

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САВОСТІН-КОСЯК ДАНИЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 629.341:629.017

ДИСЕРТАЦІЯ
ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ
ЗА ПОКАЗНИКОМ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Спеціальність: 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Д.О. Савостін-Косяк

Науковий керівник –
Сахно Володимир Прохорович
доктор технічних наук, професор

Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

Савостін-Косяк Д.О. Оцінка технічного стану міських автобусів за показником витрати палива. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний транспортний університет, Київ, 2019.

Актуальність роботи пов'язана з важливими соціальними і економічними завданнями міських пасажирських перевезень та обумовлена необхідністю пошуку універсальної методології оцінки технічного стану, яка базуватиметься на простих у використанні інструментах та не потребуватиме суттєвого дообладнання існуючого рухомого складу.

Зважаючи на широке поширення і активну розробку дистанційних систем моніторингу технічного стану транспортних засобів, враховуючи конструктивні особливості рухомого складу, що здійснює міські автобусні пасажирські перевезення, було обґрунтовано актуальність дослідження можливості використання показника витрати палива як критерію оцінки технічного стану міських автобусів.

За результатами теоретичних досліджень було встановлено особливості умов експлуатації міських автобусів, їх вплив на технічний стан та витрату палива, що дало змогу узагальнити ключові критерії, які були покладені в основу розробленої методології та експериментальних досліджень.

Встановлено, що найбільш розповсюдженим видом рухомого складу, який здійснює міські пасажирські перевезення в м. Києві, є автобуси класу I, зокрема, автобуси марки МАЗ 203, які, на цій підставі, було обрано в якості об'єкту дослідження.

Спираючись на результати аналізу тенденцій змін технічного стану, що відбуваються внаслідок використання транспортних засобів за призначенням та їх технічного обслуговування за регламентом, які досить детально описані в науковій літературі, було запропоновано методику виявлення несправностей

міських автобусів, яка базується на використанні контрольних карт Шухарта, з попереднім визначенням базової витрати палива, що є основним оціночним критерієм. Наведено методику побудови контрольних карт та сформовано критерії виявлення відхилень у технічному стані.

Запропоновано методику визначення базової витрати палива, яка дає змогу врахувати особливості конкретного маршруту, коливання температури навколишнього середовища впродовж року та зміни експлуатаційних параметрів рухомого складу, що відбуваються внаслідок використання його за призначенням з дотриманням регламенту технічних обслуговувань.

З метою встановлення взаємозв'язку витрати палива та технічного стану міських автобусів було проведено експериментальні дослідження на базі Автобусного парку №2 КП Київпастранс. Об'єктами досліджень були 41 автобус МАЗ 203.065 2011...2012 років випуску та 26 автобусів МАЗ 203.069 2017...2018 років випуску, які були розділені на 6 дослідних груп. Таке ранжування дало змогу, з достатньо високою точністю, виокремити характерні для різних періодів експлуатації технічні стани та несправності.

Оскільки витрата палива є комплексним оціночним показником, який залежить від багатьох факторів, було проведено дослідження впливу температури навколишнього середовища та періоду перебування автобусів в експлуатації на витрату палива. Дані дослідження показали, що залежність витрати палива від кожного з вищезазначених параметрів, з достатньо високою точністю, описується поліномом другого ступеню. В результаті було отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища k_t , та коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації k_T .

Встановлено найбільш характерні несправності, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів, що дало змогу обґрунтувати їх зв'язок з витратою палива та підтвердити дану гіпотезу шляхом імітації певних несправностей в процесі математичного моделювання. Відносна похибка отриманих розрахункових значень лежить в межах 4,28...7,79%.

Підтверджено доцільність застосування контрольних карт Шухарта для виявлення ряду несправностей транспортних засобів за показником витрати палива та розроблено рекомендації щодо впровадження і використання методики оцінки технічного стану, що базується на їх застосуванні, в умовах діючих підприємств автомобільного транспорту.

За результатами дисертаційної роботи встановлено наступне.

1. В результаті аналізу наукових джерел було встановлено, що показник витрати палива достатньо чутливий до змін умов експлуатації, має пряму кореляцію з рядом несправностей та конструктивних параметрів рухомого складу і тому може бути використаний в якості критерію для оцінки технічного стану міських автобусів категорії МЗ класу І.

2. Для визначення базової витрати палива автобусом удосконалено методику, яка враховує особливості режимів руху на заданому маршруті, зміни температури навколишнього середовища та погіршення технічного стану його складових частин з часом внаслідок нормального використання за призначенням.

3. Для оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива запропоновано методику, яка базується на використанні контрольних карт Шухарта та враховує особливості умов експлуатації міських автобусів за певним маршрутом.

4. Підтверджено залежність витрати палива міськими автобусами від кліматичних умов та отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища, яке забезпечує значення коефіцієнту детермінації на рівні 0,898...0,921.

5. Підтверджено залежність витрати палива міськими автобусами від терміну їх експлуатації та отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації, яке забезпечує значення коефіцієнту детермінації на рівні 0,895...0,958.

6. Уточнено, що зі збільшенням терміну експлуатації міських автобусів збільшується кількість відмов електрообладнання, системи охолодження, коліс,

гальмівної системи, підвіски, коробки передач та двигуна, в той час як відмови системи випуску відпрацьованих газів, системи мащення, системи живлення, кузова та рульового керування виникають рівномірно впродовж усього періоду експлуатації. Загальна кількість відмов на одиницю рухомого складу за дослідний період лежить в межах 0,12...3,81.

7. Встановлено найбільш характерні несправності, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів, до яких належать: несправності зовнішніх світлових приладів – 18,84%, зменшення тиску в шинах – 5,38%, негерметичність системи охолодження – 10,66%, негерметичність пневмосистеми гальм – 4,41%, несправності супортів і дисків – 4,41%, несправності дверей салону – 5,06%, несправності люка салону – 3,77%, негерметичність пневмосистеми підвіски – 4,41% від загальної кількості несправностей за дослідний період. Наявність цих несправностей призводить до збільшення витрати палива від 5% до 16%.

8. Проведено аналітичне дослідження взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів на математичній моделі в результаті якого встановлено, що розрахункові значення витрати палива в л/100 км відповідають фактичному її значенню для нових автобусів на певному маршруті з відносною похибкою на рівні 4,38%. Відносна похибка розрахункових значень витрати палива при імітації характерних несправностей лежить в межах 4,28...7,79%. Запропонована методика визначення базової витрати палива забезпечує похибку на рівні 4,84...7,82%.

9. Підтверджено доцільність використання контрольних карт Шухарта як інструменту для виявлення несправностей коліс, системи охолодження, пневмосистеми підвіски та гальм. Встановлено, що для виявлення несправностей електрообладнання, люфтів у рульовому керуванні, підтікань в системі мащення та несправностей системи випуску відпрацьованих газів використання контрольних карт Шухарта недоцільне.

10. Результати теоретичних та експериментальних досліджень прийняті до впровадження Державним підприємством «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (м. Київ), Автобусним парком №2 КП

«Київпастрас» (м. Київ) та в навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці фахівців спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

Наукова новизна одержаних результатів.

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання оцінки технічного стану міських автобусів категорії МЗ класу І за показником витрати палива.

Вперше встановлено взаємозв'язок типових несправностей міських автобусів, що виникають в процесі їх експлуатації, з витратою палива, враховуючи особливості маршруту, температуру навколишнього середовища та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

Удосконалено методику розрахунку витрати палива міськими автобусами шляхом урахування особливостей умов експлуатації на конкретному маршруті.

Отримало подальший розвиток застосування контрольних карт Шухарта для виявлення відхилень у технічному стані міських автобусів за показником витрати палива.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено рекомендації щодо виявлення відхилень у технічному стані міських автобусів за критерієм витрати палива, в основу якої покладено використання контрольних карт Шухарта та яка враховує особливості конкретного маршруту експлуатації, кліматичні умови та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

Ключові слова.

Міський автобус категорії МЗ класу І, витрата палива, оцінка технічного стану, умови експлуатації, контрольні карти Шухарта, температура навколишнього середовища, період експлуатації.

Список публікацій здобувача.

Публікації у наукових фахових виданнях України.

1. Сахно В. П. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів / В. П. Сахно, Д. О. Свостін-Косяк // Вісник Національного

транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37), С. 373-380.

2. Сахно В. П. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном / В. П. Сахно, Д. О. Свостін-Косяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 3 (39), С 141-150.

3. Сахно В. П. До обґрунтування взаємозв'язку витрати палива та періоду експлуатації міських автобусів з дизелем / В.П. Сахно, Д.О. Савостін-Косяк, В.О. Кудашева // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2019. – Вип. 1 (43), С. 178-186.

4. Савостін-Косяк Д. О. Оцінка технічного стану міських автобусів в умовах експлуатації / Д. О. Савостін-Косяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2019. – Вип. 3 (45), С. 146-153.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

5. Савостін-Косяк Д. Дослідження витрати палива міських автобусів з дизелем шляхом математичного моделювання / Д. Савостін-Косяк, В. Сахно // Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 9. – Rzeszów: Politehnika Rzeszowska, 2017. – С. 95–103.

6. Іванушко О. До обґрунтування взаємозв'язку між витратою палива та технічним станом транспортних засобів на прикладі міських автобусів з дизелем / О. Іванушко, Д. Савостін-Косяк // Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 14. – Rzeszów: Politehnika Rzeszowska, 2018. – С. 61–68.

Публікації апробаційного характеру.

7. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Дослідження впливу умов експлуатації на паливну економічність міських автобусів / Матеріали LXXIV

наукової конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2018. – с. 70.

8. Савостін-Косяк Д. О. Дослідження паливної економічності міських автобусів, використовуючи імітаційне математичне моделювання / Матеріали LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету – К.: НТУ, 2019. – с. 88.

ABSTRACT

D. Savostin-Kosiak. Evaluation of the city buses technical condition in terms of fuel consumption. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Dissertation for obtaining the candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.20 «Operation and repair of transport means». – National Transport University, Kyiv, 2019.

The relevance of the work is related to the important social and economic objectives of urban passenger transport and is due to the need of finding a universal methodology for assessing the technical condition, which will be based on easy-to-use tools and will not require significant additional equipment of existing rolling stock.

Based on the widespread and active development of vehicles' technical condition remote monitoring systems, taking into account the design features of the urban bus passenger transport, the relevance of the study of the possibility of using the fuel consumption indicator as a criterion for assessing the technical condition for city buses was justified.

According to the results of theoretical studies, it was established that the city buses' operating conditions, its influence on the technical condition and fuel consumption were established, which made it possible to summarize the key criteria that formed the basis of the developed methodology and experimental studies.

It is established that the most common type of rolling stock engaged in urban passenger transport in the Kiev is a large class of buses, in particular buses of the brand MAZ-203. Therefore, this model was chosen as the object of the study.

Based on the results of the analysis of the trends in the technical state due to the operation of the vehicles for its intended purpose and its maintenance in accordance with the regulations, which are described in detail in the scientific literature, the method for detecting malfunctions of city buses based on the use of the Shukhart control cards was proposed, with preliminary determination of the base fuel consumption which is

the main evaluation criterion. The method of control cards constructing is presented and the criteria for detecting deviations in the technical condition are formed.

The methods of basic fuel consumption determination were proposed, which allows to take into account particular route features, fluctuations in the temperature of the environment during the year and changes in the operational parameters of rolling stock due to its use according to its purpose and technical maintenance in accordance with the regulations.

In order to establish the relationship between fuel consumption and the technical condition of city buses, experimental studies were carried out on the basis of bus depot No. 2 of the Kyivpastrans CP. The objects of research were 41 buses MAZ 203.065 (2011...2012 release year) and 26 buses MAZ 203.069 (2017...2018 release year), which were divided into 6 research groups. Such a ranking allowed to distinguish characteristic technical conditions and faults for different operation periods with a sufficiently high accuracy.

Since fuel consumption is a complex estimator, which depends on many factors, the studies of effects of the ambient temperature and the period of operation on fuel consumption were carried out. These studies have shown that the dependence of fuel consumption on each of the above-mentioned parameters is described by a second degree polynomial with a fairly high accuracy. As a result, the equations for determining the correction coefficient depended on ambient temperature k_t and correction coefficient depended on operational period k_T for linear fuel consumption were formulated.

The most typical malfunctions of city buses which occur during the operation period have been established, which allows to justify its connection with fuel consumption and confirm this hypothesis by simulating certain malfunctions during the mathematical modeling process. The relative error of the calculated values is 4,28...7,79%.

The expediency of using Schuhart control charts to identify a number of vehicle malfunctions in terms of fuel consumption was confirmed, the recommendations for introducing and using a technical condition assessment methodology based on Schuhart control charts use for existing road transport enterprises were developed.

According to the results of the dissertation, the following was established.

1. The fuel consumption indicator is quite sensitive to changes in operating conditions, has a direct connection with a number of malfunctions and rolling stock constructive parameters, and therefore can be used as a criterion for assessing the technical condition of M3 category (class I) city buses.

2. The methodology for determining the basic fuel consumption of a bus has been improved, which takes into account the peculiarities of driving conditions on a given route, changes in ambient temperature and deterioration of its performance over time as a result of normal operation as intended.

3. The methods for assessing the technical condition of city buses in terms of fuel consumption, based on the use of Shewhart control cards were proposed. It takes into account the characteristics of a particular route, changes in ambient temperature and the changes in the operational parameters of city buses due to its use according to its purpose.

4. The dependence of city buses' fuel consumption on climatic conditions has been confirmed and the equation for determining the correction coefficient depended on ambient temperature for linear fuel consumption, which provides the determination coefficient at the level of 0,898...0,921.

5. The dependence of city buses' fuel consumption on its operation period has been confirmed and the equation for determining the correction coefficient depended on operational period for linear fuel consumption, which provides the value of the coefficient of determination at the level of 0,895...0,958.

6. It has been refined that due to the increasing of city buses' operational period, a number of electrical equipment, cooling system, wheels, braking system, suspension,

gearbox and internal combustion engine malfunctions increases, while the exhaust gas system, lubrication system, fuel supply system, body and steering control malfunctions appears uniformly throughout the entire operation period. The total number of malfunctions per unit of rolling stock during the research period lies within the range of 0,12...3,81.

7. The most typical malfunctions occurring during the city buses' operation period have been established. They include: external light devices malfunctions – 18,84%, decrease in tire pressure – 5,38%, leakage of the cooling system – 10,66%, leakage of the pneumatic brake system – 4,41%, calipers and discs malfunctions – 4,41%, interior doors malfunctions – 5,06%, the passenger hatch malfunctions – 3,77%, leakage of the suspension pneumatic system – 4,41% of the total malfunctions' number, identified during the research period. Taking into account this malfunctions leads to an increase in fuel consumption from 5% to 16%.

8. An analytical study of the relationship between the technical condition and fuel consumption of city buses on the mathematical model was carried out, as a result of which it was established that the calculated values of fuel consumption in l / 100 km correspond to its actual value for new buses on a certain route with a relative error of 4,38%, the relative error of the calculated values of fuel consumption during simulation of typical malfunctions lies within 4,28...7,79%, the proposed method for determining the base fuel consumption provides an error of 4,84...7,82%.

8. Based on the experimental data the relationship between the characteristic malfunctions and the fuel consumption of city buses has been determined and substantiated. The expediency of using Shuhart control charts as a tool for detecting wheel malfunctions, cooling system malfunctions, malfunctions of suspension pneumatic system and brakes, timing belt breaks was confirmed. It has been established that the use of Shewhart control charts is impractical to identify malfunctions in electrical equipment, backlashes in the steering, leaks in the lubrication system and backlashes in the steering in the exhaust gas system.

9. The results of theoretical and experimental studies are accepted for implementation by the State Enterprise "State Motor Transport Research and Design Institute" (Kyiv), bus depot No. 2 of the KP "Kyivpastrans" (Kyiv) and in the educational process of the National Transport University (Kyiv) for students studying at 274 "Automobile Transport" training program.

Scientific novelty of the results.

In the dissertation, the scientific and practical problem of assessing the technical condition of class I M3 city buses in terms of fuel consumption was solved.

For the first time, the interrelation of typical malfunctions of city buses arising in the course of their operation with fuel consumption was established, taking into account the particularities of operating conditions on a specific route.

The method of calculating fuel consumption of city buses by taking into account the specific features of the route, climatic conditions and changes in the technical condition due to normal operation for the intended purpose has been improved.

The use of Shewhart control charts for detecting the deviations in the technical condition of city buses in terms of fuel consumption was further developed.

The practical value of the obtained results.

The recommendations for identifying the deviations in the technical condition of city buses according to the criterion of fuel consumption, which is based on the use of Shewhart control charts and taking into account the specific features of a particular route of operation, climatic conditions and changes in the technical condition due to normal operation for its intended purpose has been developed.

Key words.

M3 category (class I) city bus, fuel consumption, technical condition assessment, operating conditions, Shewhart control charts, ambient temperature, operating period.

List of the applicant publications.

Publications in scientific journals of Ukraine.

1. Sakhno V. P. Ways of vehicle technical condition monitoring / V. P. Sakhno, D. O. Svostin-Kosiak // Visnyk of National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. – Kyiv.: NTU, 2017. – Issue 1 (37), pp. 373-380.

2. Sakhno V. P. Fuel consumption rationing for conventional city diesel buses / V. P. Sakhno, D. O. Svostin-Kosyak // Visnyk of National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. – Kyiv.: NTU, 2017. – Issue 3 (39), pp. 141-150.

3. Sakhno V. P. Justification of the correlation between the fuel consumption and the operational period for diesel city buses / V. P. Sakhno, D. O. Svostin-Kosyak, V.O. Kudasheva // Visnyk of National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. – Kyiv.: NTU, 2019. – Issue 1 (43), pp. 178-186.

4. Svostin-Kosyak D. O. Assessment of city buses' technical status in the operating conditions / D. O. Svostin-Kosyak // Visnyk of National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. – Kyiv.: NTU, 2019. – Issue 3 (45), pp. 146-153.

Publications in scientific journals of foreign states.

5. Svostin-Kosyak D. The study of diesel city buses' fuel consumption by mathematical modeling / D. Svostin-Kosyak, V. Sakhno // Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 9. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2017. – C. 95–103.

6. Ivanushko O. Justification of the relationship between fuel consumption and the technical condition of vehicles on the diesel city buses example / Ivanushko O., D. Svostin-Kosyak // Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 14. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2018. – C. 61–68.

Publications of approbation character.

7. Sakhno V. P., Savostin-Kosiak D. O. Investigation of the operating conditions influence on the city buses' fuel efficiency / Materials of LXXIV scientific conference of faculty members, post-graduate students, students and employees of separate structural units of the university – K .: NTU, 2018. – p. 70.

8. Savostin-Kosiak D. O. Investigation of city buses' fuel efficiency using simulation mathematical modeling / Materials of LXXV scientific conference of faculty members, post-graduate students, students and employees of separate structural units of the university – K .: NTU, 2019. – p. 88.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ І ВПЛИВУ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ НА ЇХ ТЕХНІЧНИЙ СТАН ТА ВИТРАТУ ПАЛИВА	24
1.1 Особливості умов експлуатації та режимів руху міських автобусів.	24
1.2 Взаємозв'язок умов експлуатації з технічним станом міських автобусів.	25
1.3 Вплив технічного стану транспортних засобів на витрату палива	31
1.4 Аналіз підходів до нормування витрати палива в процесі експлуатації ...	36
1.5 Сучасні форми організації моніторингу технічного стану та витрати палива транспортних засобів	41
1.6 Аналіз методів контролю витрати палива та паливної економічності	46
Висновки за розділом 1	50
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ	52
2.1 Вибір та обґрунтування рухомого складу	52
2.2 Методика оцінки технічного стану міських автобусів.	57
2.3 Методика визначення базової витрати палива міських автобусів.....	63
2.4 Моделювання руху автобуса на маршруті	65
Висновки за розділом 2	80
РОЗДІЛ 3 МЕТА, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	81
3.1 Мета і задачі експериментального дослідження	81
3.2 Програма та об'єкт експериментального дослідження.	81
3.3 Методика експериментальних досліджень	87
3.4 Результати експериментальних досліджень.	93
Висновки за розділом 3	112

РОЗДІЛ 4	АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ТА ВИТРАТОЮ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ	114
4.1	Формування вихідних даних для розрахунку на математичній моделі	114
4.2	Результати розрахунків на математичній моделі.....	118
4.3	Визначення базової лінійної витрати палива та її подальше коригування	126
4.4	Оцінка технічного стану за допомогою контрольних карт Шухарта	128
4.5	Рекомендації щодо впровадження методики оцінки технічного стану за показником витрати палива	134
4.6	Потенційний економічний ефект від впровадження методики оцінки технічного стану за показником витрати палива.....	138
	Висновки за розділом 4	139
	ВИСНОВКИ	140
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143
	Додаток А	156
	Додаток Б.....	162
	Додаток В	166
	Додаток Д	171
	Додаток Е.....	172

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЄТС	Єдина транспортна система
РС	Рухомий склад
GPS	Global Positioning System
НТУ	Національний транспортний університет
ТЗ	Транспортний засіб
ЦЛ	Центральна лінія
ВКМ	Верхня контрольна межа
НКМ	Нижня контрольна межа
АТЗ	Автомобільний транспортний засіб
КП	Коробка передач
ДВЗ	Двигун внутрішнього згорання
ПММ	Паливо-мастильні матеріали
АТП	Автотранспортне підприємство
АП	Автобусний парк
РОД	Ремонтно-обслуговуючі дії

ВСТУП

Актуальність теми. Пасажирський транспорт – це частина єдиної транспортної системи (ЄТС), економічна і соціальна роль якої полягає в наданні послуг з перевезення пасажирів, їх ручної поклажі та багажу по різних видах сполучення.

Пасажирський автомобільний транспорт є одним з основних та найбільш поширених видів пасажирського транспорту країни, який широко обслуговує транспортні потреби населення в міських, приміських та міжміських перевезеннях, у переважній більшості, автобусами.

Забезпечення роботоздатності рухомого складу (РС) автобусних парків (АП) та підтримання його в належному технічному стані при раціональних витратах всіх видів ресурсів, нормативних рівнях дорожньої та екологічної безпеки, дотримуючись визначених законодавством умов праці персоналу, є одним з основних завдань технічної експлуатації, як галузі практичної діяльності.

Останнім часом спостерігається тенденція до стрімкого поширення дистанційних систем контролю технічного стану транспортних засобів. Майже всі провідні виробники автомобілів мають власне програмне забезпечення, яке дозволяє, за допомогою даних бортової системи самодіагностування та GPS передавачів, визначати технічний стан транспортного засобу та корегувати режими його технічного обслуговування. Проте такі системи складні, мають вузьку спеціалізацію і розроблялися для окремих марок транспортних засобів або для конкретних виробничих завдань (будівництво, сільське господарство, гірничо-промисловість тощо). Що ж стосується моніторингових систем, які доступні для встановлення на міські автобуси на території України, більшість з них має досить обмежений функціонал та пропонує можливість обліку витрати палива шляхом встановлення додаткових датчиків у систему живлення та контролю швидкісних режимів і маршруту руху через GPS передавач, в той час як оцінка технічного стану залишається поза увагою.

Частковим вирішенням представлених проблем може стати пошук методики оцінки технічного стану міських автобусів за узагальненим критерієм, який достатньо чутливий до змін технічного стану. Одним із таких критеріїв може бути витрата палива в літрах на 100 кілометрів.

Отже, актуальними є дослідження можливості використання показника витрати палива як критерію оцінки технічного стану міських автобусів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Представлена дисертаційна робота є завершеним дослідженням, що виконане автором згідно з планами науково-дослідних робіт НТУ в рамках наукової теми кафедри «Підвищення ефективності роботи підприємств автомобільного транспорту шляхом удосконалення виробничих процесів, систем технічного обслуговування та покращення експлуатаційних характеристик дорожніх транспортних засобів» (№ держ. реєстрації 0114U000120).

Мета дослідження – оцінка технічного стану міських автобусів категорії М3 класу І за показником витрати палива.

Завдання дослідження Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі завдання:

1. Аналіз можливості оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива.
2. Розробка методики визначення витрати палива, як ключового критерію для оцінки змін у технічному стані міських автобусів.
3. Розробка методики та критеріїв прийняття рішення про наявність відхилення у технічному стані міських автобусів за показником витрати палива.
4. Проведення оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива у визначених умовах експлуатації.
5. Встановлення впливу характерних несправностей міських автобусів на витрату палива за запропонованою методикою.

6. Розробка рекомендацій щодо впровадження та використання методики оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива в умовах діючих підприємств.

Об'єкт дослідження: процес зміни технічного стану міських автобусів під час експлуатації.

Предмет дослідження: взаємозв'язок між технічним станом та витратою палива міських автобусів категорії М3 класу І.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети були використані такі теоретичні методи дослідження як аналіз, індукція, апроксимація експериментальних даних та формалізація залежностей витрати палива від температури навколишнього середовища та періоду експлуатації. Серед емпіричних методів дослідження було використано експеримент, прямі вимірювання, спостереження та математичне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання оцінки технічного стану міських автобусів категорії М3 класу І за показником витрати палива.

Вперше встановлено взаємозв'язок типових несправностей міських автобусів, що виникають в процесі їх експлуатації, з витратою палива, враховуючи особливості маршруту, температуру навколишнього середовища та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

Удосконалено методику розрахунку витрати палива міськими автобусами шляхом урахування особливостей умов експлуатації на конкретному маршруті.

Отримало подальший розвиток застосування контрольних карт Шухарта для виявлення відхилень у технічному стані міських автобусів за показником витрати палива.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено рекомендації щодо виявлення відхилень у технічному стані міських автобусів за критерієм витрати палива, в основу якої покладено використання контрольних карт Шухарта та яка враховує особливості конкретного маршруту експлуатації, кліматичні умови та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

Результати досліджень прийняті до впровадження *Державним підприємством «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут»* (м. Київ), *Автобусним парком №2 КП «Київпастранс»* (м. Київ) та в навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці фахівців спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, подані до захисту, отримано здобувачем самостійно та опубліковано у 8 наукових працях. Роботи [1, 2] виконані одноосібно. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачу належить: аналіз засобів моніторингу технічного стану транспортних засобів та розробка класифікаційної схеми способів моніторингу технічного стану транспортних засобів за періодичністю контролю параметрів [3]; порівняльний аналіз методів нормування витрати палива та експериментальне визначення параметрів маршруту [4]; розрахунки за математичною моделлю Physical Emission Rate Estimator (PERE) [5]; збір експериментальних даних про витрату палива автобусами МАЗ 203.065 і МАЗ 203.069, аналіз графічних залежностей витрати палива від терміну експлуатації автобуса та формалізація рівняння для коефіцієнту коригування витрати палива за терміном експлуатації [6]; експериментальне дослідження витрати палива міськими автобусами різних років експлуатації [7]; визначення характеру впливу температури навколишнього середовища на витрату палива міськими автобусами [8].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації були представлені та отримали позитивну оцінку на:

- міжнародній науково-технічній конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин» (с. Волосянка, Львівська обл., Україна, 2017 р.);
- міжнародній науковій конференції «Systemy i srodki transportu samochodowego. SAKON 17» (м. Жешув, Польща, 2017 р.);
- LXXIV науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, Україна, 2018 р.);

- міжнародній науковій конференції «Systemy i srodki transportu samochodowego. SAKON 18» (м. Жешув, Польща, 2018 р.);
- 17-ій міжнародній науково-технічній конференції «Наука – образованию, производству, экономике» (м. Мінськ, Білорусь, 2019 р.);
- LXXV науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, Україна, 2019 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 8 наукових працях, у тому числі: 4 – у наукових фахових виданнях України, 2 – в закордонних виданнях, 2 – у матеріалах вітчизняних науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить такі розділи: вступ, розділ 1, розділ 2, розділ 3, розділ 4, висновки, список використаних джерел (119 найменувань), додатки. Дисертаційна робота викладена на 174 сторінках машинописного тексту, проілюстрована 43 рисунками та 30 таблицями. Основна текстова частина становить 115 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ І ВПЛИВУ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ НА ЇХ ТЕХНІЧНИЙ СТАН ТА ВИТРАТУ ПАЛИВА

1.1 Особливості умов експлуатації та режимів руху міських автобусів

Міські автобусні перевезення мають істотну специфіку, обумовлену рядом об'єктивних і суб'єктивних факторів, які умовно можна поділити на зовнішні, внутрішні та економічні.

1. Зовнішні організаційні фактори, пов'язані з процесом перевезень:

- компактна територія, що обслуговується;
- жорстко сплановані за часом та протяжністю маршрути з частими зупинками, гальмуваннями, поворотами та прискореннями, інтенсивним рухом автотранспорту і стійким середнім пасажиропотоком;
- інтенсивне використання (великі середньодобові пробіги, наявність переміщення автобусів між окремими маршрутами протягом зміни, наявність годин «пік», коли автобуси працюють з перевантаженням в 1,5...2,0 рази, часте перемикання передач, підвищені оберти двигуна);
- недостатня організація та регулювання руху в загальному потоці зумовлена відсутністю пріоритетів для міського пасажирського транспорту, недосконалість облаштування зупиночних пунктів, слабка освітленість і низька пропускна здатність доріг, неоптимальне світлофорне регулювання, незадовільний стан вулиць та доріг (пошкодження дорожнього покриття, відсутність розмітки та дорожніх знаків);
- експлуатація в умовах забруднення навколишнього середовища та загазованості, характерних для більшості великих населених пунктів.

