of Labor Statistics. Workplace injuries and illnesses – 2011. Режим доступу: http://www.bls.gov/news.release/archives/osh_10252012.pdf. – Загол. з екрану. (дата звернення: 15.05.2020).
6. Vejan, A., Brosseau, L.M., & Parker, D.L. (2011). Exposure assessment in auto collision repair shops. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8, 401-408. DOI: 10.1080/15459624.2011.585117.
7. Dembe, A.E., Erickson, J.B., Delbos, R.G., & Banks, S.M. (2005). The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States. *Occupational Environment Medicine*, 62, 588-597. DOI: 10.1136/oem.2004.016667.
8. Sorock, G.S, Lombardi, D.A., Hauser, R., Eisen, E.A., Herrick, R.F., & Mittleman, M.A. (2004). A case-crossover study of transient risk factors for occupational acute hand injury. *Occupational Environment Medicine*, 61(4), 305-311. DOI: 10.1136/oem.2002.004028.
9. Dotson, G.S. (2006). Characterization of asbestos exposure among automotive mechanics servicing and handling asbestos-containing materials. Graduate Theses and Dissertations. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/2506>.
10. Mukhopadhyay, P., & Khan, A. (2015). The Evaluation of Ergonomic Risk Factors Among Meat Cutters Working In Jabalpur, India. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 21(3), 192-198. DOI: 10.1179/2049396714y.0000000064.
11. Sukapto, P., Cynthia, F., & Standiklaus, S. (2019). Application of the REBA method to osh systems to increase work productivity (a case study at pt. eksonindo mpi, Bandung, Indonesia). *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 3088-3098. Article ID: IJCIET_10_03_311.
12. Motamedzade, M., Mohammad, R.A., Rostam, G., & Hossein, M. (2011). Comparison of Ergonomic Risk Assessment Outputs from Rapid Entire Body Assessment and Quick Exposure Check in an Engine Oil Company. *Journal Of Research In Health Sciences*, 1(1), 26-32. DOI: 10.18869/acadpub.johe.2.4.195.
13. Ansari, N.A., & Sheikh, M.J. (2014). Evaluation of work Posture by RULA and REBA: A Case Study. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(4), 18-23. DOI: 10.9790/1684-11431823.
14. Moradi, M., Poursadeghiyan, M., Khammar, A., Hami, M., Darsanj, A., & Yarmohammadi, H. (2017). REBA method for the ergonomic risk assessment of auto mechanics postural stress caused by working conditions in Kermanshah (Iran). *Annals of Tropical Medicine and Public Health*, 10(3), 589-594. DOI: 10.4103/ATMPH.ATMPH_107_17.
15. Минько В.М. Математическое моделирование в охране труда. Монография / В.М. Минько. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2007. – 200 с.
16. Stradina, G., Ievins, J., Roja, Z., Kalkis, V., & Kalkis, H. (2014). Ergonomic Risks in the Printing Company and Workers' Wellbeing. *Safety of Technogenic Environment*, 5, 43-46. DOI: 10.7250/ste.2014.005.
17. Roja, Z., Kalkis, H., Reinholds, I., & Cekuls, A. (2016). Ergonomics risk analysis in construction operations. *Agronomy Research*, 14(1), 211-219. Retrieved from [http:// https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/05/Vol14-_nr1_Roja.pdf#abstract-4105](http://https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/05/Vol14-_nr1_Roja.pdf#abstract-4105).
18. Jan, D., & Neumann, W.P. (2009). Ergonomics Contributions to Company Strategies. *Applied Ergonomics*, 40(4), 745-752. DOI:10.1016/j.apergo.2008.07.001.
19. Lamond, D., Daniels, K., & Standen, P. (2003). Teleworking and Virtual Organisations: The Human Impact. Chapter 11 (p. 213-234) in the book: *The New Workplace: A Guide to the Human Impact of Modern Working Practices*. UK: John Wiley & Sons, 464 p. ISBN: 978-0-471-48543-8.