2. Внутрішні організаційні і технічні фактори, пов'язані з недостатнім забезпеченням виробничо-технічної бази, персоналом, устаткуванням, організацією, управлінням, технологією технічного обслуговування та ремонту автобусів та іншими чинниками, які в значній мірі залежать від управлінських рішень з боку підприємства, а отже, є резервом вдосконалення його роботи.

3. Економічні фактори, що пов'язані з постійним збільшенням необхідних дотацій, викликаних:

- підвищенням амортизаційних відрахувань у зв'язку з ростом цін на рухомий склад;
- збільшенням витрат на експлуатацію автобусів через подорожчання палива, автомобільних шин і експлуатаційних матеріалів;
- підвищенням витрат на технічне обслуговування і ремонт рухомого складу в зв'язку з ростом цін на запасні частини та матеріали;
- зростанням заробітної плати працівників автопідприємства;
- збільшенням суми накладних витрат підприємства;
- широким поширенням пільгової категорії пасажирів і довгострокових проїзних документів;
- наявністю конкуренції з боку інших видів та форм власності наземного міського пасажирського транспорту;
- невідповідністю тарифу на міські перевезення фактичним ринковим цінам на аналогічні послуги та його економічною необґрунтованістю [10].

1.2 Взаємозв'язок умов експлуатації з технічним станом міських автобусів

Умови експлуатації, за яких використовуються міські автобуси, значною мірою впливають на режим роботи агрегатів і деталей, прискорюючи або сповільнюючи зміни параметрів їх технічного стану. При цьому, за різних умов експлуатації показники надійності міських автобусів при одному і тому самому напруженні будупь відрізнятись [11].

Аналіз вітчизняного та іноземного досвіду дозволяє виділити такі підкатегорії умов експлуатації: *дорожні умови, транспортні умови, атмосферно-кліматичні умови, умови зберігання, культура виробництва, культура експлуатації*.

Дорожні умови характеризуються технічною категорією дороги (три [12] або п'ять [13]), типом та станом дорожнього покриття, планом маршруту (радіуси скруглень поворотів, перетин доріг з іншими шляхами тощо), повздовжнім профілем дороги (підйоми та спуски), шириною проїзної частини [14, 15].

На рис. 1.1 представлена залежність витрат на технічне обслуговування і ремонт, паливо, шини та амортизаційні відрахування від швидкості руху і типу дорожнього покриття [13].

Значний вплив на швидкість руху, витрату палива, зношування, термін експлуатації та продуктивність транспортного засобу (ТЗ) має ступінь рівності дорожнього покриття. Нерівності на дорогах збільшують зношування деталей внаслідок ударних навантажень в місцях сполучень елементів конструкції. Запиленість та забрудненість маршруту призводить до потрапляння пилу та піску до пластичних мастил, моторної та трансмісійної оливи, що призводить до підвищеного абразивного зношування деталей тертя. План траси та поздовжній профіль дороги впливають на швидкість спрацювання гальмівних механізмів та шин [16, 17].

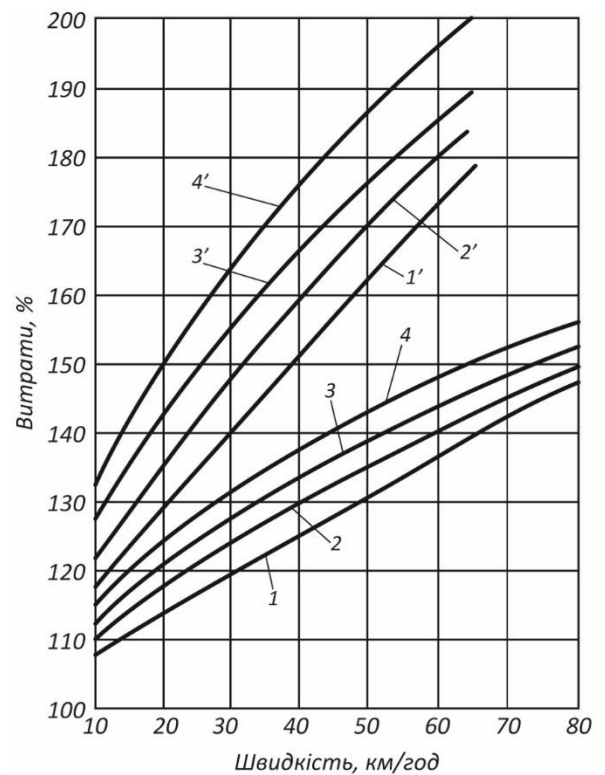


Рисунок 1.1 – Зміна витрат на технічне обслуговування, ремонт, паливо, шини та амортизаційні відрахування залежно від швидкості руху та типу дорожнього покриття (100% – дорога вищої категорії)

1 та 1' – автомобілі для доставки дрібних вантажів; 2 та 2' – фургони та пікапи; 3 та 3' – 6-ти вісні автопоїзди; 4 та 4' – 5-ти вісні автопоїзди (тягач з напівприцепом)
1, 2, 3, 4 – дорога з гравійним або кам'яним покриттям; 1', 2', 3', 4' – ґрунтова профільована дорога [12]

Транспортні умови можна поділити на умови руху та умови перевезень.

Умови руху характеризуються зовнішніми факторами, які впливають на режими роботи автобуса, його надійність та собівартість перевезень. До факторів, які визначають умови руху, відносяться інтенсивність руху та щільність транспортного потоку [14], від яких напряду залежить середня технічна швидкість ТЗ.

Транспортні умови, в першу чергу, впливають на режими роботи агрегатів, які характеризуються потужністю, що передається, кількістю робочих циклів на один кілометр шляху та ін. Як видно з табл. 1.1 [11], при більш інтенсивному використанні, збільшується кількість відмов і, відповідно, зменшується надійність транспортного засобу.

Таблиця 1.1 – Вплив транспортних умов на надійність та продуктивність автомобілів, % [11]

Параметр	Коефіцієнт використання			
	пробігу β		вантажопід'ємності γ	
	0,7	0,9	0,8	1,0
Продуктивність	120	122	114	132
Кількість відмов	109	119	104	112
Кількість замін деталей та агрегатів	105	114	102	105
<i>Примітка:</i> Для $\beta=0,5$ та $\gamma=0,7$ значення параметрів прийняті за 100%				

До **атмосферно-кліматичних та сезонних умов** відносять температуру оточуючого середовища, атмосферний тиск, вологість повітря, швидкість та напрям вітру, рівень сонячної радіації, хмарність, атмосферні опади та інші атмосферні явища (ожеледь, туман, гроза тощо) [18, 14]. Основними з цих параметрів є температура, вологість та щільність повітря.

Температура оточуючого середовища впливає на теплові режими роботи ТЗ та його агрегатів і, відповідно, на їх надійність та технічний стан. Інтенсивність зношування деталей і, як наслідок, кількість їх відмов, приведена до пробігу (рис. 1.2), змінюється за криволінійною залежністю, яка має мінімум, що відповідає оптимальній температурі навколишнього середовища [11].

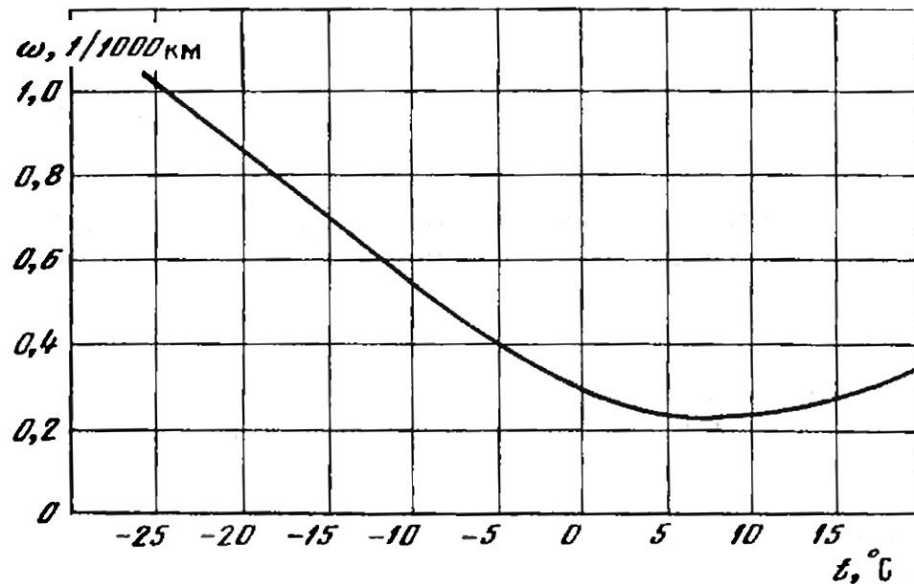


Рисунок 1.2 – Вплив температури навколишнього середовища на параметр потоку відмов [11].

При низьких температурах значно погіршуються пускові властивості, що призводить до підвищеного зносу двигуна та інших агрегатів. При високих температурах існує ризик його перегріву, а при низьких навпаки – переохолодження. І в першому, і в другому випадку знижується потужність, зростає витрата палива та зношуваність. Підвищення сонячної радіації та високі температури оточуючого середовища ведуть до швидкої втомлюваності водія та викликають швидке старіння гумовотехнічних виробів. Рясні опади підвищують опір руху і, як наслідок, витрату палива та зношування агрегатів. У вітряну погоду збільшуються витрати потужності на подолання опору повітря.

Значно впливають на об'єм технічного обслуговування та ремонту способи та умови зберігання АТЗ. Розрізняють короткострокове та тривале (консервація) зберігання. Найбільш типовим для автобусного парку є короткострокове зберігання у міжзмінний період [19].

Зберігання міських автобусів у міжзмінний період можливе на відкритих або закритих стоянках. Слід зазначити, що при відкритому зберіганні ТЗ зазнає значно більшого негативного впливу на його технічний стан. Так, внаслідок атмосферних опадів, коливань температури повітря та підвищеної вологості інтенсифікуються корозійні процеси, що призводить до підвищення швидкості зношування та зменшення терміну служби деталей, вузлів і агрегатів [20].

При відкритому зберіганні рухомого складу за низьких температур значно ускладнюється пуск двигуна внаслідок погіршення в'язкісних властивостей оливи та умов сумішоутворення, зростає ймовірність відмов у зв'язку зі зниженням протидії деталей ударним навантаженням і підвищенням їх крихкості, виникненням температурних деформацій, втратою еластичності гумотехнічних виробів [21]. Так, зношування двигуна при зберіганні на відкритих стоянках та роботі за умов низьких температур (-10^0C) у 2...2,5 рази вище, ніж при роботі в літній період [22], а за даними [23, 24, 25], витрати на ТО і ремонт для вантажних автомобілів збільшуються при відкритому зберіганні в середньому на 10-15% у порівнянні з гаражним.

Під **культурою виробництва** розуміють загальний рівень досконалості методів організації ТО і ремонту рухомого складу, розвиток матеріально-технічної бази підприємства, ступінь забезпеченості запасними частинами і експлуатаційними матеріалами та їх якість, кваліфікацію та моральні якості ремонтно-обслуговуючого персоналу [14]. Так, використання мастильних матеріалів низької якості призводить до їх передчасного старіння (рис 1.3) [26] і, відповідно, зменшення інтервалів між технічними обслуговуваннями та збільшення сумарних річних простоїв в ТО.

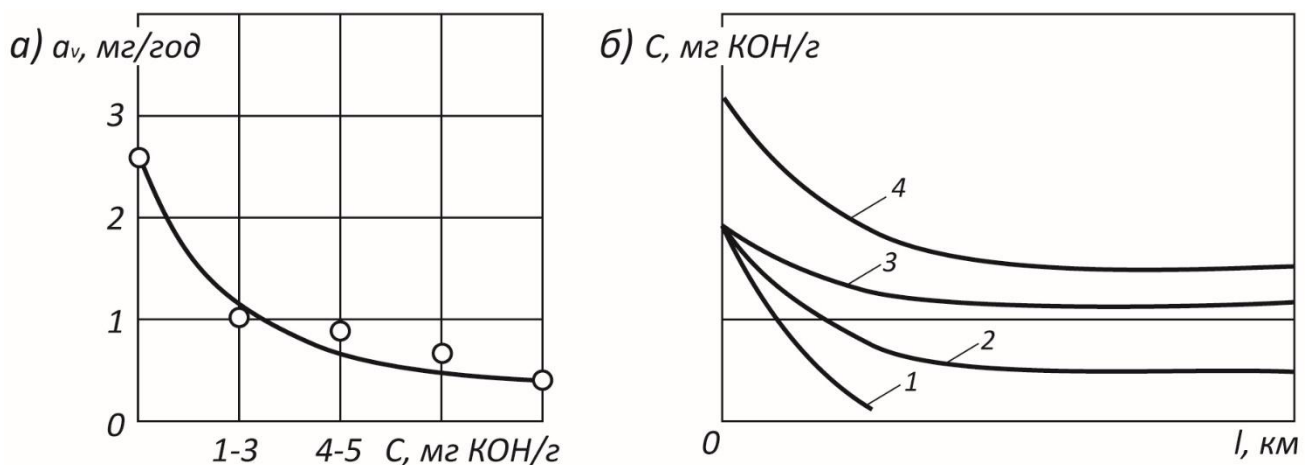


Рисунок 1.3. – Залежність швидкості зношування a_v деталей від лужності c в моторній оливі (а) і лужності c від пробігу l в процесі експлуатації (б) під час роботи: 1 – без доливу оливи; 2 – при доливі оливи за об'ємом рівному угару; 3 – те ж, коли угар великий; 4 – при доливі оливи за об'ємом рівному угару, але при великій початковій лужності [26]

Культура експлуатації включає в себе загальний рівень досконалості методів організації перевезень, кваліфікацію та моральні якості водіїв та ін. Саме від водіїв значною мірою залежить ефективність роботи рухомого складу, своєчасне виявлення симптомів несправностей, вибір найбільш раціональних режимів руху автобуса в конкретних дорожніх умовах, що веде до зниження виробничого навантаження на ремонтні підрозділи. Висококваліфіковані водії зменшують негативний вплив умов експлуатації на інтенсивність зношування автомобілів (табл. 1.2.) і спричиняють меншу кількість дорожньо-транспортних пригод [14].

Зважаючи на все вищезазначене, можна констатувати, що комбінації та поєднання різних параметрів кожної з підкатегорій умов експлуатації в результаті дає безкінечно велику кількість їх варіантів.

Таблиця 1.2 – Вплив кваліфікації водіїв на режими роботи та надійність автобусів середнього класу [11]

Кваліфікація водія	Середня технічна швидкість руху, км/год	Середня частота обертання колінчастого валу, об/хв	Кількість гальмувань на 1 км	Сумарний шлях гальмування, % від загального шляху	Кількість відмов, %	Ресурс агрегатів, %
Висока	35,3	1780	1,7	2,1	100	100
Середня	33,6	2220	2,6	3,8	140	44-70

Рядом нормативних документів разом з роботами вітчизняних вчених [27, 15, 28, 29, 30] були здійснені спроби згрупувати та класифікувати все розмаїття параметрів умов експлуатації, проте дані рекомендації, хоч і є досить детальними, проте розроблені відносно давно і спираються на конструктивні особливості транспортних засобів, виробничі потужності підприємств та рівень науково-технічного прогресу тих часів. Сучасні жорсткі вимоги ринкової економіки потребують розробки підходів до організації системи технічного обслуговування і ремонту та контролю технічного стану рухомого складу, які

будуть базуватись не лише на рекомендаціях заводу-виробника, а й враховуватимуть конкретні умови, в яких працює транспортний засіб.

1.3 Вплив технічного стану транспортних засобів на витрату палива

Збільшення напруження автомобіля неминуче пов'язане з закономірною зміною основних параметрів двигуна і технічного стану його вузлів і систем, що впливають на якість дозування палива, на займання горючої суміші і витрату палива. Залежно від характеру несправності і функціональних особливостей цих систем збільшення витрати палива може досягати 30% [25].

Одна з основних причин перевитрати палива – недостатній рівень технічного стану і обслуговування ТЗ, особливо систем живлення та запалювання.

Порушення правильної роботи системи живлення пов'язане, перш за все, зі зміною технічного стану елементів очищення палива і повітря, паливних насосів, паливопроводів та паливного бака.

Характерними несправностями елементів очищення палива і повітря є збільшення гідравлічного опору та зниження пропускної здатності, а також погіршення якості фільтрування.

Також, для дизелів характерною є нерівномірність подачі палива. Нерівномірність у 10-12% та порушення кута випередження впорскування на 1° погіршує паливну економічність на 1% [31].

Граничний знос циліндро-поршневої групи (ЦПГ) знижує величину компресії на 20-25% і у восьмицилиндрового двигуна викликає збільшення витрати на 10-12%. При зносі ЦПГ значно зростає витрата оливи, яка може досягати більше 5% від витрати палива [25].

Експлуатаційні дефекти газорозподільчого механізму (ГРМ) пов'язані переважно з нещільністю прилягання клапанів до сідел і порушенням регулювальних зазорів в клапанному механізмі. Кількість дефектів ГРМ,

пов'язаних зі збільшенням зазорів, становить 18-27%, а зі зменшенням зазорів - 18-22% [25].

Утворення відкладень на внутрішніх поверхнях системи рідинного охолодження помітно знижує її ефективність. Шар накипу товщиною 1 мм викликає збільшення витрати палива на 3,5% і зниження потужності двигуна на 5% [25].

Ефективна робота термостата забезпечує автоматичне регулювання теплового режиму роботи двигуна. Як термодатчик застосовується сильфон або твердий наповнювач. Сильфоновий термостат розрахований на тиск 0,03 МПа. Збільшення тиску в системі охолодження до 0,1 МПа супроводжується зростанням температури початку його відкриття на 20-25 °С, що супроводжується перегрівом двигуна і збільшенням витрати палива на 5-7% [25].

До повітряних фільтрів пред'являються вимоги ефективного очищення повітря при мінімальному опорі у впускному тракті. Зниження ефективності очищення призводить до прискореного зносу ЦПГ і, як наслідок, збільшення витрати палива.

Порушення регулювань, пов'язаних з деформацією колісних дисків, відсутністю пластичного мастила, а також з неправильним регулюванням зазорів, викликає збільшення витрати палива до 1,5-2% [25].

Характерні експлуатаційні дефекти коробки передач пов'язані з неправильним зачепленням шестерень, труднощами включення і виключення передач, самовільним виключенням передач, а також з неправильним застосуванням мастильних матеріалів. Усунення перерахованих дефектів забезпечує зниження витрати палива на 2-4% [25].

Несправності заднього моста пов'язані з надмірним затягуванням і перекосом підшипників головної передачі, заїданням шестерень головної передачі і диференціала, а також з неправильним вибором трансмісійних олив та супроводжується збільшенням витрати палива на 2-4%. Найбільш поширені дефекти заднього моста – неправильне регулювання гальмівних колодок і

надмірне зтягування маточин коліс. Витрата палива в цьому випадку збільшується на 16-18% [25].

У процесі тривалої експлуатації геометричні параметри передніх мостів схильні до закономірних змін. Згідно зі статистичними даними НІІАТ, величина розвалу керованих коліс, що відповідає ТУ заводу-виробника, після напрацювання 25-50 тис. км складає всього 20-25% від усієї вибірки. На частку порушення величини сходження передніх коліс доводиться 45-60% всіх несправностей переднього моста, а механізм впливу кутів встановлення керованих коліс на витрату палива пов'язаний зі зміною опору кочення коліс автомобіля. Неправильне сходження передніх коліс на 1 мм проти оптимальної величини супроводжується збільшенням витрати палива на 3-4%. Неправильне регулювання та наявність люфтів, а в деяких випадках і заїдання рульового механізму погіршують керування та супроводжуються підвищенням витрати палива на 1,5-2,5% [25].

Непаралельність задніх мостів викликає надмірне тертя шин з поверхнею дороги, підвищений опір коченню коліс і створює небажані бічні сили.

Окрім того, мости встановлені з перекосом призводять до [113]:

- а) скорочення терміну служби шин;
- б) ускладнення керуванням транспортних засобом;
- в) зниження стійкості і, як наслідок, зниження безпеки руху;
- г) збільшення витрати палива.

«Шістдесят відсотків випадків зносу шин керованої осі викликано неправильними кутами встановлення коліс осі» [114].

На рис. 1.4 показано вплив різних факторів на витрату палива. Важливим для нашого дослідження в даній діаграмі є те, що на опір коченню коліс припадає найбільший сегмент витрати палива – 42,2% [113].

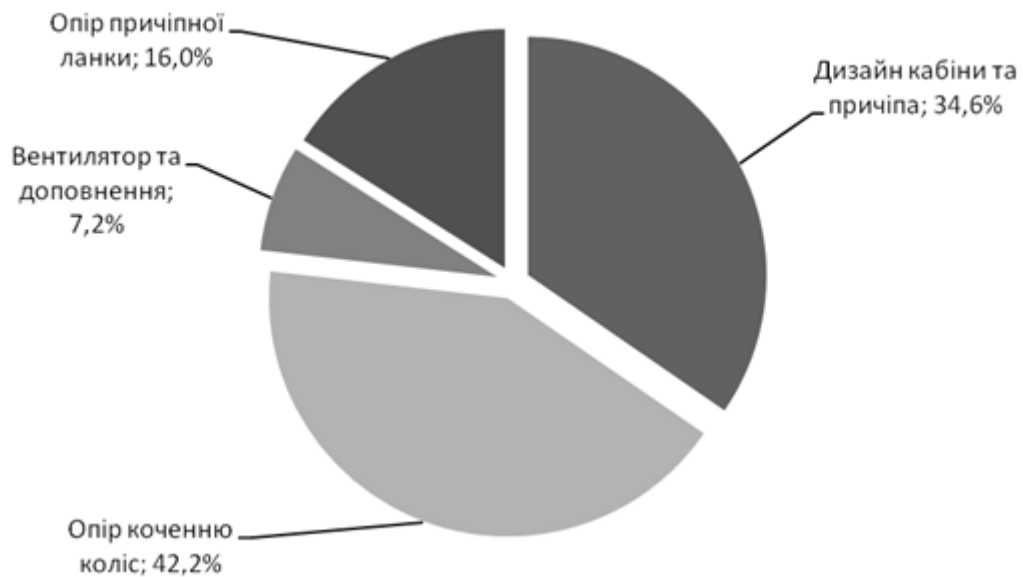


Рисунок 1.4 – Вплив на паливну економічність різних факторів [113]

Здвоєні мости повинні бути паралельні один одному, щоб звести до мінімуму тертя між шинами і поверхнею дороги. На компенсацію відхилення мостів, що мають перекид, водій змушений повертати передні керовані колеса, щоб зберегти прямолінійний рух автомобіля. Це викликає постійне тертя між кожною з шин автомобіля і поверхнею дороги. В результаті зростає витрата палива, втома водія, виникає передчасний знос шин і зростає їх температура, погіршується маневреність та стійкість руху. Зростання температури шини може бути причиною швидкого розпаду протектора, що є дуже небезпечним [113].

Дисбаланс коліс, відмінний від рекомендованої величини, тиск повітря в шинах, нерівномірний знос бігової доріжки протектора помітно впливають на витрату палива. Зменшення тиску в шинах на 10-15% веде до збільшення витрати палива на 3,5-4%. У шин, що експлуатуються зі зниженим або підвищеним тиском повітря, відбувається часткове руйнування каркаса і відшаровування ниток корду. Систематична, тривала робота шин зі зниженим тиском, зменшує в цілому надійність і термін їх служби, знижує безпеку дорожнього руху і підвищує витрату палива через збільшення опору коченню колеса автомобіля [25].

Суттєво впливає на паливну економічність конструкція шин. За даними НАМІ, зменшення на 10% опору коченню шин знижує витрату пального на

2,5...3,5%, що підтверджується результатами досліджень фірми Bridgestone для шин марки В 381 Есоріа розміром 155/65 R14Т. Порівняно зі стандартною шиною зазначена шина мала на 15% менший коефіцієнт опору коченню, що призвело до економії палива близько 3% [115].

Експлуатаційні матеріали (палива, оливи, пластичні мастила і технічні рідини) багато в чому визначають технічний стан автомобіля в цілому і надійність його вузлів та агрегатів в процесі експлуатації.

До основних показників якості дизельного палива відносяться: фракційний склад, в'язкість, температура помутніння, температура застигання, гранична температура фільтрованості, цетанове число, вміст сірчаних сполук, температура самозаймання [32].

Моторні оливи виконують в двигунах різні функції. Залежно від типу і конструкції двигуна, ступеня його форсування, особливостей системи мащення, режиму роботи, теплонапруженості його деталей та інших чинників кількість теплоти, що відводиться оливою, становить 1,5...4,5% від загальної кількості, що виділяється двигуном [33]. Іншою, не менш важливою функцією оливи, є ущільнення зазорів в сполученні деталей і, зокрема, перешкоджання прориву газів через поршневі кільця, що сприяє створенню компресії в циліндрах, надійному пуску двигуна, а також знижує токсичність відпрацьованих газів.

Якісні показники моторних оливи визначаються властивостями оливної основи і наявністю присадок, що підвищують функціональні якості оливи та їх стабільність. Енергетичні втрати в двигуні, його пускові якості, багато в чому визначаються в'язкіснотемпературною характеристикою оливи [32].

Застосування пластичних мастил обумовлене наявністю в конструкції автомобілів великої кількості безкартерних агрегатів і вузлів тертя, що різняться за конструкцією, режимами роботи, захистом від проникнення пилу, бруду і вологи, та які потребують мащення з метою зменшення інтенсивності абразивного зносу. Якісні показники пластичних мастил визначаються властивостями загусника та властивостями оливи з обов'язковою наявністю певної кількості присадок.

Застосування палив, олив та пластичних мастил низької якості (невиконання рекомендацій заводу-виробника) сприяє порушенню оптимальних режимів експлуатації рухомого складу і збільшенню витрати палива.

Якість охолоджуючої рідини має не менш важливе значення для надійності двигуна, ніж якість палива і мастильних матеріалів. В якості охолоджуючої рідини, як правило, використовується антифриз. Існують певні правила і рекомендації, які дозволяють мінімізувати вплив якості охолоджуючих рідин на технічний стан системи охолодження двигуна і ефективність автомобіля в процесі експлуатації [32].

1.4 Аналіз підходів до нормування витрати палива в процесі експлуатації

Автомобільний транспорт є одним з основних та найбільш поширених видів пасажирського транспорту країни. Він широко обслуговує транспортні потреби міського та сільського населення, забезпечуючи масові та індивідуальні перевезення пасажирів парком автобусів та легкових автомобілів.

За даними державної служби статистики України, близько 50% всіх пасажирських перевезень в країні здійснюється автомобільним транспортом [34].

Автомобільний транспорт є основним споживачем енергетичних ресурсів. Станом на 2017 рік, понад 76% нафтопродуктів споживається транспортною галуззю. З них понад 97% – рухомим складом автомобільного транспорту [35]. В Україні в структурі собівартості процесу перевезень 50...60% витрат припадає на витрату паливно-мастильних матеріалів [14], в той час, як в країнах ЄС цей показник становить 20...25% [36]. Тому питання раціонального використання енергетичних ресурсів, зокрема на автомобільному транспорті, є вкрай важливим для нашої країни.

Нормування витрати палива в Україні здійснюється відповідно до Наказу Міністерства транспорту України № 43 від 10 лютого 1998 року [37]. У 2012 році Наказом Міністерства інфраструктури України № 36 від 24.01.2012 [38] були

внесені останні зміни та доповнення. Результатом даного розпорядження стала публікація ДП «ДержавтотрансНДІпроект» третьої редакції «Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» під загальною редакцією А. М. Редзюка. Основний принцип, що використовується в даному документі, передбачає стале чисельне значення базової лінійної норми витрати палива для кожної моделі транспортного засобу, яка корегується за допомогою коефіцієнтів відповідно до певних умов експлуатації.

Даний підхід був підданий критичному аналізу у роботі С. І. Кривошапова [39], в результаті якого ним було запропоновано альтернативний спосіб, що ґрунтується на застосуванні рівняння витрати палива, опублікованого у роботі [14], а саме:

$$Q_s = [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \Psi + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2 + 0,1 \cdot \beta \cdot G_a \cdot V_a)] / \eta_i \quad (1.1)$$

де η_i – індикаторний ККД двигуна;

A, B, C – коефіцієнти конструкції автомобіля та якості палив;

i_k – передавальне число вищої передачі;

G_a – сила тяжіння від маси автомобіля, Н;

V_a – швидкість руху автомобіля, м/с;

k – коефіцієнт опору повітря, Н·с²·м⁻⁴;

F – лобова площа, м².

Коефіцієнти A, B і C , що залежать від конструктивних параметрів автомобіля та якості палива, розраховуються за такими формулами:

$$A = (7,95 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0) / (H_H \cdot \rho_m \cdot r_k); \quad (1.2)$$

$$B = (0,69 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0) / (H_H \cdot \rho_m \cdot r_k^2); \quad (1.3)$$

$$C = 100 / (H_H \cdot \rho_m \cdot \eta_{mp}); \quad (1.4)$$

де a_m і b_m – коефіцієнти механічних втрат в двигуні;

V_h – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

i_0 – передавальне число головної передачі;

H_H – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;

ρ_m – густина палива, г/см³;

r_k – динамічний радіус колеса, м;

S_n – хід поршня, м;

η_{mp} – ККД трансмісії.

Інше рівняння, в основі якого лежить питома витрата палива, і яке потенційно можна було б використовувати з метою нормування, представлене в роботі [40]:

$$Q_s = q_e \cdot (m_a \cdot g \cdot \Psi + (k_w \cdot A_l \cdot v^2 / 3,6^2) + \delta_{об} \cdot m_a \cdot (dv/dt)) / (3,6 \cdot 10^4 \cdot \eta_{mp} \cdot \rho_n) \quad (1.5)$$

де q_e – питома витрата палива, г/(кВт·год);

η_{mp} – ККД трансмісії;

m_a – повна маса автомобіля, кг;

k_w – коефіцієнт опору повітря, Н·с²·м⁻⁴;

A_l – лобова площа, м²;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт, що враховує обертові маси;

ψ – коефіцієнт опору дороги;

v – швидкість автомобіля, км/год;

dv/dt – прискорення, м/с²;

ρ_n – густина палива, кг/м³.

Розглядаючи потенційну можливість нормування витрати палива на основі математичних моделей, варто відзначити інтегральну математичну модель, наведену в роботах [41, 42]. Альтернативним методом нормування питомої витрати палива на транспортну роботу може стати рівняння, опубліковане в роботі [43], де повна маса автомобіля представлена як сума спорядженої маси, маси вантажу з урахуванням коефіцієнту використання вантажопід'ємності та маси пасажирів і їх багажу (включаючи водія).

Серед західних підходів щодо розрахункового визначення витрати палива варто відзначити математичну модель PERE (Physical Emission Rate Estimator), що була розроблена американською агенцією із захисту навколишнього середовища (United States Environment Protection Agency або EPA) як доповнення до їхньої моделі обліку енергоресурсів та викидів шкідливих речовин MOVES (Motor Vehicle Emissions Simulator) [44]. В першу чергу, вона покликана

моделювати витрату палива транспортних засобів при їх проходженні їздовими циклами для визначення викидів шкідливих речовин.

В основі PERE лежить розрахунок енергії, яка необхідна для переміщення транспортного засобу певної маси уздовж траси, за умови можливості подолання усіх сил опору руху.

Дана модель, по суті, є моделлю «зворотного виду» у тому сенсі, що в якості вхідної інформації вона використовує посекундні дані їздового циклу (швидкість в залежності від часу) та розраховує енергетичні витрати, необхідні для його виконання. Необхідна потужність визначається з урахуванням подолання сил інерції, опору дорожнього покриття, тертя шин і аеродинамічних втрат. Така методологія дорожніх навантажень була запропонована Совраном і Боном [45].

Споживана потужність (у Ваттах) визначається за формулою [46]:

$$P_b = m \cdot v [a \cdot (1 + \varepsilon) + g \cdot \text{grade} + g C_R] + 0,5 \rho C_D A_F v^3 \quad (1.6)$$

де v – швидкість транспортного засобу (при відсутності зустрічного вітру), м/с;

a – прискорення транспортного засобу, м/с²;

ε – масовий фактор, що враховує обертальні маси $\varepsilon=0,1$;

g – прискорення вільного падіння, $g=9,81$ м/с²;

grade – кут нахилу дороги;

C_R – опір коченню, $C_R=0,008 \dots 0,013$;

ρ – щільність повітря, $\rho=1,25$ кг/м³;

C_D – коефіцієнт аеродинамічного опору, $C_D=0,3$;

A_F – лобова площа, м²;

m – маса транспортного засобу, кг.

Кут нахилу дороги grade визначається як відношення висоти підйому до горизонтальної протяжності ділянки підйому [47].

Лобова площа A_F розраховується з використанням розмірів транспортного засобу [48]:

$$A_F = (H - GC) \cdot W \cdot 0,93 \quad (1.7)$$

де H – висота транспортного засобу, м;

G_C – дорожній просвіт, м;

W – ширина транспортного засобу, м;

Рівняння витрати палива, яке застосовується в методиці PERE має вигляд [46]:

$$FR = \varphi [kNV + (P_b/\eta_t + P_{acc})/\eta] / LHV \quad (1.8)$$

де φ – коефіцієнт надлишку повітря (в основному $\varphi = 1$);

k – тертя в двигуні;

N – частота обертання колінчастого валу;

V – об'єм двигуна;

η_t – ККД трансмісії;

η – індикаторний ККД двигуна;

P_{acc} – споживана потужність на привід додаткового обладнання,

$P_{acc} = 0,5 \dots 1$ кВт;

LHV – нижча теплота згорання палива (43,7 кДж/г для бензину, 41,7 кДж/г для дизельного палива).

Тертя в двигуні залежить від частоти обертання, відповідно його можна визначити за формулою:

$$k = k_0 + k_1 \cdot N \quad (1.9)$$

де $k_0 = 3,283$ бар, $k_1 = 0,000515$ бар/хв⁻¹ для бензинових двигунів та $k_0 = 1,09$ бар, $k_1 = 0,00116$ бар/хв⁻¹ для дизелів. Для того, щоб отримати відповідні одиниці вимірювання для рівняння витрати палива, дані значення необхідно помножити на 100 та розділити на 2000.

Частота обертання двигуна визначається на основі моделі, запропонованої Томасом та Росом [49] за таким виразом:

$$N = (N/v)_{top} \cdot (60\text{rpm/rpm}) \cdot (g/g_{top}) \cdot v \quad (1.10)$$

де N – кількість обертів двигуна, об/хв;

$(N/v)_{top}$ – відношення частоти обертання до швидкості на вищій передачі;

v – швидкість транспортного засобу, миль/год;

(g/g_{top}) – передаточне число відповідної передачі.

ККД трансмісії напряму впливає на витрату палива. В PERE значення ККД залежить від того, яка трансмісія встановлена на автомобілі. Ефективність

автоматичних трансмісій приймається на основі опублікованих робіт Бішоп і Клюгера [50]. Значення ККД в залежності від передачі представлені в табл. 1.3. Ефективність нижча на 1-й передачі через «проковзування» у гідротрансформаторі та краща на більш високих передачах через зачеплення шестерень у механічній частині коробки передач.

Таблиця 1.3 – ККД автоматичних трансмісій за даними Бішоп і Клюгера [50]

Передача	ККД, %
1	72,2
2	80,9
3-5	87

Ефективність механічної трансмісії коливається в межах 87...99% і, згідно рекомендацій [48], приймається на рівні 95% незалежно від передачі. Трансмісії, які використовують передачі з неперервною варіацією (CVT) мають ККД приблизно 88% [51].

Середній індикаторний ККД двигуна для дорожніх автомобілів-тягачів з дизелем складає близько 0,48 (зі стандартним відхиленням 0,02), а міські автобуси мають трохи менше середнє значення на рівні 0,46 [48].

1.5 Сучасні форми організації моніторингу технічного стану та витрати палива транспортних засобів

Забезпечення роботоздатності рухомого складу (РС) та підтримання його в належному технічному стані при раціональних витратах всіх видів ресурсів, нормативних рівнях дорожньої та екологічної безпеки, дотримуючись визначених законодавством умов праці персоналу, є одним з основних завдань технічної експлуатації як галузі практичної діяльності.

Значний внесок у розвиток технічної експлуатації автомобілів як галузі наукової діяльності зробили Ф.М. Авдонькін, І.М. Арінін, В.М. Ворфоломєєв, М.Я. Гворущенко, Є.С. Кузнецов, Г.В. Крамаренко, І.П. Курніков, І.А. Луйк, Я.І. Несвітський та ін. [26, 116, 52, 27, 11, 117, 118, 119].

У роботі [52] зазначено, що найбільш ефективним рівнем управління технічним станом автомобіля є система моніторингу.

Під технічним станом автомобіля слід розуміти сукупність його властивостей, змінних в процесі виробництва та експлуатації, які на певний момент часу характеризуються ознаками, встановленими технічною документацією [19]. Іншими словами – це ступінь відповідності параметрів систем, механізмів, вузлів та агрегатів нормам, встановленим правилами технічної експлуатації.

Згідно [53], моніторинг технічного стану ТЗ – це періодичне або неперервне спостереження за встановленим заздалегідь набором параметрів з метою відслідковування погіршення його технічного стану в процесі експлуатації.

На сьогоднішній день існує ряд способів як періодичного, так і неперервного контролю параметрів функціонування ТЗ, а саме:

- за допомогою стаціонарних пристроїв;
- за допомогою спеціалізованих пристроїв;
- за допомогою тестових систем [54].

Перевірка технічного стану стаціонарним обладнанням представляє собою періодичний контроль значень визначеної кількості параметрів, який здійснюється багатофункціональними пристроями всебічного діагностування автомобіля, його окремих систем, вузлів та агрегатів. До таких пристроїв відносяться стенди та мотор-тестери, які дозволяють вимірювати значення параметрів безпосередньо на автомобілі шляхом їх підключення до відповідних систем.

Спеціалізованими пристроями контролю технічного стану ТЗ є діагностичні сканери – обладнання, призначене для діагностування електронних систем управління за допомогою зчитування цифрової інформації з діагностичного роз'єму автомобіля. Зазвичай, сканер підключається до комп'ютера через послідовний порт для передачі даних або може бути виконаний у вигляді самостійного багатофункціонального пристрою, що є комбінацією мультиметра, осцилографа і мікрокомп'ютера, обладнаного дисплеєм, із заздалегідь встановленим спеціалізованим програмним забезпеченням для конкретної марки чи моделі рухомого складу.

Автосканер підключається до шини обміну даними (CAN – Controller Area Network) між блоками автомобіля, що дозволяє отримувати вичерпну інформацію про його стан, вимірювати характеристики, зчитувати дані з датчиків та дає змогу отримати комплексну оцінку технічного стану транспортного засобу. Проте, серед ключових недоліків даного способу слід відзначити те, що для систем і вузлів, які не обладнанні датчиками, технічний стан визначається за непрямыми параметрами, а в деяких випадках взагалі не може бути визначений в такий спосіб.

Тестові системи дозволяють зчитувати коди помилок і потоки даних в режимі реального часу і представляти їх у вигляді таблиць, графіків тощо. За допомогою таких систем проводять віртуальні тести: "вручну" змінюють один з параметрів і визначають його вплив на інші.

Тестові системи встановлюються на транспортний засіб додатково і включають в себе три основні елементи:

- інформаційний пристрій – дисплей, кишеньковий персональний комп'ютер (КПК), смартфон або планшет тощо;
- адаптер – програмований мікроконтролер зі встановленими протоколами зв'язку, який дозволяє з'єднати бортову систему самодіагностування з інформаційним пристроєм;
- система зв'язку – канал передачі інформації від адаптера до інформаційного пристрою, який може бути дротовим (COM (RS-232) чи USB.) або бездротовий (Bluetooth чи Wi-Fi) [54].

В більшості випадків такі тестові системи підключаються до роз'єму бортової системи самодіагностування і зчитують інформацію з CAN шини, тому мають всі зазначені для діагностичних сканерів недоліки. Проте їхньою ключовою перевагою є те, що всі дані можна отримувати в реальному часі і оперативно реагувати на динаміку зміни контрольованих параметрів.

Можливість безперервного моніторингу параметрів технічного стану сучасних ТЗ в процесі експлуатації забезпечується функцією самодіагностування електронних систем управління робочими процесами вузлів і агрегатів. Такі системи оснащені рядом індикаторів, які виведені на панель

приладів для інформування водія про можливі несправності та необхідність своєчасного проходження технічного обслуговування (ТО) [55].

Отримавши сигнал про відхилення значень контрольованих параметрів від нормативних, система самодіагностування класифікує несправність по номеру (коду помилки) і записує цей код в оперативну пам'ять, виконуючи коригуючі дії, що передбачені на цей випадок програмою управління [56].

У світовій автомобільній промисловості прийняті стандарти бортових систем моніторингу технічного стану ТЗ – OBD (On-Board Diagnostic), що визначають особливості конструкції систем самодіагностування та протоколів, які вони виконують. Стандарт уніфікує порядок обміну даними між системою самодіагностування та обладнанням, систему позначення кодів несправностей та порядок роботи системи в цілому [57]. Проте, істотним недоліком стандарту OBD-II, незважаючи на його універсальність, є наявність великої кількості різних протоколів зв'язку між контролером системи та інформаційними пристроями.

Ще одним способом безперервного спостереження за параметрами ТЗ є супутникові системи моніторингу. Вони дають можливість контролювати місцезнаходження, час, швидкість та напрям руху, пройденої відстань, факт відкриття дверей чи капоту та ін. [58].

Системи супутникового моніторингу складаються з трьох основних компонентів:

1. Модуль моніторингу – визначає координати та час за даними GPS супутників, приймає інформацію з датчиків ТЗ (штатних та додатково встановлених), формує пакети даних та передає їх на сервер через GPRS мережі.

2. Сервер моніторингу – приймає інформацію від модулів моніторингу, зберігає її в базі даних, передає інформацію диспетчеру за запитом.

3. Диспетчерське місце – спеціалізоване програмне забезпечення, що здійснює обробку та відображення отриманих із серверу даних, виводить на карту в режимі онлайн місцезнаходження ТЗ (модулю моніторингу), будує маршрути руху, формує та зберігає звіти тощо [59].

Суттєвими перевагами даного методу є можливість контролю умов експлуатації (маршрутів, швидкісних режимів, місцезнаходження тощо) та отримання інформації з різноманітних датчиків, як штатних так і додатково встановлених (датчик витрати палива, акселерометр тощо), оскільки, згідно з [54, 60, 25, 58] витрата палива є більш чутливим показником технічного стану ТЗ ніж пробіг.

На рисунку 1.5 представлена класифікаційна схема способів моніторингу технічного стану транспортних засобів за способом організації.



Рисунок 1.5 – Класифікаційна схема способів моніторингу технічного стану транспортних засобів за періодичністю контролю параметрів

Використання системи моніторингу (в тому чи іншому її матеріальному вираженні), яка базуватиметься на неперервному спостереженні та вимірюванні параметрів технічного стану, застосовуючи відповідні оціночні процедури та автоматизацію прийняття оперативних рішень, є найбільш ефективним способом управління технічним станом ТЗ.

Такий підхід дозволяє доповнювати ймовірнісні методи визначення оптимальної періодичності обслуговування індивідуальною інформацією про конкретний автомобіль. Так, на основі ймовірнісної інформації прогнозується момент постановки ТЗ на технічне обслуговування (ТО), а корегування і уточнення строків проведення операції визначається на основі індивідуальної інформації про його технічний стан, яка була отримана в результаті моніторингу визначених параметрів [25].

Доцільність використання того чи іншого виду інформації або їх поєднання характеризується приростом ефективності експлуатації рухомого складу та визначається техніко-економічними розрахунками у поєднанні з оцінкою наочності, точності, важливості та вартості отримання даної інформації [61].

1.6 Аналіз методів контролю витрати палива та паливної економічності

Паливною економічністю називають сукупність властивостей, які визначають витрату палива при виконанні автомобілем транспортної роботи в різних умовах експлуатації [43]. Основною одиницею вимірювання паливної економічності автомобіля в нашій країні і більшості європейських країн є витрата палива в літрах на 100 км пройденого шляху (шляхова витрата) Q_s л/100 км.

У відомих літературних джерелах використовуються такі показники і характеристики паливної економічності транспортних засобів:

- контрольна витрата палива;
- витрата палива в магістральному циклі на дорозі;
- витрата палива в міському циклі на дорозі;
- витрата палива в міському циклі на стенді;
- паливна характеристика усталеного руху;
- паливо-швидкісна характеристика на магістрально-горбкуватій дорозі.

Аналіз останніх вітчизняних та зарубіжних наукових публікацій і матеріалів досліджень свідчить про те, що в теперішній час постійно ведеться активний пошук та експериментальна перевірка найбільш точних та достовірних методів визначення витрати палива транспортним засобом в умовах експлуатації [62...68].

Для безпосереднього вимірювання витрат рідкого та газоподібного палива використовують витратоміри – прилади (пристрої), які вимірюють витрату речовини, або лічильники кількості – прилади (пристрої), які вимірюють масу чи об'єм речовини.

Витратою називається кількість рідини (або газу), яка протікає через визначений переріз трубопроводу за одиницю часу і вимірюється відношенням одиниці маси до одиниці часу (кг/с) або одиниці об'єму до одиниці часу (м³/с). У першому випадку мова йде про масову витрату Q_m , у другому – об'ємну Q_o , які пов'язані між собою залежністю:

$$Q_m = \rho \cdot Q_o, \quad (1.1)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³ [69].

Оскільки густина палива змінюється в достатньо широкому діапазоні (від 650,0 до 841,4 кг/м³ [70]) залежно від температури навколишнього середовища, прийнято вважати, що масова витрата є більш точним показником для продуктів нафтопереробки.

До сучасних приладів для вимірювання витрати палива висувається ряд вимог, які задовольнити усі разом дуже важко або практично неможливо, а саме [71]:

- *висока точність*. Це одна з найважливіших вимог, особливо коли мова йде про кількість речовини. Похибку в 0,2...0,5% здатні забезпечити камерні лічильники (лопастні, роликово лопастні). Ряд витратомірів (тахометричні, вихрові, електромагнітні, ультразвукові) мають похибку в 0,25...1,0%;

- *висока надійність* – ще одна важлива вимога, яка оцінюється проміжком часу, впродовж якого прилад зберігає роботоздатність і допустиму точність. Витратоміри, які не мають рухомих частин, можуть працювати дуже довго. Тахометричні витратоміри і лічильники з ротором мають відносно малий термін служби, який залежить від ступеня чистоти та мастильних властивостей речовини, що вимірюється;

- *низька залежність точності вимірювання від зміни густини речовини*. Лише теплові і силові витратоміри, які вимірюють масову витрату, мають таку властивість. Для інших типів приладів потрібно мати автоматичне корегування при зміні густини або хоча би температури і тиску рідини, що вимірюється;

- *швидка дія приладу*. Швидкодію зручно оцінювати значенням часу, впродовж якого показники приладу при стрибкоподібній зміні витрати від q_1 до q_2 змінюються приблизно на 2/3 від значення $(q_2 - q_1)$;

- *великий діапазон вимірювань (q_{max}/q_{min}).* У приладів з лінійною характеристикою він дорівнює 8...20, в той час як у приладів з квадратичною характеристикою він лише 3...10;

- *забезпеченість метрологічної бази.* Важливим є наявність зразкових витратомірних установок, необхідних для перевірки та градуювання витратомірів, проте вони мають складну конструкцію та дуже дорогі. Лише витратоміри із звужуючими пристроями не потребують таких установок, тому що для більшості їх різновидів були експериментально встановлені і нормовані коефіцієнти витрат і розширення в міжнародному стандарті ISO 5167;

- *дуже великий діапазон витрат, які підлягають вимірюванню.* Діапазони вимірювання рідин і газів можуть становити від 10^{-2} до 10^8 кг/год., тобто відрізнятись на десять порядків. Особливо складно вимірювати дуже малі та дуже великі витрати;

- *необхідність вимірювання витрати не тільки у звичайних, але й в екстримальних умовах,* при дуже низьких або дуже високих температурах та тиску;

- *широка номенклатура вимірюваних речовин.* Речовини можуть бути не тільки однофазними і однокомпонентними, але й багатofазними і багатокомпонентними. При цьому варто враховувати як їх особливі властивості (абразивність, агресивність, вибухонебезпечність токсичність, та ін.), так і параметри стану (тиск, температуру, тощо) [71].

Велике різноманіття та складність вимог, які висувуються до витратомірів і лічильників, є причиною розробки і створення значної кількості різновидів цих приладів. Їх детальна класифікація наведена на рис. 1.6.

Впродовж останніх 15 років пошук способів контролю витрати палива був орієнтований на підвищення точності та забезпечення можливості здійснювати вимірювання в режимі реального часу під час експлуатації. Ці дослідження розділились на два напрями: розробка датчиків рівня палива [72...77] та пошук методів моніторингу рівня палива [78...82].



Рисунок 1.6. – Класифікація витратомірів та лічильників рідини та газу
[83, 84].

На автомобільному транспорті для застосування в умовах експлуатації найбільшого поширення набули диференціальні витратоміри та ємнісні датчики рівня палива.

Диференціальні витратоміри частіше використовуються для обліку витрати палива спеціалізованого рухомого складу чи дорожніх машин.

Ємнісні датчики рівня палива, як правило, є основними вимірювальними приладами в системах моніторингу, які встановлюються на вантажні автомобілі та автобуси. Такі датчики не мають рухомих частин, а значить, не зношуються і не збільшують похибка вимірювань з часом. Вони не впливають на значення гідравлічного опору системи живлення, оскільки встановлюються в бак, а не у паливопровід. При цьому похибка вимірювань не перевищує 1%.

Суттєвими перевагами ємнісних датчиків рівня палива є тривалий безремонтний термін експлуатації, автономність роботи від паливної системи, висока захищеність від стороннього проникнення, низька вартість.

Зважаючи на усі вищезазначені переваги, а також на те, що саме ємнісними датчиками обладнаний рухомий склад автобусних парків м. Київ, у подальших дослідженнях будемо орієнтуватися саме на цей тип вимірювального обладнання для визначення витрати палива.

Висновки за розділом 1

1. Міські автобусні перевезення мають досить специфічні особливості, які визначають режими руху та характер зміни технічного стану рухомого складу.

2. Визначальний вплив на технічний стан транспортного засобу здійснюють умови, в яких він експлуатується. Врахування максимально повної кількості факторів, які характеризують ці умови, дозволить більш точно виявляти характерні зміни технічного стану міських автобусів.

3. Витрата палива є інтегральним показником, який є чутливим як до зміни технічного стану транспортного засобу, так і до особливостей умов експлуатації.

4. Деякі з існуючих підходів до нормування витрати палива в процесі експлуатації не враховують ряд параметрів умов експлуатації, в той час як деякі

з них є досить складними та потребують значних витрат часу або статистичної інформації, що обмежує сферу їх застосування.

5. Розвиток інформаційних технологій та їх доступність широкому загалу дозволяє перейти до нових, більш точних моделей нормування витрати палива та контролю технічного стану рухомого складу, які базуються на безперервному спостереженні за ключовими експлуатаційними параметрами. Це дає можливість оперативно реагувати на зміну технічного стану та попереджувати певні несправності.

6. Не зважаючи на велику кількість розроблених та запатентованих конструкцій приладів для контролю витрати палива, і досі ведеться активний пошук достатньо точних і в той же час простих пристроїв, які дозволять вести облік витрати палива в умовах експлуатації.

На основі аналізу представлених матеріалів була сформульована мета дослідження – оцінка технічного стану міських автобусів категорії МЗ класу І за показником витрати палива.

Для досягнення мети в роботі вирішуються такі наукові та прикладні задачі:

1. Проаналізувати можливість оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива.

2. Розробити методику визначення витрати палива, як ключового критерію для оцінки змін у технічному стані міських автобусів.

3. Запропонувати методику та критерії прийняття рішення про наявність відхилення у технічному стані міських автобусів за показником витрати палива.

4. Провести оцінку технічного стану міських автобусів за показником витрати палива у визначених умовах експлуатації.

5. Встановити вплив характерних несправностей міських автобусів на витрату палива за запропонованою методикою.

6. Розробити рекомендації щодо впровадження та використання методики оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива в умовах діючих підприємств.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ

2.1 Вибір та обґрунтування рухомого складу

Пасажи́рський транспорт – це частина єдиної транспортної системи (ЄТС), економічна і соціальна роль якої полягає в наданні послуг з перевезення пасажирів, їх ручної поклажі та багажу по різних видах сполучення.

Сьогодні до складу транспортної системи входять такі види транспорту як залізничний, морський, річковий, автомобільний, повітряний, трубопровідний, міський і промисловий.

Міський пасажирський транспорт призначається для перевезень населення між центрами транспортного тяжіння, до яких відносяться підприємства, організації, культурні, спортивні, побутові та інші установи.

Потреба в міському пасажирському транспорті виникає, коли в результаті зростання міст їх територіальні розміри перевищують зону пішохідної доступності міського центру. Зазвичай, таку зону приймають в межах 30 хвилин ходьби, при цьому максимальний радіус пішохідної доступності складе 2 км, а граничні територіальні розміри «пішохідного» міста 12,56 кв. км. [85].

Пасажи́рський автомобільний транспорт перетворився на один з основних та найбільш поширених видів пасажирського транспорту країни. Він широко обслуговує транспортні потреби міського та сільського населення, забезпечуючи масові та індивідуальні перевезення пасажирів парком автобусів та легкових автомобілів.

За даними державної служби статистики України, близько 50% всіх пасажирських перевезень в країні здійснюється автомобільним транспортом [86].

Таблиця 2.1 – Статистика об'ємів пасажирських перевезень автомобільним транспортом в період з 2007 по 2016 рр.

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Об'єм пасажирських перевезень										
Перевезено пасажирів, млн. чол.	8835	8331,2	7274,1	6837,7	6972,9	6812,3	6620	5899,5	5175,7	4854,4
Транспортна робота, млрд. пас. км	144,4	147,3	130,1	129,8	134,3	132,5	128,5	106,1	97,3	102,2
Автомобільний транспорт (автобуси)										
Перевезено пасажирів, млн. чол.	4174,1	4368,7	4012,9	3719,4	3604,6	3448,7	3340,8	2915,3	2259,8	2025
Транспортна робота, млрд. пас. км	56,2	61,4	55,3	52,1	51,4	50,4	49,1	42,7	34,8	34,5
Частка автомобільного транспорту в загальному об'ємі пасажирських перевезень										
Пасажирів, %	47,2	52,4	55,2	54,4	51,7	50,6	50,5	49,4	43,7	41,7
Транспортна робота, %	38,9	41,7	42,5	40,1	38,3	38,0	38,2	40,2	35,8	33,8

З урахуванням перевезень трамваєм, тролейбусом та метрополітеном.

2010–2016 рік – з урахуванням перевезень міською електричкою

2014–2016 рік – без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції.

Пасажирські перевезення виконуються автобусами та легковими автомобілями загального користування. Автомобільний транспорт загального користування виконує перевезення пасажирів маршрутними автобусами; автобусами, наданими державними та корпоративними підприємствами, закладами і організаціями за їх замовленнями, а також громадянами за договорами або окремими замовленнями; маршрутними таксі та легковими автомобілями-таксі індивідуального користування; легковими автомобілями, наданими підприємствами, закладами та організаціями для службового використання, а також громадянам за окремими замовленнями. Проте найбільша частка всього об'єму пасажирських перевезень припадає на маршрутні автобуси та маршрутні таксі.

Міські пасажирські перевезення відносяться до сфери послуг та характеризуються невеликою протяжністю маршрутів, частими зупинками і частою зміною пасажирів. Такі особливості робочого процесу призводять до того, що міський автомобільний транспорт експлуатується в неоптимальних швидкісних режимах, що в свою чергу призводить до підвищеного зношування основних елементів конструкції.

Оскільки міські пасажирські перевезення відносяться до сфери послуг, їх основним завданням є повне задоволення потреби населення при мінімальних витратах. Проте, ключовою проблемою залишається те, що міські пасажирські перевезення є планово збитковими.

За даними фінансових звітів КП «Київпаstrans» (табл. 2.2) [87], середня рентабельність перевезень за останні 5 років складає -61%.

Таблиця 2.2 – Фінансові результати КП «Київпаstrans» в період з 2012 по 2016 роки

Рік	2012	2013	2014	2015	2016
Чистий дохід	370654	385011	410333	641206	647098
Собівартість реалізації	1047462	1177279	1209168	1361686	1459361
Фінансовий результат (збиток)	-676808	-792268	-798835	-720480	-812263
Рентабельність перевезень	-0,65	-0,67	-0,66	-0,53	-0,56

Проаналізувавши структуру операційних витрат на забезпечення діяльності підприємства (таблиця 2.3), можемо побачити, що матеріальні витрати складають майже третину.

Таблиця 2.3 – Елементи операційних витрат КП «Київпаstrанс» в період з 2012 по 2016 роки

Стаття витрат	Рік				
	2012	2013	2014	2015	2016
Матеріальні затрати	29,2%	27,0%	28,6%	29,8%	32,4%
Витрати на оплату праці	33,0%	33,5%	35,2%	33,1%	32,9%
Відрахування на соціальні заходи	12,4%	12,6%	13,2%	11,8%	6,7%
Амортизація	16,3%	16,7%	16,4%	14,8%	15,3%
Інші операційні витрати	9,1%	10,2%	6,6%	10,5%	12,7%
Разом	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Згідно усереднених статистичних даних [88], близько 24% матеріальних витрат припадає на паливо, близько 5% – це витрати на технічне обслуговування та ремонт автомобілів.

Як було зазначено в розділі 1.2, значний вплив на витрату палива здійснюють технічний стан транспортного засобу та умови його експлуатації. Відповідно, постійний контроль за технічним станом міських автобусів і своєчасне виявлення потреб в технічному обслуговуванні та ремонті дозволить підвищити ефективність їх експлуатації, а встановлення залежностей між основними контрольованими параметрами робочого процесу та умовами експлуатації на конкретних маршрутах дасть можливість розробити рекомендації щодо оптимальних експлуатаційних режимів.

На сьогоднішній день, рухомий склад КП Київпаstrанс налічує 1425 автобусів марок Богдан, ЛАЗ та МАЗ [89] (рис. 2.1).