REFERENCES

1. State Statistics Service of Ukraine. (2018). Injuries at work in Ukraine in 2017, [*Travmatyzm na vyrobnytstvi v Ukraini u 2017 rotsi*]. Statistical collection. Kyiv, 132 p. [In Ukraine].
2. “News digest of the Social Insurance Fund of Ukraine from December 10 to 15, 2018”, [*Daydzhest novyn fondu sotsial'noho strakhuvannya Ukrainy z 10 po 15 hrudnya 2018 roku*]. – 2018 [Internet]. Website Social Insurance Fund of Ukraine. Retrieved from: URL: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/index>. [In Ukraine].

3. Al Madani, D., & Dababneh, A. (2016). Rapid Entire Body Assessment: A Literature Review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 107-118. DOI: 10.3844/ajeassp.2016.107.118.
4. Subramanian, S., Raju, N., Srinivasan, P., Jeganathan, K., & Jayaraman, S. (2018). Low back pain assessment using surface electromyography among industry workers during the repetitive bending tasks. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, 5(4), 277-292. DOI: 10.1504/IJHFE.2018.096112.
5. Workplace injuries and illnesses – 2011. // Bureau of Labor Statistics. Workplace injuries and illnesses - 2011 [Internet]. Retrieved from: http://www.bls.gov/news.release/archives/osh_10252012.pdf.
6. Bejan, A., Brosseau, L.M., & Parker, D.L. (2011). Exposure assessment in auto collision repair shops. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8, 401-408. DOI: 10.1080/15459624.2011.585117.
7. Dembe, A.E., Erickson, J.B., Delbos, R.G., & Banks, S.M. (2005). The impact of overtime and long work hours on occupational injuries and illnesses: new evidence from the United States. *Occupational Environment Medicine*, 62, 588-597. DOI: 10.1136/oem.2004.016667.
8. Sorock, G.S, Lombardi, D.A., Hauser, R., Eisen, E.A., Herrick, R.F., & Mittleman, M.A. (2004). A case-crossover study of transient risk factors for occupational acute hand injury. *Occupational Environment Medicine*, 61(4), 305-311. DOI: 10.1136/oem.2002.004028.
9. Dotson, G.S. (2006). Characterization of asbestos exposure among automotive mechanics servicing and handling asbestos-containing materials. Graduate Theses and Dissertations. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/2506>.
10. Mukhopadhyay, P., & Khan, A. (2015). The Evaluation of Ergonomic Risk Factors Among Meat Cutters Working In Jabalpur, India. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 21(3), 192-198. DOI: 10.1179/2049396714y.0000000064.
11. Sukapto, P., Cynthia, F., & Standiklaus, S. (2019). Application of the REBA method to osh systems to increase work productivity (a case study at pt. eksonindo mpi, Bandung, Indonesia). *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 3088-3098. Article ID: IJCIET_10_03_311.
12. Motamedzade, M., Mohammad, R.A., Rostam, G., & Hossein, M. (2011). Comparison of Ergonomic Risk Assessment Outputs from Rapid Entire Body Assessment and Quick Exposure Check in an Engine Oil Company. *Journal Of Research In Health Sciences*, 1(1), 26-32. DOI: 10.18869/acadpub.johe.2.4.195.
13. Ansari, N.A., & Sheikh, M.J. (2014). Evaluation of work Posture by RULA and REBA: A Case Study. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(4), 18-23. DOI: 10.9790/1684-11431823.
14. Moradi, M., Poursadeghiyan, M., Khammar, A., Hami, M., Darsanj, A., & Yarmohammadi, H. (2017). REBA method for the ergonomic risk assessment of auto mechanics postural stress caused by working conditions in Kermanshah (Iran). *Annals of Tropical Medicine and Public Health*, 10(3), 589-594. DOI: 10.4103/ATMPH.ATMPH_107_17.
15. Min'ko V.M. (2007). Mathematical modeling in labor protection, [*Matematicheskoye modelirovaniye v okhrane truda*]. Monograph. Kaliningrad: Publish. Kaliningrad State Technical University, 200 p. [In Russian].
16. Stradina, G., Ievins, J., Roja, Z., Kalkis, V., & Kalkis, H. (2014). Ergonomic Risks in the Printing Company and Workers' Wellbeing. *Safety of Technogenic Environment*, 5, 43-46. DOI: 10.7250/ste.2014.005.
17. Roja, Z., Kalkis, H., Reinholds, I., & Cekuls, A. (2016). Ergonomics risk analysis in construction operations. *Agronomy Research*, 14(1), 211-219. Retrieved from [http:// https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/05/Vol14-_nr1_Roja.pdf#abstract-4105](http://https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2016/05/Vol14-_nr1_Roja.pdf#abstract-4105).
18. Jan, D., & Neumann, W.P. (2009). Ergonomics Contributions to Company Strategies. *Applied Ergonomics*, 40(4), 745-752. DOI: 10.1016/j.apergo.2008.07.001.
19. Lamond, D., Daniels, K., & Standen, P. (2003). Teleworking and Virtual Organisations: The Human Impact. Chapter 11 (p. 213-234) in the book: *The New Workplace: A Guide to the Human Impact of Modern Working Practices*. UK: John Wiley & Sons, 464 p. ISBN: 978-0-471-48543-8.