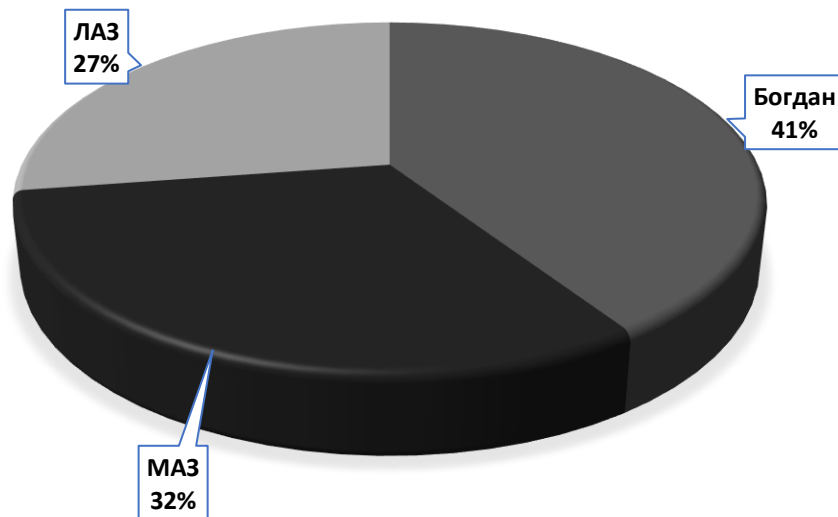


Рисунок 2.1 – Розподіл рухомого складу за марками КП Київпастрас

Як видно з діаграми, більша частина рухомого складу припадає на автобуси марки Богдан. Проте, згідно з дослідженнями [9], оптимальна структура автобусного парку великих міст має налічувати 35% автобусів категорії М3 класу I та лише 25% – категорії М3 класу II. Крім того, згідно з [90], міська влада Києва планує відмовитись від «маршрутних таксі» до 2024 року. Відповідно, розглядати даний сегмент у нашому дослідженні не доцільно. Розподіл автобусів марок ЛАЗ та МАЗ по моделях наведений в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Розподіл автобусів марок ЛАЗ та МАЗ по моделях

Модель	Кількість	Відсоток від загальної кількості
МАЗ-215.069	4	0,47%
МАЗ-203.069	95	11,24%
МАЗ-203.065	85	10,06%
МАЗ-107.467	99	11,72%
МАЗ-105.060	34	4,02%
МАЗ-103.076	55	6,51%
МАЗ-103.065	5	0,59%
МАЗ-103.061	47	5,56%
МАЗ-103.060	30	3,55%
ЛАЗ-695Н	9	1,18%
ЛАЗ-5252 (різних модифікацій)	107	12,66%
ЛАЗ-5208NL "НеоЛАЗ"	10	1,18%
ЛАЗ А291	12	1,42%
ЛАЗ А141	12	1,42%
ЛАЗ А292D1	25	2,96%
ЛАЗ А191F0	10	1,18%
ЛАЗ А183D1	205	24,26%

Якщо не брати до уваги відверто застарілі автобуси та автобуси, які здійснюють міжміські перевезення, то 24,6% відносяться до автобусів особливо великого класу і 75,4% до автобусів великого класу, причому переважна більшість з них (60%) – автобуси марки МАЗ. На рисунку 2.2 наведений розподіл автобусів марки МАЗ великого класу по моделях.

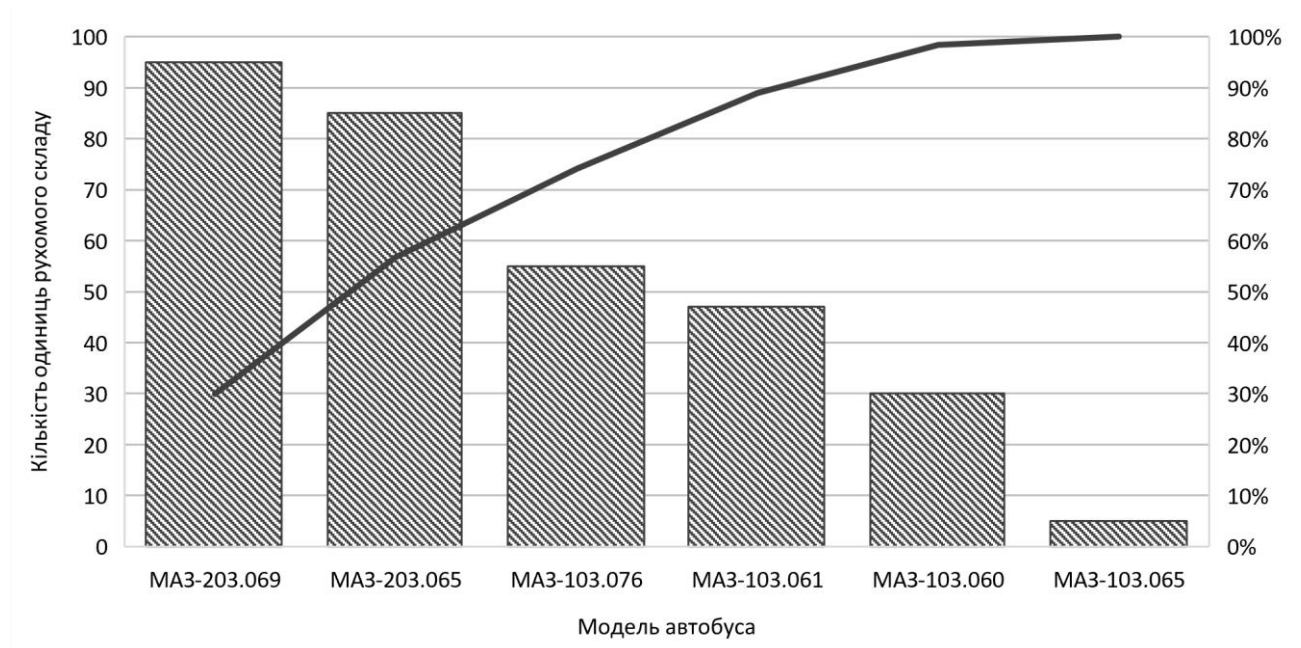


Рисунок 2.2 – Розподіл автобусів марки МАЗ великого класу по моделях

Як видно з рис. 2.2, переважну більшість (57%) моделей складають автобуси МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069. Тому, в якості об'єкту дослідження, зупинимось саме на цих моделях рухомого складу.

2.2. Методика оцінки технічного стану міських автобусів

За час експлуатації автомобіля спостерігається три характерних періоди [91]: припрацювання, нормальна експлуатація, інтенсивне спрацювання, які можна наближено визначити за закономірністю змінення параметра потоку відмов (рис. 2.3).

У період припрацювання виникають відмови, спричинені технологічними і конструкційними недоліками. Період нормальної експлуатації найтриваліший і характеризується в основному раптовими відмовами. Період інтенсивного спрацювання характеризується відмовами, спричиненими спрацюванням деталей автомобіля. Крім тривалості і причин виникнення відмов, ці періоди характеризуються також різними значеннями параметра потоку відмов. Цей параметр має найбільше і нерівномірне значення в період інтенсивного спрацювання. Варто зазначити також, що надійність різних агрегатів автомобіля неоднакова. Отже, періодичність ТО автомобіля має визначатися для кожного агрегату й окремо для кожного періоду його експлуатації [91].

Загальновідомо, що, якої б досконалої конструкції не був транспортний засіб, в результаті експлуатації деталі його агрегатів, вузлів та систем з часом зношуються, старіють, ржавіють, втомлюються, втрачаючи свої геометричні параметри та фізико-механічні властивості, а це означає погіршення технічного стану АТЗ.

Нехай показник ε відображає зміну в часі t показників його експлуатаційних властивостей. Очевидно, що функція $\varepsilon(t)$ є криволінійною та такою, що спадає (рис. 2.4) в результаті дії руйнівних процесів. У цей же час, якщо на початку експлуатації АТЗ показник R , що характеризує зношеність АТЗ, дорівнював нулеві, то за час t він набуває криволінійної зростаючої тенденції $R(t)$ [19].

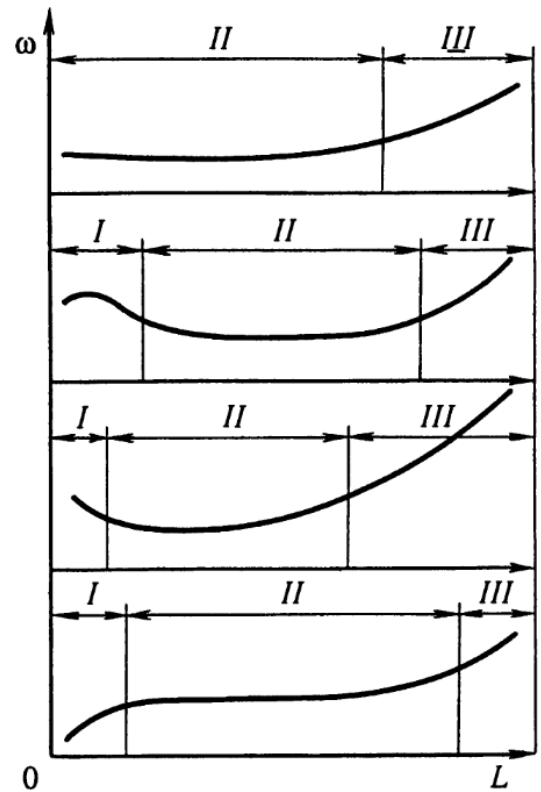


Рисунок 2.3 – Закономірність зміни параметра потоку відмов автомобілів: I-III – періоди відповідно припрацювання нормальної експлуатації та інтенсивного спрацювання і старіння [91]

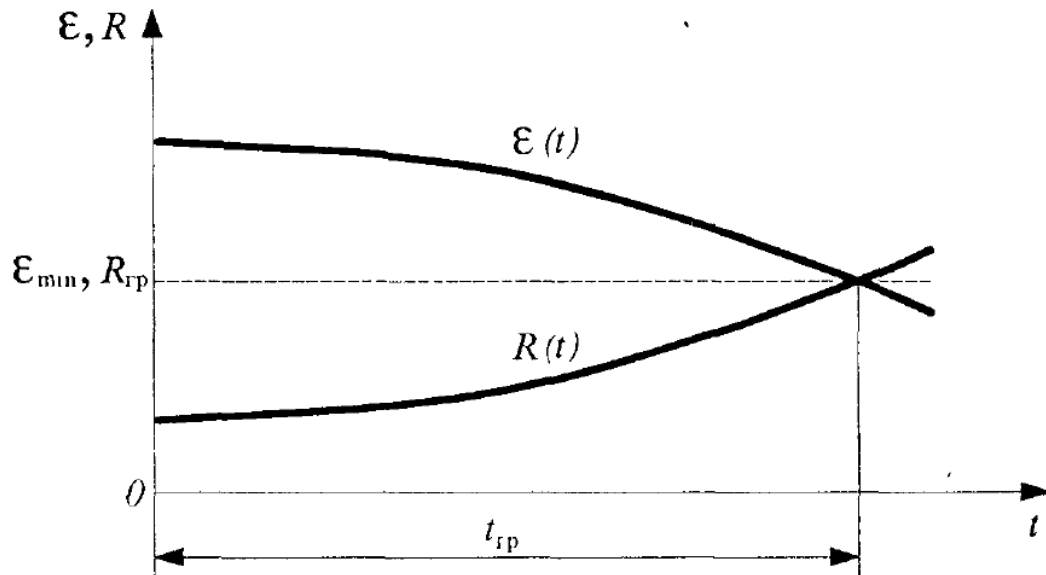


Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація взаємозв'язків між проходженням робочих та руйнівних процесів у машинах [19].

З метою збільшення часу $t_{\text{гр}}$ через певні проміжки часу $t_{\text{пер}}$ для АТЗ виконують відповідні профілактичні ремонтно-обслуговуючі дії (РОД), під час яких виконуються регулювання, заміна зношених деталей на нові, ремонт та відновлення їх. В результаті – покращується технічний стан АТЗ (стрибок ΔR вниз) і підвищується ефективність робочих процесів (стрибок $\Delta \epsilon(t)$ вгору) (рис. 2.5) [19].

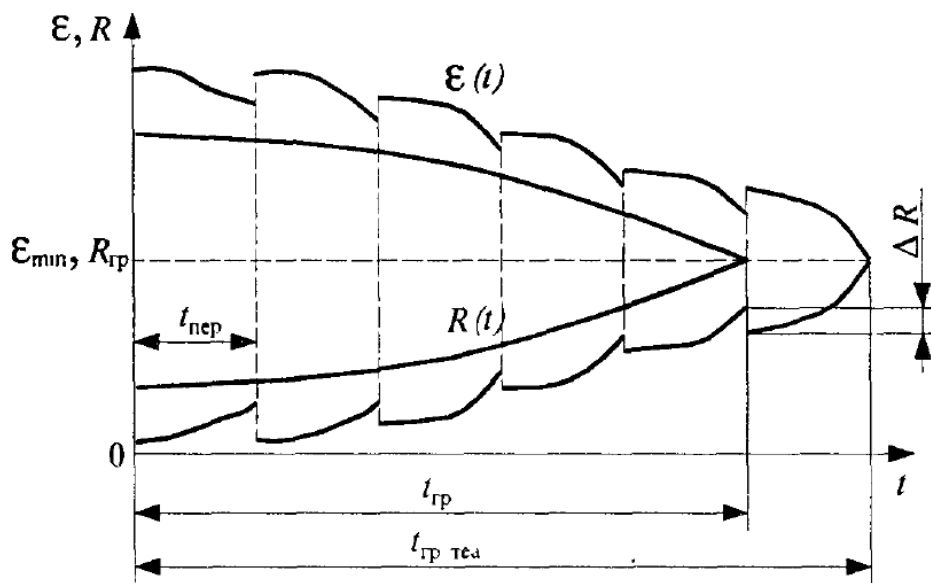


Рисунок 2.5 – Графічна інтерпретація взаємозв'язків між проходженням робочих процесів за умов виконання профілактичних РОД [19].

На думку Є. Ю. Форнальчика, якщо через певний $t_{пер}$ виконуються лише регулювальні роботи, то стрибок ΔR чи $\Delta \varepsilon$ буде незначним і відповідно подальший перебіг кривих буде із значним підйомом чи спаданням. Якщо ж виконуються у цих періодах $t_{пер}$ заміни зношених деталей, їх ремонт чи відновлення, стрибки ΔR і $\Delta \varepsilon$ більші, а поведінка подальших кривих пологіша [92].

У першому разі виконують ТО $\Delta \varepsilon(t)_{ТО}$, у другому – ремонт АТЗ $\Delta \varepsilon(t)_P$ (рис. 2.6.). У відповідних умовах та режимах експлуатації АТЗ, для їх різних видів перебіги зміни цих залежностей характеризуються різними інтенсивностями. Вони залежать, у першу чергу, від ступеня впливу таких чинників як інтенсивність зношення пар тертя, старіння деталей і їх деформацій тощо. Вони, як відомо, належать до таких, які викликають поступові відмови АТЗ чи їх агрегатів. Крім цього, існує категорія чинників (втрата міцності матеріалів деталей, їх поверхневе та об'ємне руйнування через дефекти у їх виготовленні чи порушенні режимів експлуатації), вплив яких на працездатність АТЗ носить непрогнозований характер, що призводить до раптових відмов. Ці дві групи чинників визначають фактично рівень технічного стану АТЗ [19].

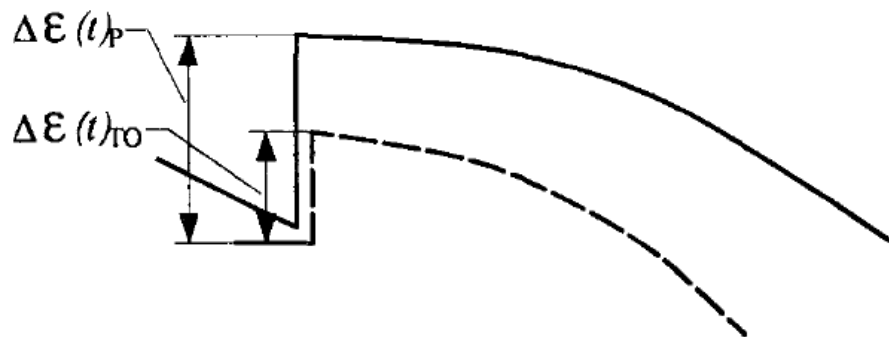


Рисунок 2.6 – Перебіг змін робочих процесів в АТЗ за умови виконання його ТО та ремонту [19].

Згідно з дослідженнями Національного університету Сінгапуру, прослідковується достатньо стійка залежність зміни шляхової витрати палива від сумарного пробігу транспортного засобу (рис. 2.7), яка описується квадратичним рівнянням.

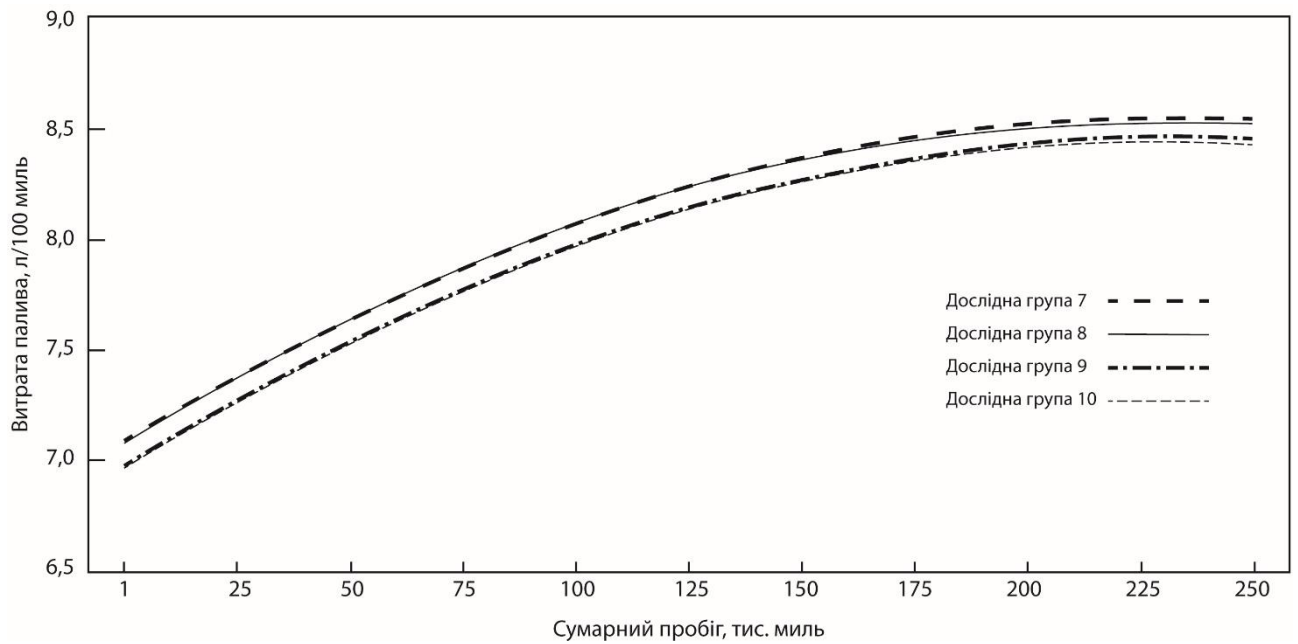


Рисунок 2.7 – Залежність шляхової витрати палива від сумарного пробігу автомобіля [93].

Найбільш раціональним поясненням даної тенденції є зміни у технічному стані транспортного засобу, які відбуваються у результаті його експлуатації.

Порівнюючи характер зміни параметру $\varepsilon(t)$ (рис. 2.5) з динамікою зміни кривої на рис. 2.7, можна зробити висновок, що ці дві криві обернено пропорційні. Тобто, із погіршенням експлуатаційних властивостей, збільшується витрата палива. Виходячи з цього, варто припустити, що характер зміни витрати палива перед відмовами пропорційний характеру зміни параметру $\varepsilon(t)$ у відповідні періоди (рис. 2.5), а отже раціонально висунути гіпотезу про те, що контролюючи шляхову витрату палива (в л/100 км), за визначених експлуатаційних умов, можливо спрогнозувати (попередити) виникнення поступових відмов.

Для контролю витрати палива в процесі експлуатації та прийняття рішення щодо зміни технічного стану автобусів на основі даного показника, найбільш раціональним інструментом є контрольні карти Шухарта, оскільки вони відображають динаміку процесу зміни контрольного параметру, є простими у використанні та в той же час – достатньо точними.

Принцип побудови контрольних карт.

Припустимо, що послідовно беруться вибірки обсягу n , і для кожного їх елементу вимірюється характеристика x . Для всіх вибірок обчислюються середнє арифметичне $\bar{x}$ і розмах варіювання R досліджуваних значень. Позначимо ці величини для i -ї вибірки через x_i . Значення $\bar{x}_i$ відкладаються на одній карті, R_i – на іншій. Середнє арифметичне всіх R , $\bar{R}$, помножене на константу, що залежить від обсягу вибірки, використовується потім як оцінка $u_{1-\alpha/2}\sigma_{\bar{x}}$. Ця величина, в свою чергу, додається до загальної середньої $\bar{\bar{x}}$ і віднімається від нього. В результаті виходять межі регулювання: $\bar{\bar{x}} \pm (\text{оцінка } u_{1-\alpha/2}\sigma_{\bar{x}})$.

По k вибіркам обсягу n обчислимо математичне очікування сукупності $E(X)$.

$$E(X) = k^{-1} \sum_i \bar{x}_i = (kn)^{-1} \sum_{i,j} x_{i,j} \quad (2.1)$$

Даному математичному очікуванню відповідає так звана *центральна лінія* (ЦЛ). Оскільки згідно з [91], поступові відмови ТЗ, для яких доцільно застосовувати профілактичні заходи, підпорядковуються нормальному закону розподілу, межами регулювання слугитимуть значення $3\sigma_{\bar{x}}$, відкладені вгору і вниз від $\bar{\bar{x}}$. Для отримання $3\sigma_{\bar{x}}$ -меж були розраховані таблиці величин A_2 , що залежать від обсягу вибірки і таких, що $A_2\bar{R}$ відповідає значенню $3\sigma_{\bar{x}}$. Верхня (ВКМ) і нижня (НKM) межі карти рівні:

$$\bar{\bar{x}} \pm A_2\bar{R} \quad (2.2)$$

де $\bar{R} = k^{-1} \sum_i R_i$ [94].

Критерії виявлення несправностей.

Правило Шухарта полягає в тому [95, 96, 97], що спеціальний чинник, наявність якого робить виробничу систему нестабільною, є присутнім тоді, коли значення контрольованого параметру виходить за межі будь-якої з контрольних границь. Крім того, згідно з критеріями Нельсона сигналом наявності спеціального чинника також є розташування 9 точок поспіль з однієї сторони центральної лінії, або безперервне збільшення чи зменшення контрольованої величини в 6 послідовних точках [95, 96].

Також автобус доцільно направляти на поглиблене діагностування з метою виявлення несправності якщо має виконуватися одна з умов:

- точка розташована вище ВКМ;
- шість підряд зростаючих точок;
- дві із трьох або дві із чотирьох послідовних точок розташовані вище або нижче лінії $+2\sigma$;
- із п'яти послідовних точок три розташовані вище лінії $+\sigma$ та одна вище лінії $+2\sigma$;
- точка розташована нижче НКМ;
- шість підряд спадаючих точок;
- дві із трьох або три із чотирьох послідовних точок розташовані нижче лінії -2σ ;
- із п'яти послідовних точок три розташовані нижче лінії $-\sigma$ та одна нижче лінії -2σ [96].

2.3. Методика визначення базової витрати палива міських автобусів

Як було зазначено в розділі 1, найбільший вплив на витрату палива мають конструктивні особливості АТЗ, умови його експлуатації, атмосферно-кліматичні умови та природні зміни технічного стану, які виникають в процесі використання за призначенням.

Конструктивні особливості визначають мінімальне значення витрати палива, яке є початковою точкою відліку для нормування. Дані значення можна отримати з технічних характеристик автобуса.

Як було зазначено в п. 1.1, однією з ключових особливостей міських пасажирських перевезень є жорстко сплановані за часом та протяжністю маршрути з частими зупинками, гальмуваннями, поворотами та прискореннями, інтенсивним рухом автотранспорту і стійким середнім пасажиропотоком. Виходячи з цього можна припустити, що для кожного з маршрутів є певні характерні умови експлуатації, які циклічно повторюються. Урахувати ці умови експлуатації можливо через інтегральний показник складності маршруту k_{cm} .

Інакше кажучи, витрата палива новим автобусом на певному маршруті буде дорівнювати:

$$Q_i' = Q_{nac} \cdot k_{cm} \quad (2.3)$$

де Q_i' – фактична витрата палива на i -му маршруті при 20°C;

Q_{nac} – витрата палива за технічною характеристикою.

Тоді:

$$k_{cm} = \frac{Q_i'}{Q_{nac}} \quad (2.4)$$

Даний коефіцієнт можна отримати розрахунковим методом, шляхом визначення витрати палива Q_i' на конкретному маршруті за допомогою математичної моделі.

Вплив атмосферно-кліматичних умов можна врахувати через коефіцієнт коригування за температурою навколишнього середовища k_t . У роботі [98] експериментально підтверджено, що зміна витрати палива від температури навколишнього середовища описується поліномом другого ступеня. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що якщо проводити корегування паспортної витрати палива за критерієм температури навколишнього середовища, то температурний коефіцієнт повинен описуватись рівнянням:

$$k_t = a_1 t^2 + b_1 t + c_1 \quad (2.5)$$

де t – температура навколишнього середовища, °C;

a_1, b_1, c_1 – коефіцієнти полінома.

Природні зміни технічного стану, які виникають в процесі використання автобуса за призначенням, будемо враховувати за допомогою коефіцієнту коригування норми витрати палива за терміном експлуатації, який позначимо k_T .

В основу методики визначення даного коефіцієнту покладемо підхід, представлений в п. 2.2, а саме те, що залежність витрати палива від пробігу описується квадратичним рівнянням. Оскільки мова йде про міські автобуси, які виконують соціальне замовлення на пасажирські перевезення, а отже постійно знаходяться в роботі, справедливим буде припустити, що період експлуатації та пробіг, в даному випадку, мають пряму кореляцію. Тоді:

$$k_T = a_2 T_e^2 + b_2 T_e + c_2 \quad (2.6)$$

де T_e – період експлуатації автобуса в місяцях;
 a_2, b_2, c_2 – коефіцієнти полінома.

Отже, базова витрати палива буде визначатись за формулою:

$$Q_n = Q_{nac} \cdot k_{cm} \cdot k_t \cdot k_T \quad (2.7)$$

2.4. Моделювання руху автобуса на маршруті

Під час руху автобуса маршрутом, від зупинки до зупинки, двигун та інші його агрегати працюють у таких характерних режимах:

- холостий хід;
- розгін;
- усталений рух з певною швидкістю;
- вибіг;
- гальмування до повної зупинки.

Оскільки більшість з цих режимів характеризують неусталений рух, тому для розрахунків необхідно використати диференціальне рівняння руху [99]:

$$\frac{dv}{dt} \cdot G_a \cdot \delta_{об} = P_{ко} - \sum P_i \quad (2.8)$$

де $\delta_{об}$ – коефіцієнт урахування обертових мас;

$P_{ко}$ – повна колова сила на ведучих колесах, Н;

$\sum P_i$ – сума сил опору руху, Н.

Коефіцієнт урахування обертових мас визначається за формулою:

$$\delta_{об} = 1 + \frac{J_D \cdot u_{\kappa}^2 \cdot \eta_{mp} + \sum J_{\kappa}}{G_a \cdot r_{\partial} \cdot r_{\kappa}} \quad (2.9)$$

Повна маса автобуса G_a представляє собою суму власної маси та маси усіх пасажирів і, зазвичай, наводиться у технічній характеристиці. Якщо необхідно врахувати часткове завантаження автобуса, це можна зробити шляхом добутку певного відсотка передбаченої конструкцією пасажиромісткості та умовної маси одного пасажиря (68 кг) [111]:

$$m_n = G_a \cdot n_n \quad (2.10)$$

де G_{yn} – умовна маса одного пасажирів, кг;

n_n – пасажиромісткість автобуса, прийнята для розрахунків, чоловік.

Динамічний радіус колеса визначається за формулою:

$$r_d = 0,5d + \lambda_{ш} B_{ш} \quad (2.11)$$

де d – діаметр обода (визначається з маркування шини);

$B_{ш}$ – висота профілю (визначається з маркування шини);

$\lambda_{ш}$ – радіальна деформація профілю; $\lambda_{ш} = 0,89 \dots 0,9$.

Радіус кочення визначається експериментальним вимірюванням шляху S , який пройшло колесо за кількість обертів n_k :

$$r_k = S / 2\pi n_k \quad (2.12)$$

Визначення динамічного радіусу та радіусу кочення колеса за формулами (2.11) та (2.12) є пріоритетним при розрахунках. Проте, за відсутності експериментальних даних, допускається приймати, що статичний радіус дорівнює динамічному і дорівнює радіусу кочення при відсутності ковзання в пятні контакту. Статичний радіус наводиться в стандартах на шини.

Момент інерції J_D маховика двигуна і деталей трансмісії, зв'язаних з ним, наводиться в спеціальній літературі. Для дизелів $J_D = 1,6 \dots 4,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ [99].

Момент інерції колеса J_k наводиться в спеціальній літературі. Для сучасних міських автобусів використовуються шини 275/70 R22,5 [100], у яких $J_k = 12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Для визначення коефіцієнту обертових мас, при відсутності значень J_d і J_k , може використовуватися емпірична формула:

$$\delta_{вр} = 1 + (0,04 \dots 0,06) \cdot u_k^2 + (0,008 \dots 0,013) \quad (2.13)$$

де u_k – передаточне число коробки передач на відповідній передачі.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії $\eta_{тр}$ представляє собою добуток ККД усіх її агрегатів. У першому наближенні приймаємо значення ККД $\eta_{тр} = 0,84$ [50].

З достатньою для практичних розрахунків точністю і з урахуванням умов експлуатації міських автобусів повна колова сила на колесах $P_{ко}$ може визначатися за формулою тягової сили:

$$P_{\kappa o} \approx P_T = M_{\partial} \cdot \eta_{mp} \cdot u_{\kappa} / r_{\partial} \quad (2.14)$$

де M_{∂} – крутний момент двигуна, що встановлений на автомобіль, Н·м.

Отже, для отримання аналітичного виразу вихідними даними служать: залежність $M_{\partial} = f(\omega_e)$ і рівняння зв'язку між швидкістю руху і кутовою швидкістю обертання валу двигуна:

$$v = \omega_e \cdot r_{\kappa} / u_{\kappa} \quad (2.15)$$

В якості вихідної залежності $M_{\partial} = f(\omega_e)$ рекомендується використовувати реальну зовнішню характеристику двигуна, отриману при його стендових випробуваннях.

Якщо відомі тільки дві точки характеристики двигуна: N_{max} і ω_N , M_{max} і ω_M , то спочатку розраховується характеристика $M_e = f(\omega_e)$ за методикою, наведеною в роботі [40]:

$$M_e = M_N \cdot [a + b \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + c \cdot (\frac{\omega_e}{\omega_N})^2] \quad (2.16)$$

$$\text{де } M_N = 9550 \frac{N_{max}}{\omega_N}; a = \frac{k_M k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}{k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}; b = \frac{2k_{\omega} (k_M - 1)}{k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}; c = \frac{k_{\omega}^2 (k_M - 1)}{k_{\omega} (2 - k_{\omega}) - 1}$$

$k_M = \frac{M_{e,max}}{M_N}$ – коефіцієнти пристосовності за моментом;

$k_{\omega} = \frac{\omega_N}{\omega_M}$ – коефіцієнти пристосовності за кутовою швидкістю [40].

Наведені в довідковій літературі і технічних характеристиках дані зовнішніх характеристик двигунів відповідають умовам стендових випробувань, які значно відрізняються від реальних умов експлуатації на автомобілі. Тому числові значення стендової характеристики слід помножити на «коефіцієнт корегування» K_p :

$$M_{\partial} = M_e \cdot K_p \quad (2.17)$$

Оскільки на автобусах МАЗ використовуються німецькі двигуни OM 906 hLa, то приймаємо $K_p = 0,9 \dots 0,92$, як для двигунів, що випробовуються за стандартами DIN [99].

У роботі [40] зазначено, що при розрахунках показників тягово-швидкісних властивостей більш зручним є використання залежності $M_e = f(\omega_e)$ у вигляді:

$$M_e = a \cdot \omega_e + b \cdot \omega_e + c \quad (2.18)$$

де a, b, c – сталі коефіцієнти, котрі визначаються з експериментальних зовнішніх швидкісних характеристик або за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа:

$$\begin{aligned} a &= \frac{M_{e\min}}{A_{11}} + \frac{M_{e\max}}{A_{12}} + \frac{M_N}{A_{13}} \\ b &= \frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{e\min}}{A_{11}} + \frac{(\omega_{\min} + \omega_N) \cdot M_{e\max}}{A_{12}} + \frac{(\omega_M + \omega_{\min}) \cdot M_N}{A_{13}} \\ c &= M_{e\min} \frac{(\omega_N + \omega_M)}{A_{11}} + M_{e\max} \frac{(\omega_{\min} + \omega_N)}{A_{12}} + M_N \frac{(\omega_M + \omega_{\min})}{A_{13}} \end{aligned} \quad (2.19)$$

де $A_{11} = \omega_{\min}^2 - \omega_{\min}(\omega_N + \omega_M) + \omega_N \omega_M$;

$$A_{12} = \omega_M^2 - \omega_M(\omega_{\min} + \omega_N) + \omega_N \omega_{\min};$$

$$A_{13} = \omega_N^2 - \omega_N(\omega_M + \omega_{\min}) + \omega_M \omega_{\min};$$

$M_{e\min}$ – мінімальний крутний момент;

$\omega_{\min}$ – усталена мінімальна частота обертання колінчастого вала двигуна,

$$\omega_{\min} = (0,3 \dots 0,4) \omega_N.$$

З урахуванням залежності $M_e = f(\omega_e)$ та рівняння (2.7) колова сила на ведучих колесах визначиться [99]:

$$P_{\kappa o} = A_i v^2 + B_i v + C_i \quad (2.20)$$

де $A_i = a \frac{u_{\kappa}^3 \cdot \eta_{mp} \cdot K_p}{r_o r_{\kappa}^2}$; $B_i = b \frac{u_{\kappa}^2 \cdot \eta_{mp} \cdot K_p}{r_o r_{\kappa}}$; $C_i = c \frac{u_{\kappa} \cdot \eta_{mp} \cdot K_p}{r_o}$.

Сума сил опору у разі прямолінійного руху автобуса може складатися з трьох складових:

$$\Sigma P_i = P_f + P_i + P_{\epsilon} \quad (2.21)$$

де P_f – сила опору кочення;

P_i – сила опору підйому;

P_{ϵ} – сила опору повітря.

Сила опору кочення визначається за формулою:

$$P_f = f \cdot G_a \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (2.22)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

α – поздовжній кут нахилу дороги;

f – коефіцієнт опору кочення.

$$f = f_0 + k_f v^2 \quad (2.23)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню при малій швидкості. У тих випадках, коли дійсне значення k_f невідоме, рекомендується приймати $k_f = 7 \cdot 10^{-6}$ [40].

Сила опору підйому є складовою сили тяжіння:

$$P_i = \pm G_a \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (2.24)$$

Сила опору повітря визначається за формулою:

$$P_e = K_B \cdot F \cdot v^2 \quad (2.25)$$

де K_B – коефіцієнт обтічності, $K_B = 0,5 \dots 0,9$ кг/м³;

F – лобова площа автобуса. Лобову площу можна визначити за формулою:

$$F = B \cdot H_z \quad (2.26)$$

де B – ширина колії;

H_z – габаритна висота.

Визначення параметрів тягово-швидкісних властивостей автобуса виконаємо за методикою, наведеною в роботі [99].

Визначення параметрів розгону.

Для визначення характеристик розгону використаємо диференціальне рівняння руху у вигляді [99]:

$$\frac{dv}{dt} G_a \delta_{об} = a_i v^2 + b_i v + c_i \quad (2.27)$$

де $a_i = A_i - K_B F$; $b_i = B_i - K_f G_a g \cdot \cos(\alpha)$; $c_i = C_i - G_a g \cdot (f_0 \cos(\alpha) - \sin(\alpha))$.

Розділивши змінні та проінтегрувавши праву і ліву частини рівняння (2.19), отримаємо рівняння для розрахунку часу розгону в діапазоні від початкової швидкості v_n до кінцевої v_k .

$$\tau = G_a \delta_{об} \int_{v_n}^{v_k} \frac{dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} \quad (2.28)$$

Даний інтеграл є табличним і вирішується в залежності від знаку дискримінанту Δ .

При $\Delta = b_i^2 - 4a_i c_i < 0$

$$\tau = \frac{2G_a\delta_{об}}{\sqrt{-\Delta}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{2a_i v + b_i}{\sqrt{-\Delta}} \Big|_{v_n}^{v_k} \quad (2.29)$$

При $\Delta > 0$

$$\tau = \frac{G_a\delta_{об}}{a_i(p-q)} \cdot \ln \left| \frac{v-p}{v-q} \right| \Big|_{v_n}^{v_k} \quad (2.30)$$

де p і q – корені рівняння $a_i v^2 + b_i v + c_i = 0$.

Для визначення шляху розгону потрібно ліву частину диференційного рівняння (2.19) помножити та розділити на ΔS :

$$\frac{dv}{dS} \cdot \frac{dS}{dt} G_a\delta_{об} = a_i v^2 + b_i v + c_i \quad (2.31)$$

Проте $\frac{dS}{dt} = v$, тому розділивши змінні і проінтегрувавши рівняння, отримуємо:

$$S = G_a\delta_{об} \int_{v_n}^{v_k} \frac{v dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} \quad (2.32)$$

Інтеграл формули (2.24) являється табличним.

Шлях розгону в діапазоні зміни швидкостей $v_n \dots v_k$:

$$S = G_a\delta_{об} \left(\frac{1}{2a_i} \ln(a_i v^2 + b_i v + c_i) \Big|_{v_n}^{v_k} - \frac{b_i}{2a_i} \int_{v_n}^{v_k} \frac{dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} \right) \quad (2.33)$$

Враховуючи, що інтеграл у формулі (2.33), помножений на $G_a\delta_{об}$, визначає час τ , отримаємо формулу для визначення шляху розгону:

$$S = \frac{1}{2a_i} (G_a\delta_{об} \ln(a_i v^2 + b_i v + c_i) \Big|_{v_n}^{v_k} - b_i \tau) \quad (2.34)$$

При розрахунках розгону автобуса, початкова швидкість на нижчій передачі $v_{н1} = 0$, а кінцева швидкість відповідає номінальній кутовій швидкості двигуна, тобто:

$$v_{к1} = \frac{\omega_N r_k}{u_{mp}} \quad (2.35)$$

Час перемикання передач для міських автобусів залежить від типу коробки передач – механічна або автоматична. Як правило, на сучасних міських

автобусах встановлюється автоматична коробка передач, а отже, час перемикання передач залежить від її конструктивних особливостей. Для механічних коробок передач, окрім конструктивних особливостей, на час перемикання впливає також кваліфікація водія. В роботі [99] зазначено, що при розгоні спостерігається стійка лінійна залежність між швидкістю руху та часом перемикання передач, яка описується залежністю:

$$t_n = (0,01 \dots 0,02)v \quad (2.36)$$

Визначення параметрів вибігу.

При «вибігу» диференціальне рівняння руху автобуса (2.8) приймає вигляд:

$$\frac{dv}{dt} G_a \delta'_{об} = -G_a g (f_0 + K_f v) - K_B F v^2 - P_{fx}, \quad (2.37)$$

де при P_{fx} = сила опору від витрат потужності трансмісії при «вибігу».

Дане рівняння може бути представлене у вигляді, аналогічному рівнянню при розгоні:

$$\frac{dv}{dt} G_a \delta'_{об} = a' v^2 + b' v + c' \quad (2.39)$$

де при $P_{fx} = \text{const}$; $a' = -K_B F$; $b' = -G_a g K_f$; $c' = -G_a g f_0 - P_{fx}$.

Відповідно, час та шлях «вибігу» можуть бути визначені за формулами (2.30) та (2.34). Коефіцієнт обертових мас при «вибігу» визначається за формулою:

$$\delta'_{об} = \frac{r_{\kappa}}{r_{\partial}} + \frac{\sum J_{\kappa}}{G_a r_{\kappa} r_{\partial}} \quad (2.39)$$

Диференціальне рівняння (2.38) також використовується для точного визначення зменшення швидкості руху за час перемикання передач.

Гранична (критична) швидкість усталеного криволінійного руху.

Гранична (критична) швидкість усталеного криволінійного руху автобуса, без урахування деформації підвіски та шин, може бути обмежена за перевертанням та за зчепленням (заносом) і визначена за методикою, наведеною в роботі [99].

Момент перевертання створюється поперечною складовою відцентрової сили:

$$M_{пер} = \frac{G_a v^2 h_g}{R} \quad (2.40)$$

де h_g – висота центру мас, м;

R – радіус повороту, м.

Відновлювальний момент створюється силою тяжіння:

$$M_{від} = 0,5 G_a g B \quad (2.41)$$

де B – колія транспортного засобу, м.

Прирівнюючи праві частини формул (2.40) та (2.41), після перетворення отримаємо:

$$v_{кр} = 2,21 \sqrt{\frac{BR}{h_g}} \quad (2.42)$$

Граничну (критичну) швидкість усталеного криволінійного руху по зчепленню знаходимо з умови рівності поперечної складової відцентрової сили інерції і сумарної бокової реакції усіх коліс автобуса, максимальної по зчепленню:

$$v_{кр\phi} = 3,13 \sqrt{\phi_y R} \quad (2.43)$$

де ϕ_y – коефіцієнт зчеплення шин з дорогою.

Максимальна швидкість руху в повороті приймається рівною найменшому із значень, отриманих за формулами (2.42) та (2.43), проте не більша, ніж визначено правилами дорожнього руху.

Час гальмування.

Увесь процес гальмування складається з п'яти послідових етапів [43]:

– період від моменту, коли водій приймає рішення про необхідність гальмування, до початку гальмування називається часом реакції водія і приймається в межах $\tau_{рв} = 0,2 \dots 1,5$ с;

– після початку гальмування час τ_z , який називається часом запізнювання гальмування, витрачається на переміщення елементів гальмівного приводу на величину зазорів, наявних між ними в неробочому положенні, наростання тиску рідини або повітря в трубопроводах і робочих апаратах гідравлічного або

пневматичного приводу до значення, необхідного для подолання зусиль зворотних пружин колодок і переміщення колодок до зіткнення їх фрикційних накладок з гальмівними дисками або барабанами. Час τ_3 залежить від типу гальмівного приводу і гальмівних механізмів, а також технічного стану гальмівної системи. У технічно справної гальмівної системи з гідроприводом і дисковими гальмівними механізмами $\tau_3 = 0,05...0,07$ с, з барабанними гальмівними механізмами $\tau_3 = 0,15...0,20$ с, у системах з пневмоприводом $\tau_3 = 0,2...0,4$ с [43];

– з моменту зіткнення фрикційних елементів гальмівних механізмів сповільнення збільшуються від нуля до значення, що відповідає сталому значенню сил, які приводять у дію гальмівні механізми. Час τ_n , що витрачається на цей процес, називають часом наростання сповільнення і може змінюватися в межах $\tau_n = 0,05...2$ с. Загальний час спрацювання гальмівного приводу дорівнює $\tau_{cn} = \tau_3 + \tau_n$;

– після досягнення максимального зусилля на педалі вважається, що сповільнення залишається сталим, тому час $\tau_{уст}$ називають часом усталеного сповільнення;

– час τ_p від початку відпускання педалі гальм до виникнення зазорів між фрикційними елементами називають часом розгальмовування. При розрахунках параметрів процесу гальмування даний період не враховується, оскільки кінець попереднього етапу відповідає повній зупинці транспортного засобу.

Гальмівний шлях за час визначається за формулою [112]:

$$S_z = v(\tau_{pv} + \tau_3 + 0,5\tau_n) + \frac{v^2}{2j_{уст}} \quad (2.44)$$

де $j_{уст}$ – усталене сповільнення, м / с².

Усталене сповільнення визначається за залежністю [43]:

$$j_{уст} = \frac{P_z \cdot g}{100 \cdot G_a} \quad (2.45)$$

де P_z – гальмівна сила, Н.

Загальний час гальмування визначається за відношенням:

$$\tau_z = \sqrt{\frac{S_z}{j_{yct}}} \quad (2.46)$$

Витрату палива при розгоні та повному використанні потужності двигуна визначимо за методикою, наведеною в роботі [99].

Для визначення витрати палива при розгоні автобуса, розглянемо взаємозв'язок трьох параметрів: витраченого палива dQ за час dt при зміні швидкості на dv . Позначимо відношення $dQ / dv = q_j$ і назовемо його коефіцієнтом витрати палива. Проте, $dQ = Q_{oc}dt$, де Q_{oc} – секундна витрата палива. Отже, $q_j = Q_{oc}dt / dv = Q_{oc} / j$. Підставимо отримане значення коефіцієнта витрати палива в перше відношення і, розділивши змінні, отримаємо диференціальне рівняння витрати палива $dQ = Q_{oc}dv / j$. Змінні Q_{oc} та j , що входять в праву частину, можуть бути представлені як функції швидкості:

$$Q_{oc} = a_{Qc}v^2 + b_{Qc}v + c_{Qc} \quad (2.47)$$

$$j = \frac{dv}{dt} = \frac{1}{G_a \delta_{об}} (a_i v^2 + b_i v + c_i)$$

Відповідно,

$$Q = G_a \delta_{об} \int_{v_n}^{v_k} \frac{a_{Qc}v^2 + b_{Qc}v + c_{Qc}}{a_i v^2 + b_i v + c_i} dv$$

або

$$Q = G_a \delta_{об} \left[a_{Qc} \int_{v_n}^{v_k} \frac{v^2 dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} + b_{Qc} \int_{v_n}^{v_k} \frac{v dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} + c_{Qc} \int_{v_n}^{v_k} \frac{dv}{a_i v^2 + b_i v + c_i} \right]$$

Добуток $G_a \delta_{об}$ на другий інтеграл є шлях S_i , що автобус пройшов в межах зміни швидкості $v_n \dots v_k$, а добуток $G_a \delta_{об}$ на третій інтеграл – τ_i . Перший інтеграл є табличним. Після відповідних перетворень формула витрати палива на ділянці зі змінною швидкістю в діапазоні $v_n \dots v_k$ прийме вигляд:

$$Q_i = a_{Qc} G_a \delta_{об} \left(\frac{v_k - v_n}{a_i} - \frac{b_i}{2a_i^2} \ln \left| \frac{a_i v_k^2 + b_i v_k + c_i}{a_i v_n^2 + b_i v_n + c_i} \right| \right) + \tau_i (c_{Qc} + a_{Qc} \frac{b_i^2 - 2a_i c_i}{2a_i^2}) + b_{Qc} S_i \quad (2.48)$$

У формулу секундної витрати палива (2.47) та в формулу (2.48) входять коефіцієнти апроксимуючого рівняння секундної витрати палива a_{Qc} , b_{Qc} , c_{Qc} , які визначаються наступним чином.

Вихідною є графічна характеристика питомої витрати палива g_e в залежності від кутової швидкості колінчастого валу двигуна ω_e , яка зазвичай приводиться на графіку зовнішньої швидкісної характеристики двигуна.

Далі за допомогою формули $Q_0 = g_e N_e / 1000$ розраховуємо годинну витрату палива Q_0 при певній кутовій швидкості валу двигуна. Аналітично ця залежність описується поліномом другого ступеня:

$$Q_0 = a_Q \omega_e^2 + b_Q \omega_e + c_Q \quad (2.49)$$

в якому коефіцієнти a_Q , b_Q і c_Q визначаємо за інтерполяційною формулою Лагранжа або будь-яким іншим відомим методом.

За допомогою рівняння зв'язку $\omega_e = \frac{v \cdot r_\kappa}{u_{mp}}$ переводимо рівняння (2.49) в рівняння секундної витрати палива (2.47), у якого коефіцієнти рівні:

$$a_{Qc} = \frac{a_Q u_i^2}{3600 r_\kappa^2}; \quad b_{Qc} = \frac{b_Q u_i}{3600 r_\kappa}; \quad c_{Qc} = \frac{c_Q}{3600} \quad (2.50)$$

Витрату палива при частковому використанні потужності визначимо за методикою, наведеною в роботі [102].

Витрата палива при частковому використанні потужності визначається на основі математичної моделі двигуна, яка дозволяє встановити значення годинної витрати палива в залежності від режиму його роботи – за відомих частоти обертання та крутного моменту на валу двигуна (або коефіцієнта використання потужності двигуна). Така залежність може бути побудована на основі дванадцяти відомих (опорних) значень годинної витрати палива двигуна, виміряних при випробуваннях двигуна за Правилom ЄЕК ООН № 49 [101] в умовах випробувального циклу ESC. Даний випробувальний цикл складають 13 режимів роботи двигуна, один з яких – режим холостого ходу, решта 12 режимів «перекривають» робочий діапазон частот обертання та навантажень двигуна (площина s на рисунку 2.8). Витрату палива в режимі холостого ходу визначимо

окремо. Опорні значення годинних витрат палива, визначених для решти 12 режимів, формують поверхню s' (рисунок 2.8), яка складається з точок, що визначають годинну витрату палива для будь-якого режиму роботи двигуна.

Аналітична інтерпретація зазначеної математичної моделі базується на розв'язанні системи з 12 умов [102]:

$$G(n_A, M_{100A}) = G_{100}^A, G(n_B, M_{50B}) = G_{50}^B, G(n_B, M_{75B}) = G_{75}^B,$$

$$G(n_A, M_{50A}) = G_{50}^A, G(n_A, M_{75A}) = G_{75}^A, G(n_A, M_{25A}) = G_{25}^A,$$

$$G(n_B, M_{100B}) = G_{100}^B, G(n_B, M_{25B}) = G_{25}^B, G(n_C, M_{100C}) = G_{100}^C,$$

$$G(n_C, M_{25C}) = G_{25}^C, G(n_C, M_{75C}) = G_{75}^C, G(n_C, M_{50C}) = G_{50}^C,$$

де $G(n_i, M_j)$ – значення годинної витрати палива, визначене за допомогою математичної моделі для режиму роботи двигуна, який характеризується частотою обертання n_i та крутним моментом M_j ,

G_X^Y – годинна витрата палива, виміряна при випробуваннях двигуна в режимі циклу ESC, за якого встановлені крутний момент – X, а частота обертання – Y.

Годинна витрата палива визначається за двовимірною функцією виду:

$$G(n, M) = A(M) \cdot n^2 + B(M) \cdot n + C(M), \text{ кг/год.} \quad (2.51)$$

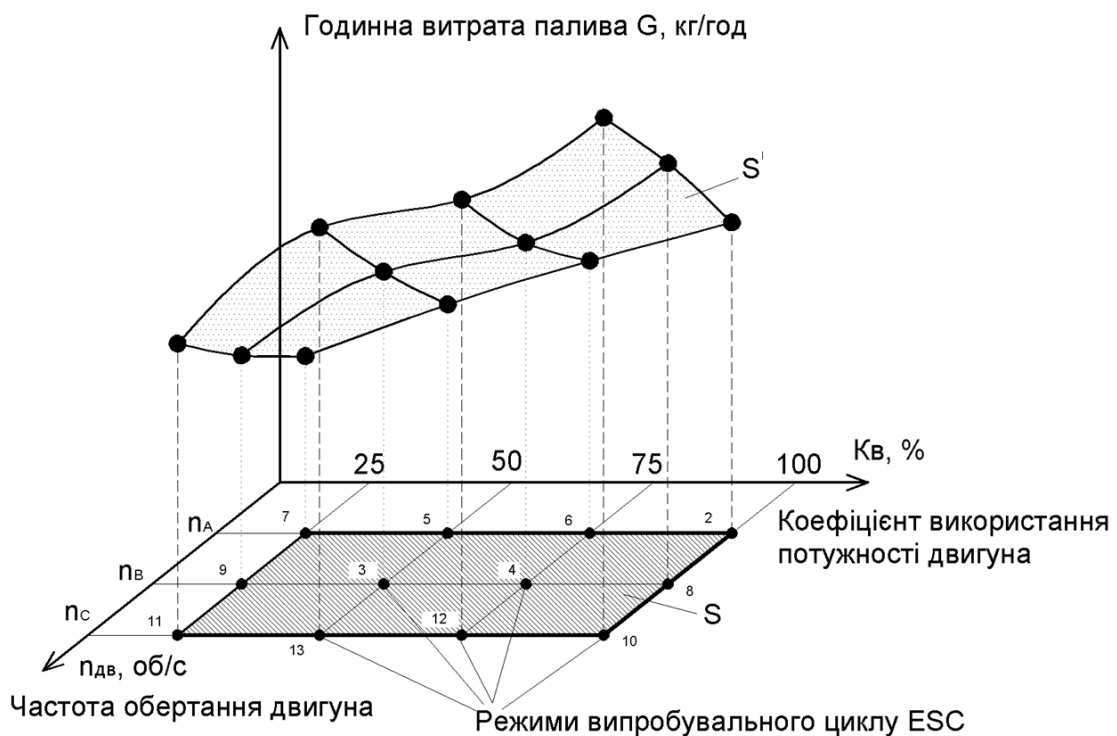


Рисунок 2.8 – До визначення годинної витрати палива [102]

Коефіцієнти $A(M)$, $B(M)$, $C(M)$ залежать лише від поточного крутного моменту та опорних частот обертання [102]:

$$A(M) = K_{a1} \cdot X_1(M) + K_{a2} \cdot X_2(M) + K_{a3} \cdot X_3(M), \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{год},$$

$$B(M) = K_{b1} \cdot X_1(M) + K_{b2} \cdot X_2(M) + K_{b3} \cdot X_3(M), \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{год},$$

$$C(M) = K_{c1} \cdot X_1(M) + K_{c2} \cdot X_2(M) + K_{c3} \cdot X_3(M), \text{ кг} / \text{год},$$

де

$$K_{a1} = \frac{(n_B - n_C)}{(n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)}, \text{ с}^2,$$

$$K_{a2} = \frac{(n_C - n_A)}{(n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)}, \text{ с}^2,$$

$$K_{a3} = \frac{(n_A - n_B)}{(n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)}, \text{ с}^2$$

$$K_{b1} = \frac{n_A n_B^2 - n_B^2 n_C - n_A n_C^2 + n_C^3}{(n_C - n_A) \cdot (n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)}, \text{ с},$$

$$K_{b2} = \frac{n_A^2 n_C - n_C^3 - n_A^3 + n_C^3 + n_A n_C^2}{(n_C - n_A) \cdot (n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)}, \text{ с},$$

$$K_{b3} = \frac{n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^3}{(n_C - n_A) \cdot (n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)}, \text{ с},$$

$$K_{c1} = \frac{n_B^2 n_C^2 - n_A n_B^2 n_C - n_B n_C^3 + n_A n_B n_C^2}{(n_C - n_A) \cdot (n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)},$$

$$K_{c2} = \frac{n_A^3 n_C - n_A n_C^3 - 2n_A^2 n_C^2}{(n_C - n_A) \cdot (n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)},$$

$$K_{c3} = \frac{n_A^2 n_B n_C - n_A^3 n_B - n_A n_B^2 n_C + n_A^2 n_B^2}{(n_C - n_A) \cdot (n_B^2 n_C - n_A n_B^2 - n_A^2 n_C + n_A^2 n_B - n_B n_C^2 + n_A n_C^2)},$$

$$X_1(M) = a_1 \left(\frac{M}{M_0} \right)^3 + b_1 \left(\frac{M}{M_0} \right)^2 + c_1 \left(\frac{M}{M_0} \right) + d_1, \text{ кг} / \text{год},$$

$$X_2(M) = a_2 \left(\frac{M}{M_0} \right)^3 + b_2 \left(\frac{M}{M_0} \right)^2 + c_2 \left(\frac{M}{M_0} \right) + d_2, \text{ кг} / \text{год},$$

$$X_3(M) = a_3 \left(\frac{M}{M_0} \right)^3 + b_3 \left(\frac{M}{M_0} \right)^2 + c_3 \left(\frac{M}{M_0} \right) + d_3, \text{ кг} / \text{год},$$

де M_0 – крутий момент на валу двигуна в режимі повного навантаження.

Для дизеля, поліноміальні коефіцієнти при поточних значеннях крутних моментів визначаються за універсальними рівняннями [102]:

$$a_1 = -10,667X_{25}^A + 32X_{50}^A - 32X_{75}^A + 10,667X_{100}^A, \text{ кг/год},$$

$$a_2 = -10,667X_{25}^B + 32X_{50}^B - 32X_{75}^B + 10,667X_{100}^B, \text{ кг/год},$$

$$a_3 = -10,667X_{25}^C + 32X_{50}^C - 32X_{75}^C + 10,667X_{100}^C, \text{ кг/год},$$

$$b_1 = 24X_{25}^A - 64X_{50}^A + 56X_{75}^A - 16X_{100}^A, \text{ кг/год},$$

$$b_2 = 24X_{25}^B - 64X_{50}^B + 56X_{75}^B - 16X_{100}^B, \text{ кг/год},$$

$$b_3 = 24X_{25}^C - 64X_{50}^C + 56X_{75}^C - 16X_{100}^C, \text{ кг/год},$$

$$c_1 = -17,333X_{25}^A + 38X_{50}^A - 28X_{75}^A + 7,333X_{100}^A, \text{ кг/год},$$

$$c_2 = -17,333X_{25}^B + 38X_{50}^B - 28X_{75}^B + 7,333X_{100}^B, \text{ кг/год},$$

$$c_3 = -17,333X_{25}^C + 38X_{50}^C - 28X_{75}^C + 7,333X_{100}^C, \text{ кг/год},$$

$$d_1 = 4X_{25}^A - 6X_{50}^A + 4X_{75}^A - X_{100}^A, \text{ кг/год},$$

$$d_2 = 4X_{25}^B - 6X_{50}^B + 4X_{75}^B - X_{100}^B, \text{ кг/год},$$

$$d_3 = 4X_{25}^C - 6X_{50}^C + 4X_{75}^C - X_{100}^C, \text{ кг/год}.$$

Фактично, відношення M / M_0 представляє собою коефіцієнт використання потужності двигуна, який можна визначити за формулою [99]:

$$K_{вк_i} = \frac{G_a g (f_0 + K_f v) \cos \alpha \pm G_a g \sin \alpha + K_B F v^2}{A_i v^2 + B_i v + C_i} \quad (2.52)$$

Витрату палива на холостому ходу визначимо за методикою, наведеною в роботі [40].