S. Cheberyachko, O. Deryugin, O. Tretyak, O. Mukha. Evaluating ergonomic health risks to car service employees.

Occupational diseases of the musculoskeletal system in car service employees are among the most wide spread ones as for the labour grade. The diseases reduce productivity, and decrease life quality. Thus, search for ways to provide occupational safety and comfort as well as to substantiate decisions concerning the improved ergonomics of operational procedures is the topical problem.

Aim of the research is to evaluate ergonomic health risks to car service employees in the process of their production activities intended to repair and maintain cars, and to substantiate ways of their decrease.

Apply "REBA" (Rapid Entire Body Assessment) worksheet to evaluate risks of occupational diseases of the musculoskeletal system.

The research has helped determine that rim servicing personnel is the category of employees who are the most exposed to the musculoskeletal system diseases. The matter is that intensive muscular works in the context of inconvenient body positioning are typical for the operation. It has been identified that untightening/tightening the screws and wheel mounting/dismounting are the most risky procedures being first connected with a significant physical effort-inconvenient body positioning combination. In this context, potential injury of the musculoskeletal system is almost 99%. The current equipment to improve labour safety has been characterized in terms of ergonomic criterion i.e., reducing the physical load on employees. It has been identified that the equipment use will improve the safety level by 60%.

The results of the research, carried out in terms of ergonomic risk evaluation, have demonstrated that the value can identify the most hazardous activity types, and substantiate the expediency to improve operational procedures (among other things, it concerns car tyre fitting) while increasing the number of mechanical equipment to facilitate a car mechanic activities.

Keywords: car service, changes in a functional state of body systems, "REBA" worksheet, risk, ergonomics

ЧЕБЕРЯЧКО Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: sicheb@ukr.net; orcid.org/0000-0003-3281-7157.

ДЕРЮГІН Олег Валентинович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: oleg.kot@meta.ua; orcid.org/0000-0002-2456-7664.

ТРЕТЯК Олена Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: elena.novikova.ut@ukr.net; orcid.org/0000-0002-7542-9392.

МУХА Олег Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: mukha.o.a@nmu.one; orcid.org/0000-0002-1311-8708.

Serhii CHEBERIACHKO, Doctor of Technical Science, Professor, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: sicheb@ukr.net; orcid.org/0000-0003-3281-7157.

Oleg DERYUGIN, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: oleg.kot@meta.ua; orcid.org/0000-0002-2456-7664.

Olena TRETYAK, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: elena.novikova.ut@ukr.net; orcid.org/0000-0002-7542-9392.

Oleg MUKHA, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate professor, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: mukha.o.a@nmu.one; orcid.org/0000-0002-1311-8708.