Витрату палива на холостому ходу можна отримати за допомогою оборотної економічної характеристики. Для цього необхідно мати значення годинної витрати палива Q_0 , кг/год, та ефективної потужності N_e двигуна, зафіксованої відповідно до кількості обертів n_e колінчастого валу. Для кожного із значень n_e буде обчислено ряд відповідних витрат палива q_0 за один оберт валу, розрахованих як відношення Q_0 до кількості обертів валу n_e , хв⁻¹:

$$q_0 = \frac{16,7Q_0}{n_e}, \text{ г/об} \quad (2.53)$$

Відповідний до значення q_0 крутний момент двигуна визначається як $M_e = 1000N_e / n_e$, що дозволяє побудувати оборотну економічну характеристику. Для неї, за наслідками математичної обробки експериментальних даних із випробувань різних моделей двигунів, встановлена така емпірична залежність [40]:

$$q_0 = q_{0x} + \nu M_e \quad (2.54)$$

де q_{0x} – витрата палива при холостому ході двигуна, г/об;

M_e – крутний момент на валу, кНм;

ν – емпіричний коефіцієнт.

Значення q_{0x} та ν отримуємо шляхом апроксимації оборотної характеристики $q_0(M_e)$ лінійним рівнянням.

Секундну витрату палива на холостому ході можна визначити за формулою, кг/с:

$$Q_{cx} = \frac{q_{0x} n_x}{60 \cdot 1000} \quad (2.55)$$

де n_x – кількість обертів валу двигуна на холостому ході, хв⁻¹.

Витрата палива при роботі на холостому ході за певний час, кг:

$$Q_{xx} = Q_{cx} \cdot t_{xx} \quad (2.56)$$

де t_{xx} – час, який двигун працює на холостому ході, с.

Витрату палива при вибігу та гальмуванні будемо визначати виходячи з припущення, що після набору швидкості автобус переходить в режим вибігу і гальмує робочою гальмівною системою перед зупинками. Вибіг та гальмування умовно відбуваються з від'єднанням двигуна, тому витрата палива на цих режимах буде розраховуватись за тою самою методикою, що і при холостому ході.

Базова лінійна витрата палива автобусом на певному маршруті буде визначатися як сума витрат палива на i -му режимі руху. Фактичні режими руху на заданому маршруті можна отримали експериментальним шляхом.

Базова витрата палива автобусом певного періоду експлуатації за певної температури навколишнього середовища, що експлуатується на заданому маршруті буде визначатися як добуток лінійної витрати палива та коригуючих коефіцієнтів k_t та k_T .

Висновки за розділом 2

1. Проаналізовано кількісний та якісний склад парку автобусів КП «Київпастранс» та обґрунтовано рішення обрати автобуси моделі МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069 в якості об'єкта дослідження.

2. Обґрунтовано взаємозв'язок витрати палива зі змінами експлуатаційних властивостей рухомого складу та запропоновано використовувати карти Шухарта в якості інструменту прийняття рішення щодо зміни технічного стану автобуса за показником витрати палива в л/100 км.

3. Запропоновано методику визначення витрати палива в л/100 км як базового критерію для оцінки змін технічного стану міських автобусів.

4. Удосконалено математичну модель оцінки експлуатаційних властивостей транспортних засобів для проведення розрахунків витрати палива міськими автобусами при русі на заданому маршруті шляхом урахування впливу температури навколишнього середовища та змін у технічному стані в наслідок використання за призначенням.

5. Для математичного моделювання паливної економічності міських автобусів частину вихідних даних можливо отримати лише експериментальним шляхом.

РОЗДІЛ 3

МЕТА, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Мета і задачі експериментального дослідження

Метою експериментального дослідження є встановлення взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069 у визначених умовах експлуатації.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

1. Визначення параметрів маршрутів руху автобусів.
2. Збір та обробка статистичних даних щодо динаміки зміни погодних умов впродовж року.
3. Збір та обробка статистичних даних щодо несправностей автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069, які виникають в процесі їх експлуатації.
4. Збір та обробка статистичних даних про експлуатаційну витрату палива автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069.
5. Встановлення взаємозв'язку між експлуатаційною витратою палива, умовами експлуатації та технічним станом автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069.
6. Отримання вихідних даних для розрахунку показників паливної економічності на математичній моделі руху автобуса за фактичними швидкісними режимами міських пасажирських перевезень міста Києва.

3.2. Програма та об'єкт експериментального дослідження.

Експериментальні дослідження включали:

1. Визначення параметрів маршрутів м. Києва, на яких експлуатуються автобуси МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069.

2. Збір та обробку статистичних даних щодо динаміки зміни атмосферного тиску та температури навколишнього середовища в м. Києві в період з 1.01.2017 по 31.06.2018.

3. Збір та обробку статистичних даних щодо несправностей автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069, які виникають в процесі їх експлуатації в період з 1.01.2018 по 31.06.2018.

4. Збір та обробку статистичних даних про експлуатаційну витрату палива автобусів МАЗ 203.065, обладнаних дизелем Daimler OM 906 hLa EURO 3 з гідромеханічною трансмісією Voith Diwa D 851.3E та МАЗ 203.069, обладнаних дизелем Daimler OM 906 hLa EURO 5 з гідромеханічною трансмісією ZF 6HP 502C, отриманих з системи «Автоматизована система обліку транспортної роботи» Автобусного парку №2 м. Київ.

5. Визначення фактичних швидкісних режимів експлуатації автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069 на маршрутах м. Києва.

Об'єктами експериментальних досліджень були 41 автобус МАЗ 203.065, 2011...2012 років випуску, (рис. 3.1) з серійним рядним шестициліндровим двигуном Daimler OM 906 hLa EURO 3, з рідинною системою охолодження та гідромеханічною трансмісією Voith Diwa D 851.3E та 26 автобусів МАЗ 203.069, 2017...2018 років випуску, (рис. 3.2) з серійним рядним шестициліндровим двигуном Daimler OM 906 hLa EURO 5, рідинною системою охолодження та гідромеханічною трансмісією ZF 6HP 502C.



Рисунок 3.1 – Автобус МАЗ 203.065, бортовий номер 1743



Рисунок 3.2 – Автобус МАЗ 203.069, бортовий номер 8205

У таблиці 3.1 наведені технічні характеристики автобусів.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069

Параметр	Значення	
	МАЗ 203.065	МАЗ 203.069
1	2	3
Габарити та розміри:		
Довжина, мм	11980	
Ширина, мм	2550	
Висота	2774	
Колісна база, мм	5900	
Колеса, (шини)	275/70R22,5	
Номінальний тиск в шинах, МПа (бар)	0,9±0,025 (9±0,25)	
Дорожній просвіт, мм	120	
Номінальна пасажиромісткість (місць для сидіння), чол.	105 (26)	
Повна маса, кг	18000	

Споряджена маса, кг	10860	
Максимальна швидкість, км/год	105	
Максимальний кут підйому, % не менше	25	
Двигун	Daimler OM 906 hLa EURO 3	Daimler OM 906 hLa EURO 5
Опис	Рядний, 6-циліндровий, 4-итактний дизель с рідинним охолодженням, з турбонаддувом і охолоджувачем наддувочного повітря, з безпосереднім впорскуванням палива.	
Робочий об'єм, л	6,37	
Діаметр / хід поршня, мм	102 / 130	
Ступінь стиску	16,5	
Потужність, кВт (к.с.) / хв ⁻¹	170 (231) / 2200	210 (285) / 2200
Максимальний крутний момент, Н*м / хв ⁻¹	810 / 1200-1600	1120 / 1200-1600
Паливо	дизельне паливо	
Коробка передач	автоматична, з гидротрансформатором і гальмом-сповільнювачем, триступенева	автоматична, з гидротрансформатором і гальмом-сповільнювачем, шестиступенева
Модель	Voith Diwa D 851.3E	ZF 6HP-504C
Передаточні числа		
I передача	5,30÷6,10	3,43
II передача	1,36÷1,43	2,01
III передача	1,00	1,42
IV передача	-	1,0
V передача	-	0,83
VI передача	-	0,59
Задній хід	3,66÷5,50	4,84

Передня підвіска	Залежна, пневматична, двобалонна, з 2-ма амортизаторами, з одним регулятором положення кузова	
Задня підвіска	Залежна, пневматична, чотирьохбалонна, з двома регуляторами положення кузова	
Головна передача	конічна, гіпоїдного типу	
передаточне число	5,83	6,2
Гальмівна система	Пневматичний, з автоматичним регулюванням зазорів між колодками і барабанами, з ABS і ASR	
Передні гальма	Дискові	
Задні гальма	Барабанні	
Допоміжна гальмівна система	Гідравлічне гальмо-сповільнювач	
Рульове керування	Інтегрального типу з гідравлічним підсиленням	
Об'єм паливного бака, л	220	
Експлуатаційні показники		
Час розгону до 60 км/год, с	38	30
Витрата палива при 60 км/год, л/100 км	27	

Усі досліджувані автобуси було об'єднано в групи, у відповідності до початку їх експлуатації. Розподіл автобусів по групах наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розподіл автобусів по дослідним групам

Борт. номер	Модель	Початок експлуатації	Борт. номер	Модель	Початок експлуатації
<i>Група 1</i>			<i>Група 3</i>		
7273	МАЗ-203.065	Листопад 2011	1743	МАЗ-203.065	Червень 2012
7274	МАЗ-203.065	Листопад 2011	1744	МАЗ-203.065	Червень 2012
7275	МАЗ-203.065	Листопад 2011	1745	МАЗ-203.065	Червень 2012
7159	МАЗ-203.065	Грудень 2011	1746	МАЗ-203.065	Червень 2012
7160	МАЗ-203.065	Грудень 2011	1747	МАЗ-203.065	Червень 2012
7276	МАЗ-203.065	Січень 2012	1748	МАЗ-203.065	Червень 2012

7277	МА3-203.065	Січень 2012	1749	МА3-203.065	Червень 2012
7163	МА3-203.065	Лютий 2012	7296	МА3-203.065	Грудень 2012
7167	МА3-203.065	Лютий 2012	7297	МА3-203.065	Грудень 2012
7278	МА3-203.065	Лютий 2012	<u>Група 4</u>		
7279	МА3-203.065	Лютий 2012	8201	МА3-203.069	Лютий 2017
7280	МА3-203.065	Лютий 2012	8202	МА3-203.069	Лютий 2017
7281	МА3-203.065	Лютий 2012	8204	МА3-203.069	Лютий 2017
7282	МА3-203.065	Лютий 2012	8205	МА3-203.069	Лютий 2017
7283	МА3-203.065	Лютий 2012	8206	МА3-203.069	Лютий 2017
7284	МА3-203.065	Лютий 2012	8207	МА3-203.069	Лютий 2017
7285	МА3-203.065	Лютий 2012	8208	МА3-203.069	Лютий 2017
<u>Група 2</u>			8209	МА3-203.069	Лютий 2017
1738	МА3-203.065	Березень 2012	<u>Група 5</u>		
1739	МА3-203.065	Березень 2012	8211	МА3-203.069	Вересень 2017
1740	МА3-203.065	Березень 2012	8212	МА3-203.069	Вересень 2017
1741	МА3-203.065	Березень 2012	8213	МА3-203.069	Вересень 2017
1742	МА3-203.065	Березень 2012	8214	МА3-203.069	Вересень 2017
7286	МА3-203.065	Березень 2012	8215	МА3-203.069	Вересень 2017
7287	МА3-203.065	Березень 2012	8216	МА3-203.069	Жовтень 2017
7288	МА3-203.065	Березень 2012	8217	МА3-203.069	Жовтень 2017
7289	МА3-203.065	Березень 2012	8218	МА3-203.069	Жовтень 2017
7290	МА3-203.065	Березень 2012	8219	МА3-203.069	Жовтень 2017
7176	МА3-203.065	Квітень 2012	8220	МА3-203.069	Жовтень 2017
7291	МА3-203.065	Квітень 2012	<u>Група 6</u>		
7292	МА3-203.065	Квітень 2012	8221	МА3-203.069	Січень 2018
7294	МА3-203.065	Квітень 2012	8222	МА3-203.069	Січень 2018
7295	МА3-203.065	Квітень 2012	8223	МА3-203.069	Січень 2018
			8224	МА3-203.069	Січень 2018
			8225	МА3-203.069	Січень 2018
			8226	МА3-203.069	Січень 2018
			8227	МА3-203.069	Січень 2018
			8228	МА3-203.069	Січень 2018

Збір даних про витрату палива проводився в період з 1.01.2017 по 31.06.2018. Зібрані дані було проаналізовано по кількості рейсів на різних маршрутах (рис. 3.3).

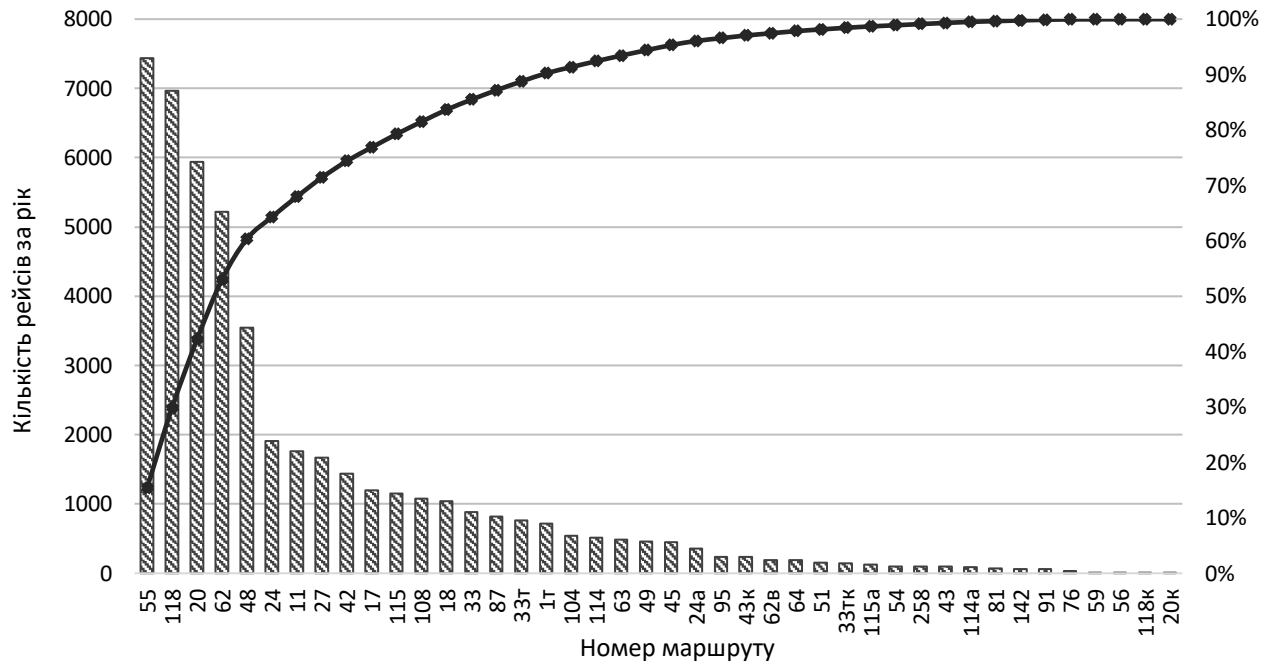


Рисунок 3.3 – Розподіл кількості рейсів по маршрутах за дослідний період

Як видно з графіку, більше 60% усіх рейсів було здійснено на маршрутах №55, №118, №20, №62, №48. Виходячи з цього, решту показників експериментальних досліджень будемо визначати саме для цих маршрутів.

3.3. Методика експериментальних досліджень

3.3.1. Методика збору даних, що характеризують маршрут руху автобуса

Вимірювання відстані та швидкості під час руху автобуса за маршрутом проводилось за допомогою USB GPS датчиком GlobalSat ND-105C (рис. 3.4), підключеного до смартфона Sony Xperia X Dual F5122. Зчитування та запис даних здійснювались у додатку «Спідометр GPS Pro» версії 3.7.50 у форматі grpx. Загальні технічні характеристики GPS датчика наведені в таблиці 3.3.



Рисунок 3.3 – Датчик GlobalSat ND-105C, підключений до смартфона Sony Xperia X Dual F5122

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики USB GPS датчика GlobalSat ND-105C

Параметр	Значення
Частота	L1, 1575.42 МГц
Кількість каналів	66
Чутливість	-165 dBm
Точність вимірювання швидкості	0,1 м/сек
Точність вимірювання часу	$1 \cdot 10^{-6}$ с, синхронізація по атомних годинниках GPS-супутників
Датум	WGS-84
Оновлення даних	0,1 сек.
Протоколи GPS	NMEA 0183
Дні GPS	NMEA 0183: GGA, GSA, GSV, RMC
Напруга живлення	4,5 В ~ 5,5 В, постійний струм (от USB-порту)
Споживана сила струму	40 мА
Максимальна висота	До 18000 м (60000 футів)
Максимальна швидкість	До 515 м/с (1000 вузлів)
Максимальне прискорення	До 4g
Температура експлуатації	- 10° ~ + 60°C
Вологість експлуатації	До 95%, неконденсована
Габарити	33,9 x 17,99 x 8,1 мм
Маса	5 г

Дані про динаміку зміни рельєфу були отримані з GPS датчика та порівняні з даними програми «Google Планета» та базами даних NASA SRTM1 та NASA SRTM3 через сервіс [103].

3.3.2. Методика збору параметрів навколишнього середовища

Атмосферний тиск контролювався барометром-анероїдом МД-49-А №5968 (рис. 3.4) зі шкалою від 80000 до 106000Па та ціною поділки 1000Па. Температура повітря вимірювалася цифровим термометром ТРМ 10 (рис. 3.5) з виносним датчиком.



Рисунок 3.4 – Барометр-анероїд
МД-49-А №5968



Рисунок 3.5 – Цифровий термометр
ТРМ 10

Характеристики термометра наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики термометра ТРМ 10

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання температури	-50...+80°C
Шкала розподілу температури	0,1°C
Похибка показань температури	±1°C
Довжина шнура виносного датчика	1 метр
Живлення	1,5V LR44 x 2шт
Рідкокристалічний дисплей	17x36 мм
Габаритний розмір	46x26,6 мм

3.3.3 Методика збору даних про відмови основних складників автобусів

Дані про відмови були зібрані на підприємстві АП№2 КП Київпастрас в період з 11.01.2018 по 16.05.2018 шляхом обробки журналу звернень до служби технічного контролю.

3.3.4 Методика збору даних про витрату палива автобусами в процесі експлуатації

Витрата палива на підприємстві контролюється за допомогою датчика рівня палива DUT-E 232. (рис. 3.6). Його технічна характеристика наведена в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики датчика рівня палива DUT-E 232

Параметр	Значення
Принцип дії	Ємнісний
Похибка вимірювання	1%
Напруга живлення, В	10...50, захист до 100
Температурний діапазон, °C	-40...+85
Струм споживання (DC 24 / 12В), мА	≤ 25/50
Виконання по довжині, мм	700...1000
Вихідний сигнал	цифровий CAN j1939 / S6, RS 232/485 Modbus



Рисунок 3.6 – Датчик рівня палива DUT-E 232

Дані про витрату палива в період з 1.01.2017 по 30.06.2018 були отримані з архіву інформаційної системи підприємства. Крім цього, в період збору даних про відмови, були проведені контрольні заміри витрати палива за «методом наповнення до повного баку». Значення фіксувались за цифровим табло автоматичної модульної заправної станції (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Модульна автоматична заправна станція

Контрольні заміри підтвердили точність архівних даних. Загальна похибка виміряних значень у порівнянні з даними, отриманими з інформаційної бази, не перевищує 3%.

3.3.5 Методика апроксимації експериментальних даних

Спираючись на результати досліджень, наведених в роботах [93, 98], а також на гіпотези, описані рівняннями (2.5) та (2.6), апроксимація експериментальних даних витрати палива та встановлення залежності її величини від інших параметрів здійснювалася методом найменших квадратів за допомогою квадратичного рівняння:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3.1)$$

Параметри a , b та c даного рівняння знаходились з умови мінімуму функції:

$$Q(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i^2 + bx_i + c))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2 \quad (3.2)$$

Умова мінімуму функції (3.2) зводяться до системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dQ}{da} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) \cdot (-x_i^2) = -2 \sum_{i=1}^n (x_i^2 y_i - ax_i^4 - bx_i^3 - cx_i^2) = 0 \\ \frac{dQ}{db} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) \cdot (-x_i) = -2 \sum_{i=1}^n (x_i y_i - ax_i^3 - bx_i^2 - cx_i) = 0 \\ \frac{dQ}{dc} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) \cdot (-1) = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Після перетворень, отримуємо систему трьох лінійних рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + cn = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (3.4)$$

при вирішенні якої знаходимо значення параметрів a , b і c .

Точність апроксимації встановлювалась за допомогою коефіцієнту детермінації, який визначається наступним чином:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (3.5)$$

де $SS_{res} = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ – сума квадратів залишків регресії;

$y_i, \hat{y}_i$ – фактичні і розрахункові значення змінної, що розглядається;

$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$ – загальна сума квадратів.

3.4. Результати експериментальних досліджень.

3.4.1. Результати збору даних, що характеризують маршрут руху автобуса

Збір даних про параметри маршруту руху автобусів для математичного моделювання проводився на двох маршрутах – 55-му та 48-му як таких, що характеризують найскладніші (55-й) та найпростіші (48-й) умови руху.

В якості прикладу, на рисунках 3.8 та 3.9 наведено епюру швидкостей та динаміка зміни рельєфу для 48-го маршруту.

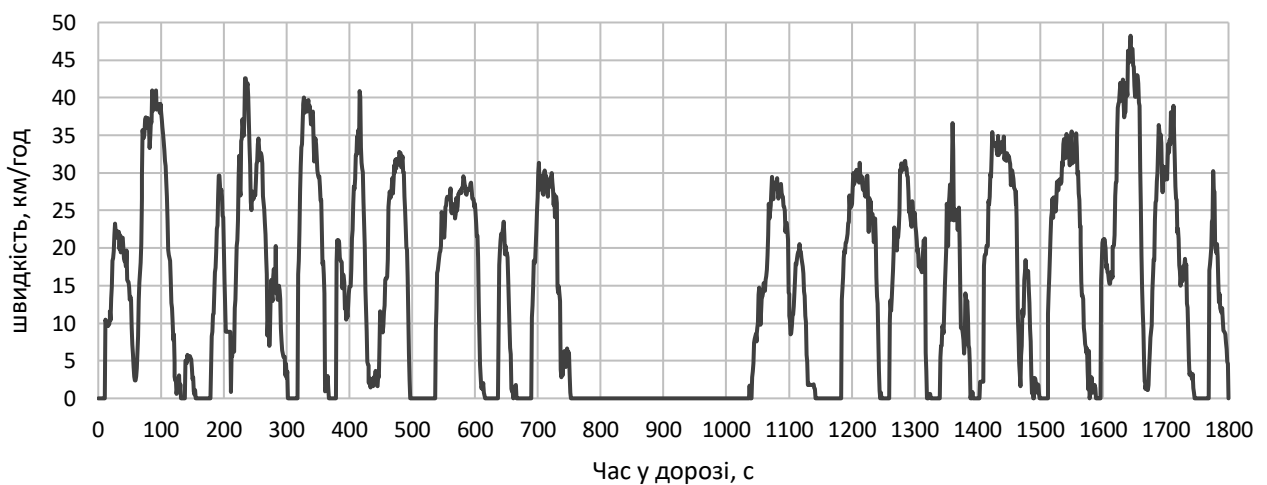


Рисунок 3.8 – Епюра швидкостей руху автобуса по маршруту №48

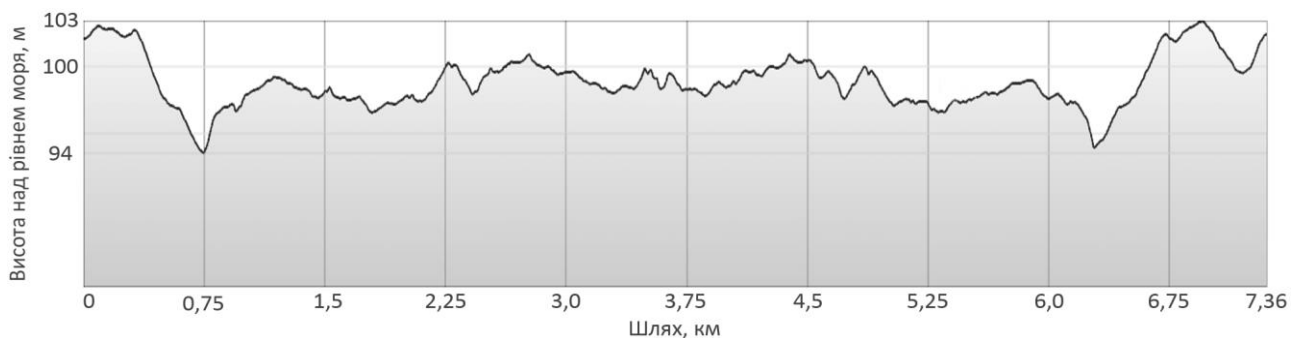


Рисунок 3.9 – Динаміка зміни рельєфу на маршруті №48

Окрім цього GPS дані, отримані в результаті експериментальних досліджень, були завантажені в програму «Google Планета» для визначення радіусів поворотів. Радіуси повороту та довжина дуги, по якій автобус здійснює рух, розраховувався через висоту дуги та її хорду за відомими формулами. На рисунку 3.10 наведено приклад реалізації даної методики.

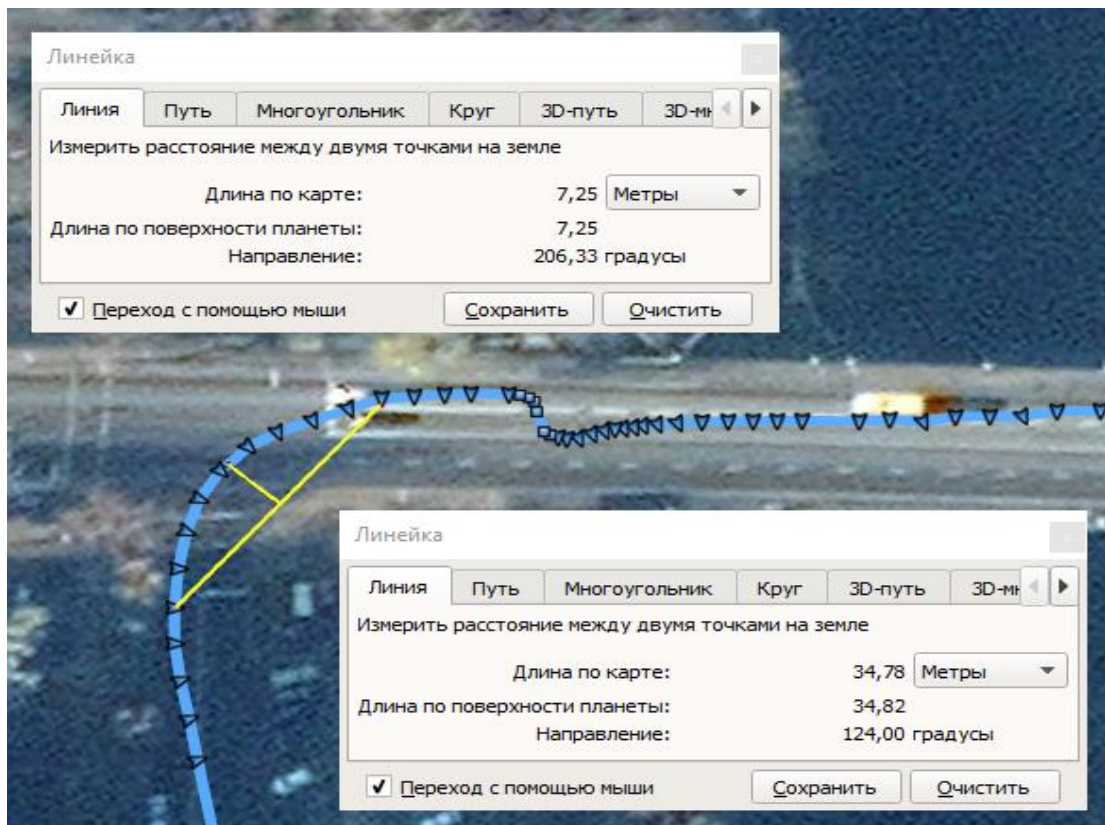


Рисунок 3.10 – Визначення висоти дуги повороту та довжини його хорди

За результатами аналізу режимів руху автобуса за маршрутами було складено перелік ділянок для розрахунків на математичній моделі. Для прикладу, в таблиці 3.6 наведено декілька ділянок на маршруті №48. Повний перелік наведено в додатку Б.

Таблиця 3.6 – Результати аналізу режимів руху автобуса по маршруту

№ п/п	Тип ділянки	Довжина, м	Поздовжній ухил дороги	Радіус повороту, м
Кінцева (м. Лівобережна)				
1	Пряма	350	0	0
2	Поворот	50	0	105
3	Пряма	100	0	0
4	Поворот	65	0,0188	90
5	Пряма	90	0,0188	0
6	Пряма	80	-0,0188	0
7	Поворот	30	-0,0188	15
8	Пряма	90	0	0

Продовження таблиці 3.5

9	Поворот	20	0	115
Зупинка 1 (10 секунд)				
10	Поворот	40	0	115
11	Пряма	215	0	0
12	Поворот	180	0	580
13	Пряма	90	0	0
Зупинка 2 (12 секунд)				
14	Пряма	390	0	0
Зупинка 3 (12 секунд)				

3.4.2. Результати збору параметрів навколишнього середовища та їх зв'язок з витратою палива

За період проведення експериментального дослідження було зібрано данні про температуру навколишнього середовища та величину атмосферного тиску.

Приклад результатів зібраних даних наведений в таблиці 3.7. Графік зміни температури та атмосферного тиску за дослідний період наведено на рисунках 3.11 та 3.12 відповідно. Повна статистика наведена в додатку В.

Таблиця 3.7 – результати збору даних про температуру навколишнього середовища та величину атмосферного тиску за дослідний період.

Дата	Температура, °C	Атмосферний тиск, кПа	Дата	Температура, °C	Атмосферний тиск, кПа	Дата	Температура, °C	Атмосферний тиск, кПа
01.01.2017	0,2	99,4	13.01.2017	-1,9	98,8	25.01.2017	-3,7	100
02.01.2017	1,1	98,8	14.01.2017	2,3	98	26.01.2017	-9,7	101
03.01.2017	-1,2	98,9	15.01.2017	-0,1	99,4	27.01.2017	-3,3	100,3
04.01.2017	-1	97,9	16.01.2017	-2,9	100,4	28.01.2017	-3,1	100,8
05.01.2017	-2,5	98,4	17.01.2017	-5,9	101,3	29.01.2017	-4,5	101,2
06.01.2017	-14,7	100,2	18.01.2017	-5,2	101,8	30.01.2017	-10,2	101,4
07.01.2017	-17,2	99,6	19.01.2017	-5,8	101,6	31.01.2017	-10	100,9
08.01.2017	-11,9	99,4	20.01.2017	-5	100,7	01.02.2017	-8,5	100,7
09.01.2017	-9,2	100,2	21.01.2017	0	100,3	02.02.2017	-4,6	100,6
10.01.2017	-5,9	100,3	22.01.2017	-0,5	101,1	03.02.2017	-2,1	99,4
11.01.2017	-3,3	99,9	23.01.2017	-2,1	100,5	04.02.2017	-2,5	99
12.01.2017	-3,5	98,4	24.01.2017	-2,1	99,8	05.02.2017	-3,1	99,2

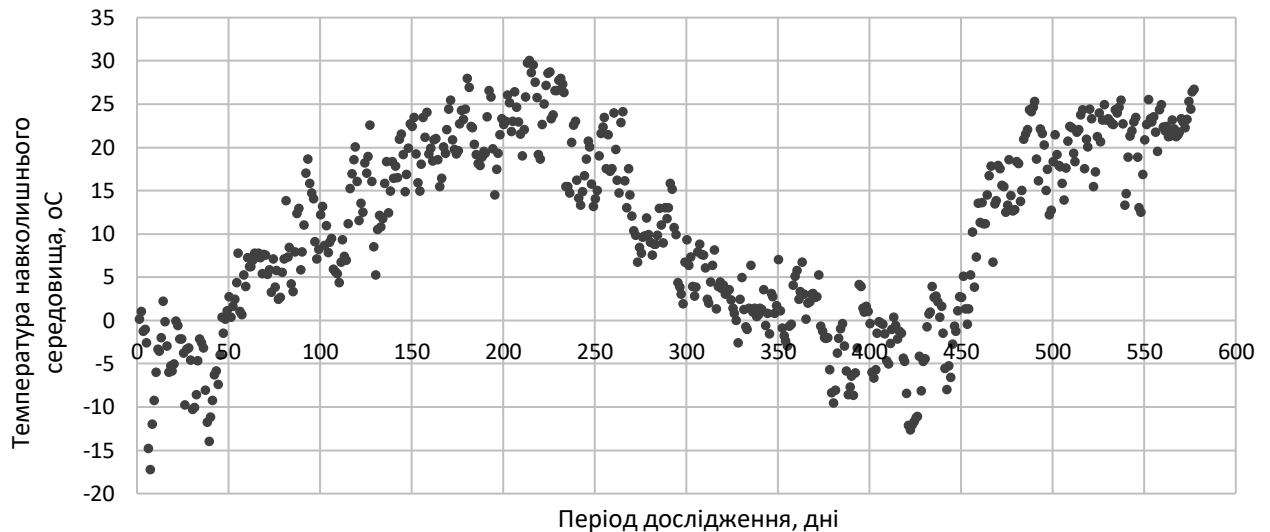


Рисунок 3.11 – Графік зміни температури навколишнього середовища за дослідний період

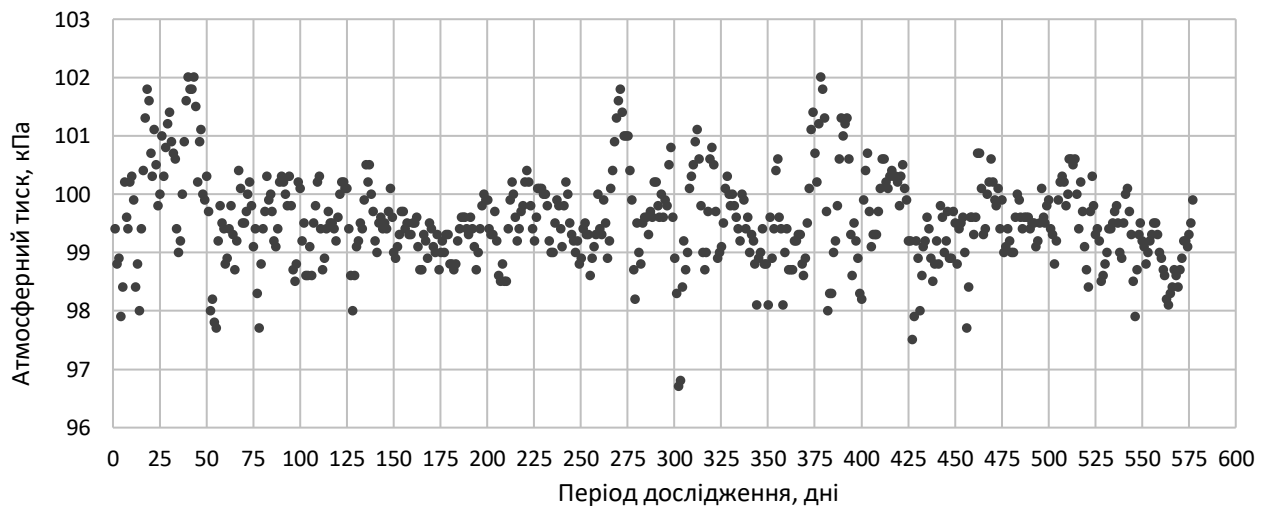


Рисунок 3.12 – Графік зміни величини атмосферного тиску за дослідний період

Як видно з графіків, температура навколишнього середовища змінюється за синусоподібним законом, а величина атмосферного тиску має рівномірний розподіл упродовж року і знаходиться на рівні 99,3 кПа.

Для визначення впливу температури на витрату палива було обрано 5-ту та 6-ту групу автобусів для того, щоб технічний стан більш старих автобусів не впливав на результати дослідження. Також було обрано маршрути, на яких дана група автобусів експлуатувалася в максимально можливому діапазоні температур. Такими маршрутами стали 55-й та 62-й. Загальний діапазон

температур – -13...+26 °С. Результати дослідження наведені в таблиці 3.8 та на рис. 3.13 – 3.14.

Таблиця 3.8 – Результати дослідження впливу температури навколишнього середовища на витрату палива

Температура, °С	Витрата палива в л/100 км на маршруті №		Температура, °С	Витрата палива в л/100 км на маршруті №		Температура, °С	Витрата палива в л/100 км на маршруті №	
	55	62		55	62		55	62
-13	42,19	42,47	1	40,31	40,82	14	39,86	40,48
-12	42,25	42,62	2	40,31	40,50	15	39,88	40,50
-11	41,51	42,45	3	39,88	40,59	16	40,13	40,66
-9	41,56	41,79	4	40,41	40,82	17	40,11	40,68
-8	41,57	41,96	5	40	40,22	18	40,26	41,08
-7	40,83	41,88	6	–	–	19	40,26	40,66
-6	40,98	41,25	7	39,83	40,50	20	40,57	41,04
-5	40,96	40,98	8	–	–	21	40,76	41,12
-4	41,13	41,22	9	–	40,27	22	40,35	41,18
-3	40,55	40,68	10	–	40,02	23	41,01	41,69
-2	40,14	40,69	11	39,92	40,01	24	41,15	41,55
-1	40,5	40,77	12	–	–	25	41,28	41,70
0	40,73	40,36	13	39,93	40,29	26	41,33	41,38

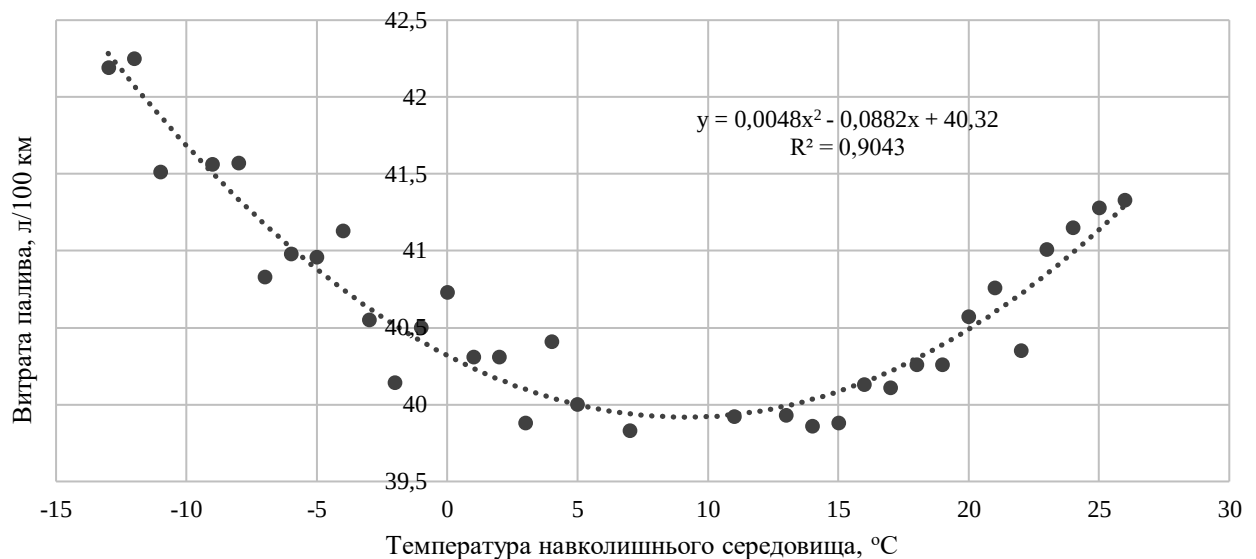


Рисунок 3.13 – Залежність витрати палива від температури навколишнього середовища на маршруті № 55

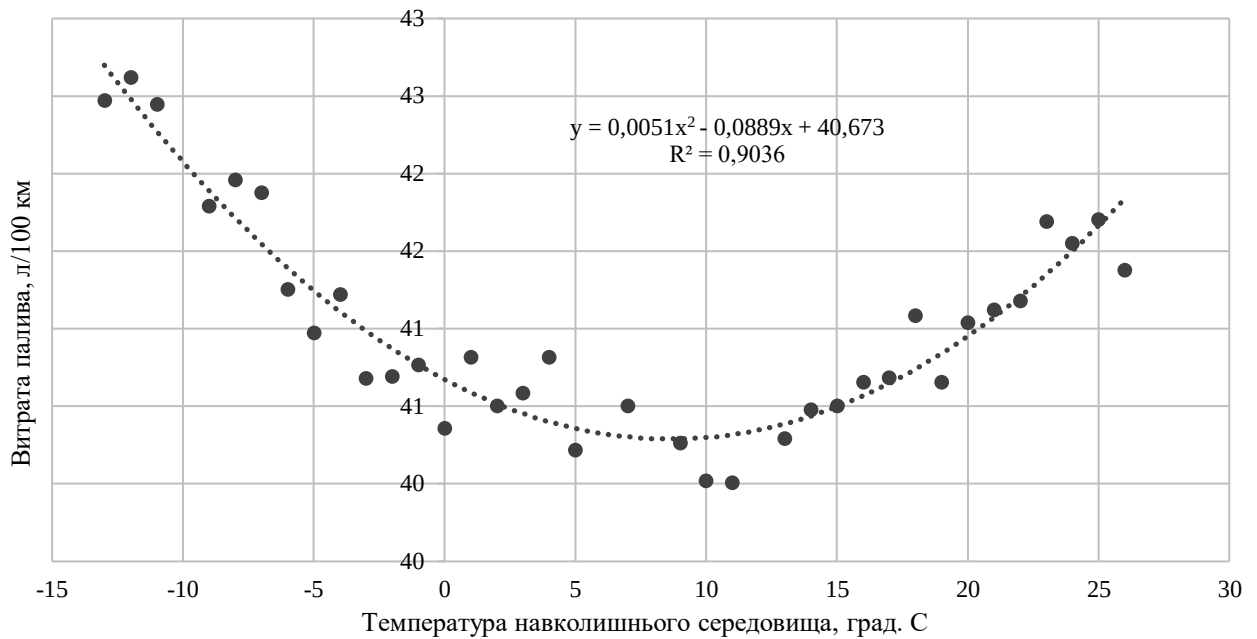


Рисунок 3.14 – Залежність витрати палива від температури навколишнього середовища на маршруті № 62

В таблиці 3.9 наведені поліноміальні залежності витрати палива від температури навколишнього середовища.

Таблиця 3.9 – Поліноміальні залежності витрати палива від температури навколишнього середовища

Маршрут	Рівняння	Точність апроксимації	Q_{s0}	$\frac{c}{Q_{s0}}$	Критерій Фішера
55	$Q_s(t) = 0,0048 \cdot t^2 - 0,0882 \cdot t + 40,32$	0,9043	39,74	1,0145	313,34
62	$Q_s(t) = 0,0051 \cdot t^2 - 0,0889 \cdot t + 40,673$	0,9036	40,21	1,0115	298,32

де $Q_s(t)$ – витрата палива залежно від температури навколишнього середовища, л/100 км;

t – температура навколишнього середовища, °С;

Q_{s0} – витрата палива в перший місяць експлуатації, л/100 км.

Як видно, рівняння мають дуже близькі значення коефіцієнтів a та b . В той же час, коефіцієнт c пропорційний початковій витраті палива Q_{s0} при експлуатації на певному маршруті. Причому, і в першому, і в другому випадку ці значення

більші на 1,15...1,45%. Це дає нам привід припустити, що така розбіжність є нормальною і має бути врахована в подальших розрахунках.

Отже, з усього вищесказаного можна зробити висновок, що в загальному вигляді, рівняння залежності витрати палива від температури навколишнього середовища матиме вигляд:

$$Q_s(t) = 0,005 \cdot t^2 - 0,0885 \cdot t + 1,013 \cdot Q_{s0} \quad (3.1)$$

Також, оскільки характер зміни кривої однаковий для обох випадків, на що вказує подібність коефіцієнтів поліноми a та b , а різниця лише в її початковій точці, то можна зробити висновок, що залежність (3.1) доцільно використати для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища k_t :

$$k_t = \frac{0,005 \cdot t^2 - 0,0885 \cdot t + 1,013 \cdot Q_{s0}}{Q_{s0}} = 1,013 + \frac{0,005 \cdot t^2 - 0,0885 \cdot t}{Q_{s0}} \quad (3.3)$$

Тоді витрата палива за певної температури навколишнього середовища буде визначатись за формулою:

$$Q_s(t) = Q_{s0} \cdot k_t \quad (3.4)$$

В таблиці 3.10 наведені результати розрахунків витрати палива за рівнянням (3.4), визначено коефіцієнти корегування для відповідних температур та визначені коефіцієнти детермінації для значень, отриманих за рівнянням (3.1) та (3.4).

Таблиця 3.10 – Результати розрахунків коефіцієнту коригування витрати палива за температурою навколишнього середовища

t	$Q_{s_екс}$	$Q_s(t)$	R^2 для $Q_s(t)$	k_t	$Q_{s0} \cdot k_t$	R^2 для $Q_{s0} \cdot k_t$	t	$Q_{s_екс}$	$Q_s(t)$	R^2 для $Q_s(t)$	k_t	$Q_{s0} \cdot k_t$	R^2 для $Q_{s0} \cdot k_t$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Маршрут №55							Маршрут №62						
-13	42,19	42,25	0,899	1,063	42,24	0,898	-13	42,47	42,73	0,921	1,063	42,74	0,920
-12	42,25	42,04		1,058	42,04		-12	42,62	42,51		1,057	42,50	
-11	41,51	41,84		1,053	41,85		-11	42,45	42,31		1,052	42,30	
-9	41,56	41,46		1,043	41,45		-9	41,79	41,93		1,043	41,94	
-8	41,57	41,28		1,039	41,29		-8	41,96	41,76		1,039	41,78	
-7	40,83	41,12		1,035	41,13		-7	41,88	41,60		1,034	41,58	
-6	40,98	40,97		1,031	40,97		-6	41,25	41,44		1,031	41,46	

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-5	40,96	40,82		1,027	40,81		-5	40,98	41,30		1,027	41,30	
-4	41,13	40,69		1,024	40,69		-4	41,22	41,17		1,024	41,18	
-3	40,55	40,57		1,021	40,57		-3	40,68	41,04		1,021	41,05	
-2	40,14	40,45		1,018	40,46		-2	40,69	40,93		1,018	40,93	
-1	40,5	40,35		1,015	40,34		-1	40,77	40,83		1,015	40,81	
0	40,73	40,26		1,013	40,26		0	40,36	40,73		1,013	40,73	
1	40,31	40,17		1,011	40,18		1	40,82	40,65		1,011	40,65	
2	40,31	40,10		1,009	40,10		2	40,50	40,58		1,009	40,57	
3	39,88	40,04		1,007	40,02		3	40,59	40,51		1,008	40,53	
4	40,41	39,98		1,006	39,98		4	40,82	40,46		1,006	40,45	
5	40	39,94		1,005	39,94		5	40,22	40,42		1,005	40,41	
6	–	–		–	–		6	–	–		–	–	
7	39,83	39,88		1,004	39,90		7	40,50	40,36		1,004	40,37	
8	–	–		–	–		8	–	–		–	–	
9	–	–		–	–		9	40,27	40,34		1,003	40,33	
10	–	–		–	–		10	40,02	40,35		1,003	40,33	
11	39,92	39,89		1,004	39,90		11	40,01	40,36		1,004	40,37	
12	–	–		–	–		12	–	–		–	–	
13	39,93	39,95		1,005	39,94		13	40,29	40,43		1,005	40,41	
14	39,86	40,00		1,006	39,98		14	40,48	40,47		1,007	40,49	
15	39,88	40,05		1,008	40,06		15	40,50	40,53		1,008	40,53	
16	40,13	40,12		1,01	40,14		16	40,66	40,60		1,01	40,61	
17	40,11	40,20		1,012	40,22		17	40,68	40,67		1,012	40,69	
18	40,26	40,28		1,014	40,30		18	41,08	40,76		1,014	40,77	
19	40,26	40,38		1,016	40,38		19	40,66	40,86		1,016	40,85	
20	40,57	40,49		1,019	40,50		20	41,04	40,96		1,019	40,97	
21	40,76	40,60		1,022	40,61		21	41,12	41,08		1,022	41,09	
22	40,35	40,73		1,025	40,73		22	41,18	41,21		1,025	41,22	
23	41,01	40,87		1,028	40,85		23	41,69	41,34		1,028	41,34	
24	41,15	41,01		1,032	41,01		24	41,55	41,49		1,032	41,50	
25	41,28	41,17		1,036	41,17		25	41,70	41,65		1,036	41,66	
26	41,33	41,34		1,04	41,33		26	41,38	41,81		1,04	41,82	

де $Q_{s_екс}$ – експериментальні значення шляхової витрати палива;

R^2 – коефіцієнти детермінації.

3.4.3. Результати збору даних про відмови основних складників автобусів та їх зв'язок з витратою палива

На першому етапі дослідження впливу технічного стану на витрату палива було підтверджено загальну гіпотезу про те, що за однакових умов експлуатації, нові автобуси споживають меншу кількість палива, ніж автобуси, що були в

експлуатації. Для цього було порівняно витрату палива на 55-му маршруті для дослідних груп автобусів помісячно. Результати наведені в таблиці 3.11 та на рисунку 3.15.

Таблиця 3.11 – Витрата палива автобусами із дослідних груп на 55-му маршруті за 5 місяців

№ групи	Витрата палива, л/100 км				
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень
1	44,83	44,76	44,58	43,46	43,34
2	44,57	44,54	44,53	43,31	43,21
3	44,57	44,48	44,18	43,25	43,15
4	41,81	41,53	40,67	40,16	39,79
5	41,49	41,10	40,27	39,76	39,63
6	40,85	40,71	40,19	39,64	39,51

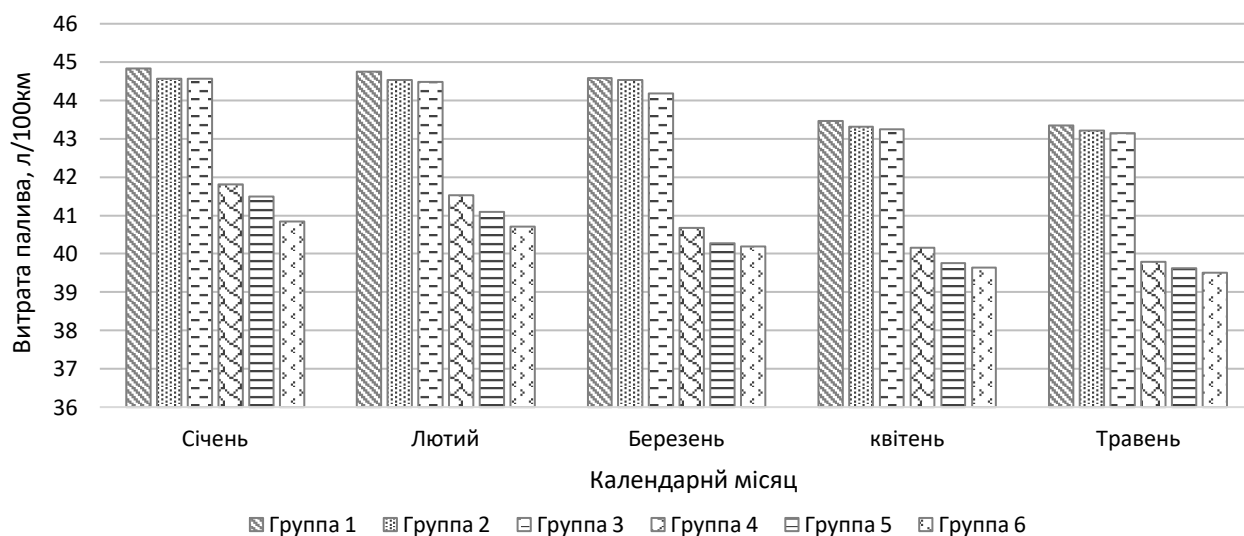


Рисунок 3.15 – Витрата палива автобусами із дослідних груп на 55-му маршруті за 5 місяців

Як видно з рисунку 3.15, прослідковується чітка залежність витрати палива від терміну експлуатації автобуса, тому наступним етапом дослідження було визначення законів розподілу, якими описуватиметься дане явище.

Для встановлення законів розподілу з усього масиву даних було виокремлено значення витрати палива для чотирьох маршрутів та згруповано їх відповідно до місяця перебування автобуса в експлуатації. Результати наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Витрата палива, залежно від кількості місяців в експлуатації

Місяців в експлуатації	Витрата палива, л/100км	Місяців в експлуатації	Витрата палива, л/100км	Місяців в експлуатації	Витрата палива, л/100км	Місяців в експлуатації	Витрата палива, л/100км
Маршрут №55		Маршрут №118		Маршрут №20		Маршрут №62	
0	39,74	0	38,5	0	38,23	0	40,21
3	41,00	4	38,8	2	38,89	1	40,63
4	39,89	6	38,5	4	38,51	3	41,20
5	40,66	7	39,08	8	38,75	4	40,59
8	40,85	12	39,34	9	38,84	8	40,40
15	40,98	59	42,5	10	39,26	15	41,55
53	42,94	59	42,4	53	43,14	49	43,80
59	43,97	62	42,64	58	42,12	56	44,07
60	43,97	62	42,3	60	42,1	57	44,32
61	43,67	62	42,96	61	41,9	58	44,48
62	44,31	63	41,75	62	42,99	59	44,29
63	44,28	64	42,1	63	42,62	61	44,04
64	43,59	64	42,15	66	41,9	62	44,74
65	43,36	65	42,69	67	41,73	63	44,92
66	43,65	67	42,4	68	43,04	64	43,81
67	44,24	70	42,6	71	41,9	65	43,89
73	43,24	73	42,42	73	42,34	66	43,75
74	44,86	74	42,88	74	43,6	67	44,18
75	44,04	75	42,51	75	42,45	71	44,81
76	43,2	76	42,4	76	43,5	73	44,17
78	43,56	79	42,57	77	42,18	76	44,35

На рис. 3.16 – 3.19 наведено графічні залежності витрати палива від кількості місяців в експлуатації, а в табл. 3.13 представлено поліноміальні залежності. Також, визначено відсоток розбіжності між значенням витрати палива в перший місяць експлуатації та значенням у початковій точці кривої (при $x = 0$).