DOI 10.36910/automash.v2i15.403

ПЕРЕЛІК РЕЦЕНЗЕТІВ

Бартоломейчик Миколай, доктор інженерії, Політехніка Гданська (Польща).

Грабовець Віталій Валерійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Дембіцький Валерій Миколайович, к.т.н., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Дударєв Ігор Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ.

Захарчук Віктор Іванович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Кравченко Олександр Петрович, доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет, завідувач кафедрою автомобілів і транспортних технологій

Матейчик Василь Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Мурований Ігор Сергійович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Налобіна Олена Олександрівна, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських робіт і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування.

Пустюльга Сергій Іванович, д.т.н., професор, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького НТУ.

Самостян Віктор Русланович, к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького НТУ.

Самчук Володимир Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького НТУ.

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Сітовський Олег Пилипович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Стельмашук Валерій Віталійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ

Таран Ігор Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління на транспорті», НТУ «Дніпровська політехніка».

Толстущко Микола Миколайович, к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та

LIST REVIEWERS

Nikolai Bartolomeychyk, Doctor of Engineering, Gdansk Polytechnic (Poland).

Vitaliy Grabovets - Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Valery Dembitsky, Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Igor Dudarev, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and Equipment for Manufacturing of Lutsk NTU.

Viktor Zakharchuk, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of Automobile and Transport Technologies Department of Lutsk NTU.

Alexander Kravchenko, Doctor of Science in Engineering, Professor, Zhytomyr State Technological University, Head of Department «Cars and transport technologies»

Vasyl Mateichyk, Doctor of Science (Engineering), professor, National Transport University, Dean of the Automechanical Faculty, Kyiv, Ukraine.

Igor Murovani, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor, Head of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University.

Olena Nalobina, Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Construction, Road, Reclamation, Agricultural Works and Equipment, National University of Water Management and Nature Management.

Sergiy Pustulga, Doctor of Science (Engineering), Professor Department of Engineering and Computer Graphics Lutsk NTU.

Victor Samostyan, Ph.D., Associate Professor of the Engineering and Computer Graphics Department of Lutsk NTU.

Volodymyr Samchuk, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Civil Engineering and Civil Engineering Lutsk NTU.

Volodymyr Sakhno, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kiev, Ukraine.

Oleg Sitovsky, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Valery Stelmashchuk, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University

Igor Taran, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of the Department "Transport Management", NTU "Dniprovsk Polytechnic".

Mykola Tolstushko, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industry

лісового господарства Луцького НТУ.

Цизь Ігор Євгенович, к.т.н., доцент, декан машинобудівного факультету Луцького НТУ.

Шимчук Сергій Петрович, к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Луцького НТУ.

Ярошевич Микола Павлович, д.т.н., професор, професор кафедри галузевого машинобудування та лісового господарства Луцького НТУ.

Engineering and Forestry of Lutsk NTU.

Igor Tsizh, Ph.D., Associate Professor, Dean of the Engineering Faculty of Lutsk NTU.

Sergiy Shymchuk, Ph.D., Associate Professor, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work of Lutsk NTU.

Mykola Yaroshevych, Doctor of Science in Engineering, Professor, Department of Sector Engineering and Forestry of Lutsk NTU.

Ціна договірна

Колектив авторів

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ

ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ SCIENTIFIC JOURNAL

Випуск 2 (15), 2020 Volume 2 (15), 2020

Видається двічі на рік Publication Frequency: 2 issues per year

Комп'ютерний набір та верстка: В. Самостян

Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику і орфографію статей відповідальність несуть автори.

Адреса редакції:
вул. Львівська, 75, ауд. 148, Луцьк,
Волинська обл., Україна, 43018.
тел. (0332) 74-61-31.
e-mail: tehavtomash@gmail.com

Підписано до друку 26.06.2020 р.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 19,93. Обл. вид. арк. 19,71. Тираж 100 прим.

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.

Друк - Вежа-Друк. Зам. № 132.
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (0332) 29-90-65).
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.