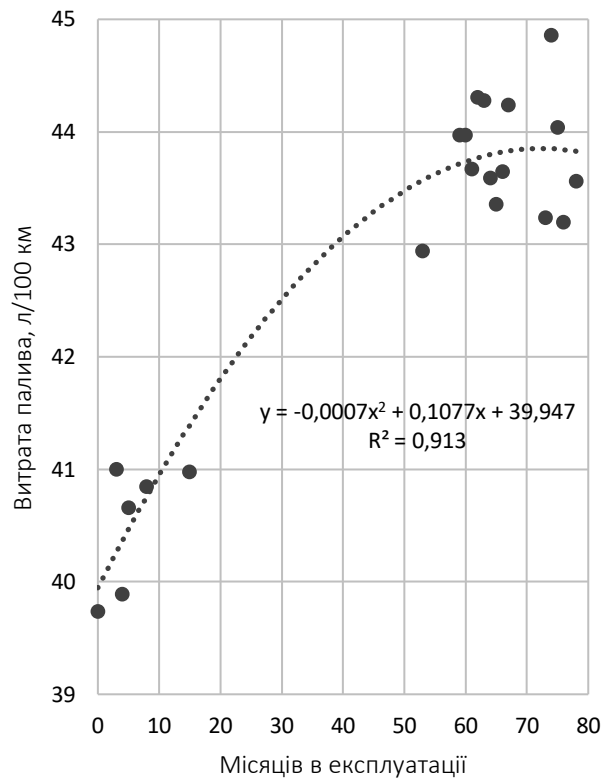


Рисунок 3.16 – Витрата палива від терміну експлуатації. Маршрут №55

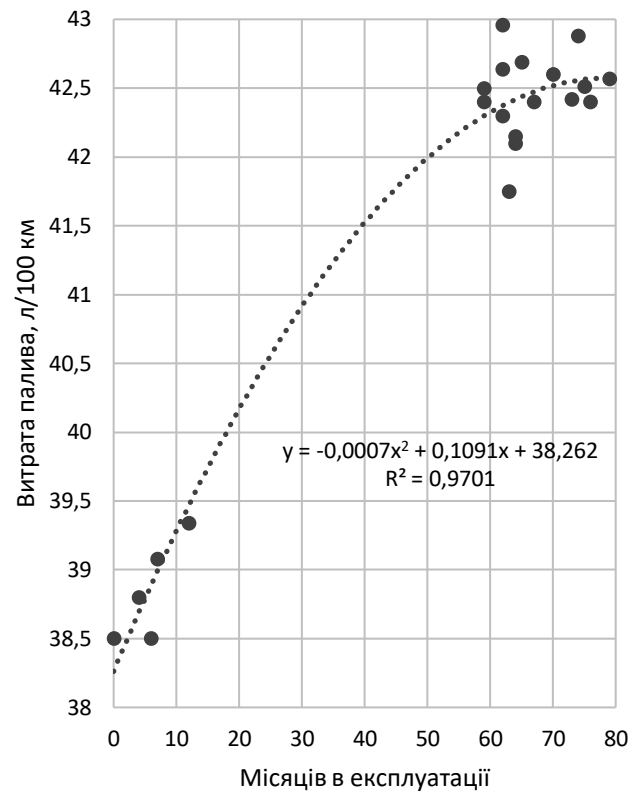


Рисунок 3.17 – Витрата палива від терміну експлуатації. Маршрут №118

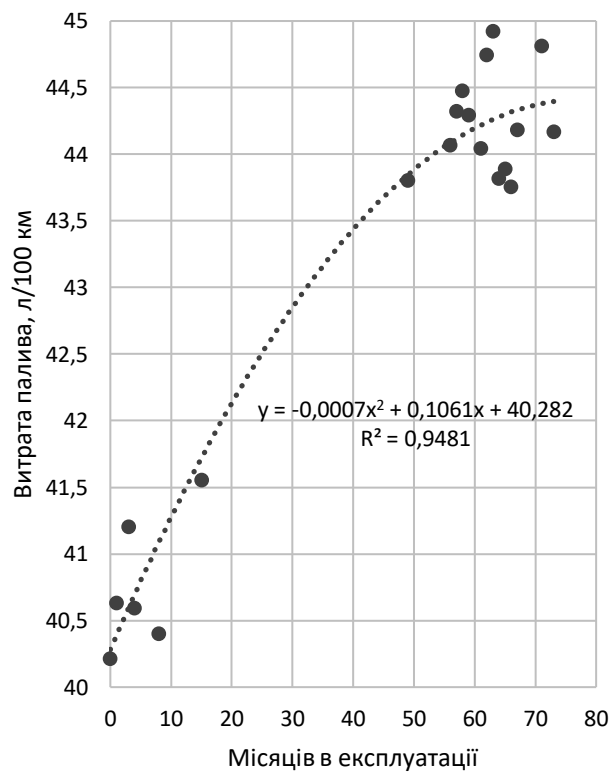


Рисунок 3.18 – Витрата палива від терміну експлуатації. Маршрут №62

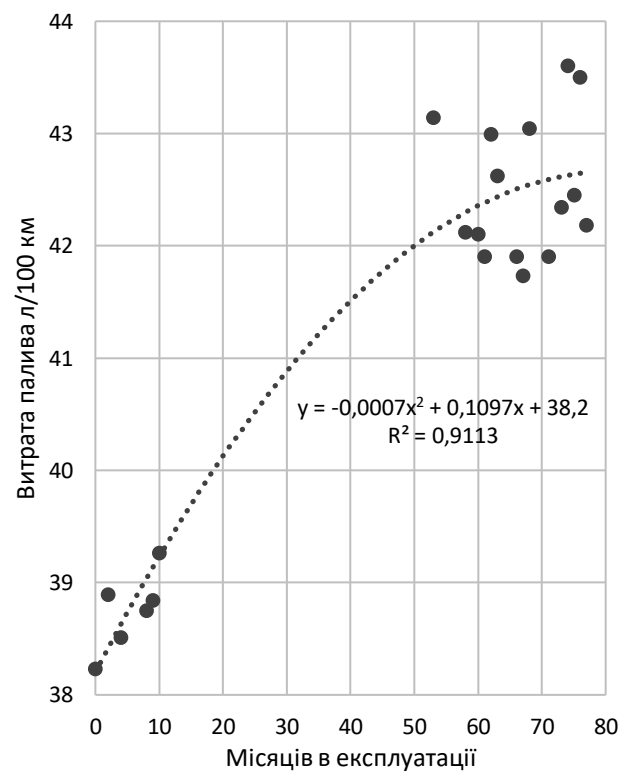


Рисунок 3.19 – Витрата палива від терміну експлуатації. Маршрут №20

Таблиця 3.13 – Поліноміальні залежності витрати палива від кількості місяців в експлуатації

Маршрут	Рівняння	R^2	Q_{s0}	Критерій Фішера	$Q_s(0) - Q_{s0}$	$\Delta Q_s, \%$
55	$Q_s(T_e) = -0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1077 \cdot T_e + 39,95$	0,9131	39,74	381,67	0,21	0,53
118	$Q_s(T_e) = -0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1091 \cdot T_e + 38,26$	0,9701	38,5	787,6	-0,24	0,63
62	$Q_s(T_e) = -0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1061 \cdot T_e + 40,28$	0,9481	40,21	279,06	0,07	0,17
20	$Q_s(T_e) = -0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1097 \cdot T_e + 38,20$	0,9113	38,23	647,38	-0,03	0,08

де $Q_s(T_e)$ – витрата палива залежно від кількості місяців в експлуатації, л/100 км;

T_e – термін експлуатації в місяцях;

Q_{s0} – витрата палива в перший місяць експлуатації, л/100 км.

Як видно, рівняння мають однаковий коефіцієнт a та досить близькі значення коефіцієнта b . В той же час, коефіцієнт c практично рівний початковій витраті палива Q_{s0} при експлуатації на певному маршруті. З цього можна зробити висновок, що в загальному вигляді, рівняння залежності витрати палива від терміну експлуатації для всіх маршрутів матиме вигляд:

$$Q_s(T_e) = -0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1080 \cdot T_e + Q_{s0} \quad (3.5)$$

Також, оскільки характер зміни кривої однаковий для всіх чотирьох випадків, на що вказує подібність коефіцієнтів поліноми a та b , а різниця лише в її початковій точці, то можна зробити висновок, що залежність (3.5) доцільно використати для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації, який позначимо k_T :

$$k_T = \frac{-0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1080 \cdot T_e + Q_{s0}}{Q_{s0}} = 1,0 + \frac{-0,0007 \cdot T_e^2 + 0,1080 \cdot T_e}{Q_{s0}} \quad (3.6)$$

Тоді витрата палива в певний місяць експлуатації буде визначатись за формулою:

$$Q_s = Q_{s0} \cdot k_T \quad (3.7)$$

В таблиці 3.14 наведені результати розрахунків витрати палива за рівнянням (3.5), визначено коефіцієнти корегування для відповідної кількості місяців експлуатації та визначені коефіцієнти детермінації для значень, отриманих за рівняннями (3.5) та (3.7).

Таблиця 3.14 – Результати розрахунків коефіцієнту коригування витрати палива за терміном експлуатації

T _е	Q _{s_екс}	Q _s (T _е)	R ² для Q _s (T _е)	k _T	Q _{s0} ·k _T	R ² для Q _{s0} ·k _T	T _е	Q _{s_екс}	Q _s (T _е)	R ² для Q _s (T _е)	k _T	Q _{s0} ·k _T	R ² для Q _{s0} ·k _T
Маршрут №55							Маршрут №118						
0	39,74	39,74	0,904	1	39,74	0,900	0	38,50	38,50	0,958	1	38,50	0,958
3	41,00	40,06		1,008	40,06		4	38,8	38,92		1,011	38,92	
4	39,89	40,16		1,011	40,18		6	38,50	39,12		1,016	39,12	
5	40,66	40,26		1,013	40,26		7	39,08	39,22		1,019	39,23	
8	40,85	40,56		1,021	40,57		12	39,34	39,70		1,031	39,69	
15	40,98	41,20		1,037	41,21		59	42,5	42,44		1,102	42,43	
53	42,94	43,50		1,095	43,52		59	42,40	42,44		1,102	42,43	
59	43,97	43,68		1,099	43,67		62	42,64	42,51		1,104	42,50	
60	43,97	43,70		1,1	43,71		62	42,3	42,51		1,104	42,50	
61	43,67	43,72		1,1	43,71		62	42,96	42,51		1,104	42,50	
62	44,31	43,75		1,101	43,75		63	41,75	42,53		1,105	42,54	
63	44,28	43,77		1,101	43,75		64	42,10	42,54		1,105	42,54	
64	43,59	43,78		1,102	43,79		64	42,15	42,54		1,105	42,54	
65	43,36	43,80		1,102	43,79		65	42,69	42,56		1,106	42,58	
66	43,65	43,82		1,103	43,83		67	42,40	42,59		1,106	42,58	
67	44,24	43,83		1,103	43,83		70	42,6	42,63		1,107	42,62	
73	43,24	43,89		1,105	43,91		73	42,42	42,65		1,108	42,66	
74	44,86	43,90		1,105	43,91		74	42,88	42,66		1,108	42,66	
75	44,04	43,90		1,105	43,91		75	42,51	42,66		1,108	42,66	
76	43,2	43,90		1,105	43,91		76	42,40	42,66		1,108	42,66	
78	43,56	43,91		1,105	43,91		79	42,57	42,66		1,108	42,66	
Маршрут №20							Маршрут №62						
0	38,23	38,23	0,895	1	38,23	0,895	0	40,21	40,21	0,945	1	40,21	0,946
2	38,89	38,44		1,006	38,46		1	40,63	40,32		1,003	40,33	
4	38,51	38,65		1,011	38,65		3	41,20	40,53		1,008	40,53	
8	38,75	39,05		1,021	39,03		4	40,59	40,63		1,01	40,61	
9	38,84	39,15		1,024	39,15		8	40,40	41,03		1,02	41,01	
10	39,26	39,24		1,026	39,22		15	41,55	41,67		1,036	41,66	
53	43,14	41,99		1,098	41,98		49	43,80	43,82		1,09	43,83	
58	42,12	42,14		1,102	42,13		56	44,07	44,06		1,096	44,07	
60	42,10	42,19		1,104	42,21		57	44,32	44,09		1,097	44,11	
61	41,90	42,21		1,104	42,21		58	44,48	44,12		1,097	44,11	
62	42,99	42,24		1,105	42,24		59	44,29	44,15		1,098	44,15	
63	42,62	42,26		1,105	42,24		61	44,04	44,19		1,099	44,19	
66	41,90	42,31		1,107	42,32		62	44,74	44,22		1,1	44,23	
67	41,73	42,32		1,107	42,32		63	44,92	44,24		1,1	44,23	
68	43,04	42,34		1,107	42,32		64	43,81	44,25		1,101	44,27	
71	41,90	42,37		1,108	42,36		65	43,89	44,27		1,101	44,27	
73	42,34	42,38		1,109	42,40		66	43,75	44,29		1,101	44,27	
74	43,60	42,39		1,109	42,40		67	44,18	44,30		1,102	44,31	
75	42,45	42,39		1,109	42,40		71	44,81	44,35		1,103	44,35	
76	43,50	42,39		1,109	42,40		73	44,17	44,36		1,103	44,35	
77	42,18	42,40		1,109	42,40		76	44,35	44,37		1,104	44,39	

де $Q_{s_екс}$ – експериментальні значення шляхової витрати палива;

R^2 – коефіцієнти детермінації.

Наступною частиною дослідження було встановлення переліку несправностей, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів. Усі відмови за дослідний період було згруповано за приналежністю їх до певної системи чи складника. Після цього було підраховано загальну кількість відмов, кількість відмов на одиницю рухомого складу в групі та відсоток від загальної кількості відмов у групі для кожної з досліджуваних груп. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 – Результати розрахунків кількості відмов по групах

Найменування системи чи складника	Група 1			Група 2			Група 3		
	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі
Відмови									
Система випуску відпрацьованих газів	1	0,06	0,2	5	0,33	1,5	1	0,11	0,4
Система мащення	3	0,18	0,7	3	0,2	0,9	1	0,11	0,4
Рульове керування	5	0,29	1,2	3	0,2	0,9	2	0,22	0,8
Коробка передач	6	0,35	1,4	7	0,47	2,1	5	0,56	2,0
Система живлення	9	0,53	2,1	4	0,27	1,2	1	0,11	0,4
Підвіска	26	1,53	6,2	41	2,73	12,2	20	2,22	8,0
Двигун внутрішнього згорання	23	1,35	5,5	12	0,8	3,6	28	3,11	11,2
Кузов	33	1,94	7,9	34	2,27	10,1	17	1,89	6,8
Гальмівна система	38	2,24	9,1	22	1,47	6,6	27	3	10,8
Система охолодження	56	3,29	13,4	42	2,8	12,5	44	4,89	17,7
Колеса	55	3,24	13,1	34	2,27	10,1	30	3,33	12,0
Електрообладнання	92	5,41	22,0	76	5,07	22,7	54	6	21,7
Всього відмов	347	20,41	82,8	283	18,88	84,4	230	25,55	92,4

Продовження таблиці 3.15

Технічне обслуговування та ПММ									
Не запускається двигун через якість ПММ	21	1,24	5,0	16	1,07	4,9	2	0,22	0,8
Технічне обслуговування	51	3	12,2	36	2,4	10,7	17	1,89	6,8
Всього ТО та ПММ	72	4,24	17,2	52	3,47	15,5	19	2,11	7,6
Разом:	419	24,65	100,0	335	22,35	100	249	27,66	100,0

Найменування системи чи складника	Група 4			Група 5			Група 6		
	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі
Відмови									
Система випуску відпрацьованих газів	1	0,13	2,1	0	0	0,0	0	0	0,0
Система мащення	0	0	0,0	1	0,1	1,6	0	0	0,0
Рульове керування	1	0,13	2,1	3	0,3	4,9	0	0	0,0
Коробка передач	1	0,13	2,1	0	0	0,0	2	0,25	6,9
Система живлення	3	0,38	6,4	1	0,1	1,6	1	0,13	3,4
Підвіска	0	0	0,0	3	0,3	4,9	0	0	0,0
Двигун внутрішнього згорання	0	0	0,0	1	0,1	1,6	1	0,13	3,4
Кузов	6	0,75	12,8	11	1,1	18,0	7	0,88	24,1
Гальмівна система	6	0,75	12,8	0	0	0,0	3	0,38	10,3
Система охолодження	1	0,13	2,1	2	0,2	3,3	3	0,38	10,3
Колеса	1	0,13	2,1	1	0,1	1,6	1	0,13	3,4
Електрообладнання	16	2	34,0	16	1,6	26,2	1	0,13	3,4
Всього відмов	36	4,53	76,6	39	3,9	63,9	19	2,41	65,5
Технічне обслуговування та ПММ									
Не запускається двигун через якість ПММ	1	0,13	2,1	2	0,2	3,3	1	0,13	3,5
Технічне обслуговування	10	1,25	21,3	20	2	32,8	9	1,13	31,0
Всього ТО та ПММ	11	1,38	23,4	22	2,2	36,1	10	1,26	34,5
Разом:	47	5,91	100,0	61	6,1	100,0	29	3,67	100,0

З результатів розрахунку можна зробити висновок, що усі відмови, які виникають в процесі експлуатації автобусів, доцільно розділити на дві групи:

- ті, чия кількість збільшується із збільшенням терміну експлуатації. До них відносяться електрообладнання, система охолодження, колеса, гальмівна система, підвіска, КП, ДВЗ;
- ті, які виникають рівномірно упродовж всього терміну експлуатації. До них відносяться система випуску відпрацьованих газів; система мащення; система живлення; кузов, рульове керування.

Окремо виділено ускладнення в роботі, викликані якістю ПММ та періодичне технічне обслуговування, оскільки, фактично, дані категорії не відносяться до змін технічного стану автобуса.

На рисунку 3.20, в якості прикладу, наведені характерні графіки розподілу кількості відмов на одиницю рухомого складу для обох категорій відмов на прикладі коліс та рульового керування.

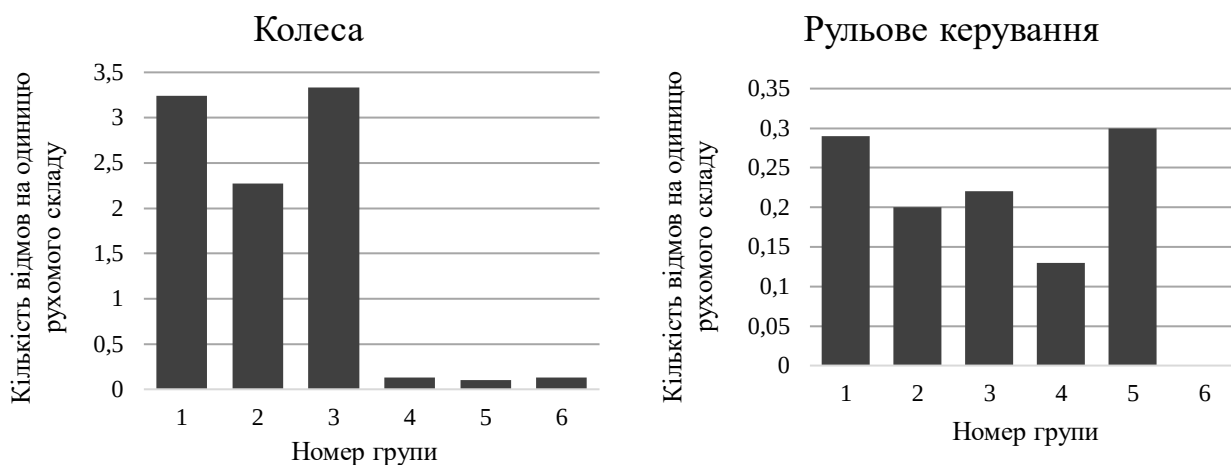


Рисунок 3.20 – Розподіл кількості відмов на одиницю рухомого складу по групам і складникам

Як видно з графіків, кількість відмов коліс на одиницю рухомого складу у третій групі дещо більша і явно вибивається із загальної тенденції. Це пояснюється тим, що в цю групу входять автобуси, які до лютого 2015 року були на балансі автобусного парку №7 і експлуатувалися у більш інтенсивному режимі.

Узагальнюючи отримані в результаті дослідження дані (табл. 3.16 та рис. 3.21), слід зазначити, що найбільша кількість відмов припадає на електрообладнання, систему охолодження та колеса. Найменшу кількість відмов має рульове керування, система випуску відпрацьованих газів та система мащення.

Таблиця 3.16 – Сумарна кількість відмов по усім групам рухомого складу.

Найменування системи чи складника	Разом по всім групам		
	Кількість відмов	Відмов на один автобус в групі	% від загальної кількості відмов в групі
Відмови			
Система випуску відпрацьованих газів	8	0,12	0,7
Система мащення	8	0,12	0,7
Рульове керування	14	0,21	1,2
Коробка передач	21	0,31	1,8
Система живлення	19	0,28	1,7
Підвіска	90	1,34	7,9
Двигун внутрішнього згорання	65	0,97	5,7
Кузов	108	1,61	9,5
Гальмівна система	96	1,43	8,4
Система охолодження	148	2,21	13,0
Колеса	122	1,82	10,7
Електрообладнання	255	3,81	22,4
Всього відмов	954	14,24	83,7
Технічне обслуговування та ПММ			
Не запускається двигун через якість ПММ	43	0,64	3,8
Технічне обслуговування	143	2,13	12,5
Всього ТО та ПММ	186	2,77	16,3
Разом:	1140	17,01	100,0

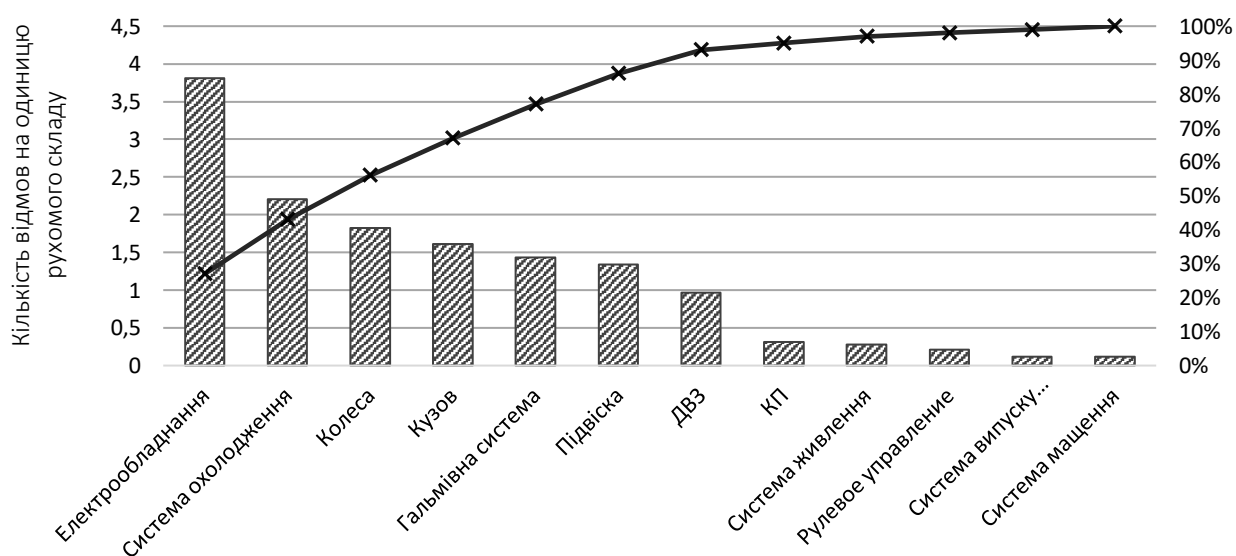


Рисунок 3.21 – Сумарна кількість відмов на одиницю рухомого складу

Також було визначено найбільш характерні несправності в кожній з систем та складників. Результати аналізу наведені в таблиці 3.17. В якості прикладу, на рис. 3.22 представлено графіки розподілу кількості несправностей по елементах для електрообладнання та підвіски.

Таблиця 3.17 – Результати аналізу характерних несправностей по системах та складниках

Система	Елемент системи / несправність	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4	Група 5	Група 6	Всього
Електро- обладнання	Зовнішні світлові прилади	62	43	41	15	14	0	175
	Інше	7	7	5	0	2	0	21
	АКБ	6	10	2	0	0	0	18
	Генератор	7	5	4	0	0	0	16
	Стартер	6	7	2	1	0	0	16
	Електрика	4	4	0	0	0	1	9
	Разом	92	76	54	16	16	1	255
Колеса	Спускання колеса	26	19	3	0	1	1	50
	Заміна колеса	10	6	1	0	0	0	17
	Інше	4	4	0	1	0	0	9
	Заклинювання	6	2	0	0	0	0	8
	Підкачування колеса	5	3	0	0	0	0	8
	Опорний підшипник	4	0	0	0	0	0	4
	Разом	55	34	4	1	1	1	96
Система охолодження	Підтікання в системі	43	27	26	0	0	3	99
	Перегрів	4	5	9	0	0	0	18
	Інше	5	7	2	1	2	0	17
	Радіатор	1	0	4	0	0	0	5
	Вентилятор	1	3	0	0	0	0	4
	Проміжний охолоджувач повітря	2	0	1	0	0	0	3
	Компресор	0	0	2	0	0	0	2
	Разом	56	42	44	1	2	3	148
Гальмівна система	Пневмо-система	14	13	13	1	0	0	41
	Супорта / Диски	17	5	13	4	0	2	41
	Інше	4	2	2	1	0	1	10
	Стоянкова гальмівна система	3	2	0	0	0	0	5
	Разом	38	22	28	6	0	3	97

Продовження таблиці 3.16

Кузов	Двері	16	14	8	2	3	4	47
	Люк	7	14	4	1	6	3	35
	Підлога	3	3	3	1	0	0	10
	Інше	0	2	1	2	2	0	7
	Сидіння	4	1	0	0	0	0	5
	Скло	3	0	1	0	0	0	4
	Разом	33	34	17	6	11	7	108
ДВС	Кріплення	4	7	14	0	0	0	25
	Не стабільна робота	11	3	4	0	1	1	20
	Ремінь / Ролики	3	2	7	0	0	0	12
	Турбіна	5	0	3	0	0	0	8
	Разом	23	12	28	0	1	1	65
Підвіска	Витік повітря с системи	8	21	11	0	1	0	41
	Відсутність подачі повітря	7	13	5	0	0	0	25
	Рівень підлоги	6	4	1	0	1	0	12
	Амортизатори	5	3	0	0	1	0	9
	Інше	0	0	3	0	0	0	3
	Разом	26	41	20	0	3	0	90
ПММ	Не запускається двигун	13	8	2	1	0	1	25
	Глохне двигун	8	8	0	0	2	0	18
	Разом	21	16	2	1	2	1	43
Інше	Підтікання в системі живлення	9	4	1	3	1	1	19
	Не вмикається передача	6	5	3	1	0	0	15
	Люфт рульового курування	4	3	1	1	1	0	10
	Підтікання в системі мащення	3	3	1	0	1	0	8
	Прогорання вихлопної системи	1	5	1	1	0	0	8
	Підтікання ATF КП	0	2	2	0	0	2	6
	Підтікання ATF гідروпідсилювача керма	1	0	1	0	2	0	4

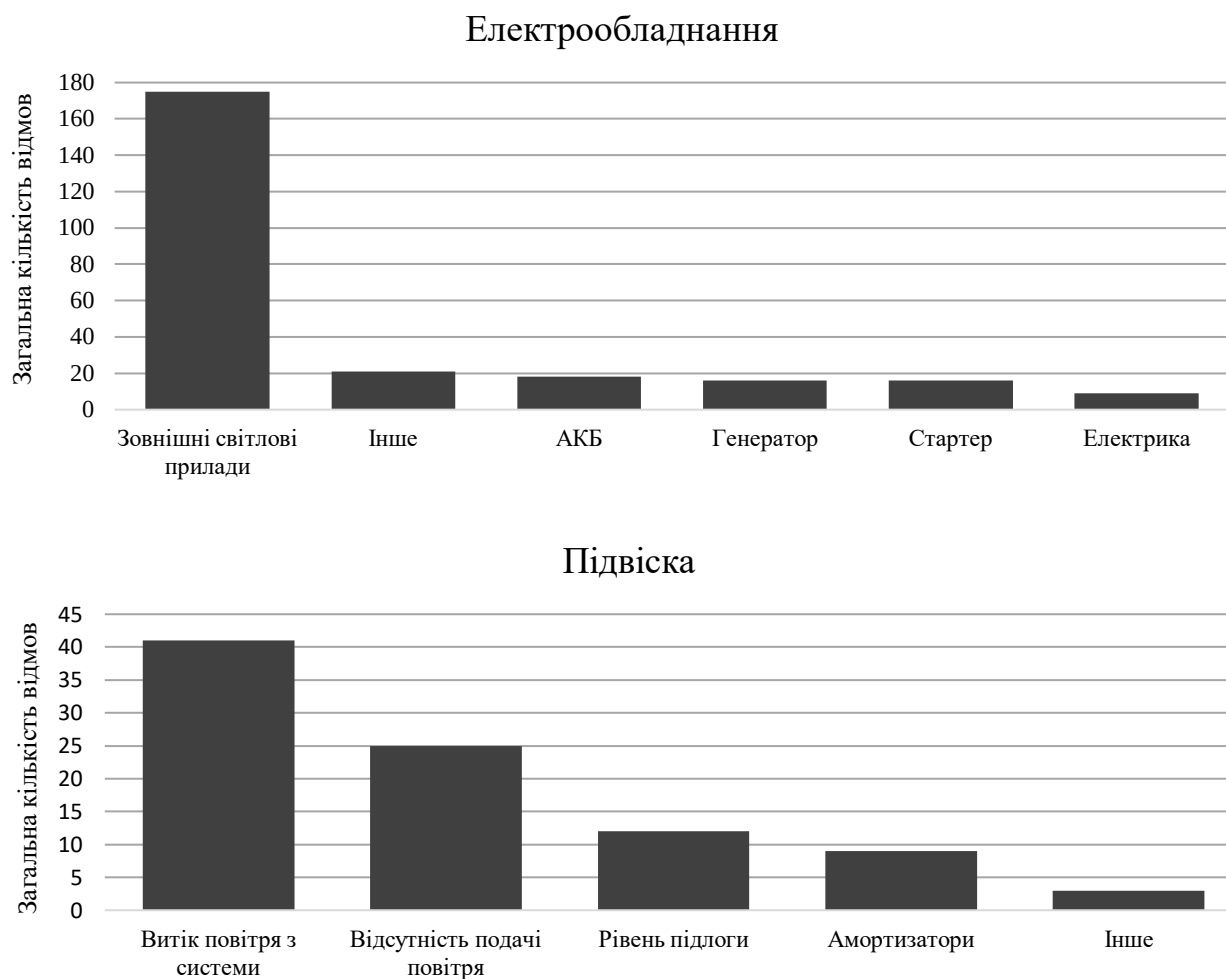


Рисунок 3.22 – Графіки розподілу кількості несправностей по елементам

Висновки за розділом 3

1. Шляхом прямого вимірювання було визначено швидкісні режими та динаміку зміни рельєфу на двох, ключових з точки зору складності та кількості рейсів за рік, маршрутах, за якими експлуатуються автобуси марки МАЗ 203. За результатами вимірювань було сформовано вихідні дані для розрахунків на математичній моделі.

2. Визначено характер зміни температури навколишнього середовища та атмосферного тиску у продовж року. На основі цих даних було побудовано залежності між температурою навколишнього середовища та витратою палива, яка описується поліномом другого ступеня. Спираючись на отримані залежності,

було виведене рівняння для визначення коефіцієнту коригування норми витрати палива за температурою навколишнього середовища k_t .

3. Встановлено, що характер зміни витрати палива міськими автобусами марки МАЗ 203 від терміну їх експлуатації описується поліномом другого ступеня, на основі чого було запропоноване рівняння для визначення коефіцієнту коригування норми витрати палива за терміном експлуатації k_T .

4. Встановлено, що зі збільшенням терміну експлуатації, найбільша кількість відмов припадає на електрообладнання, систему охолодження, колеса, елементи кузова, гальмівну систему та підвіску автобуса. Також було встановлено, що усі характерні відмови поділяються на ті, чия кількість збільшується із збільшенням терміну експлуатації та на ті, які виникають рівномірно упродовж всього терміну експлуатації.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ТА ВИТРАТОЮ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ

4.1. Формування вихідних даних для розрахунку на математичній моделі

Для аналітичного дослідження взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів на математичній моделі необхідно сформулювати вихідні дані, які включають технічні характеристики транспортного засобу, поліноміальні залежності апроксимаційних рівнянь, які входять у математичну модель, маршрут руху з характеристикою ділянок (довжина, радіус повороту, похил) та значення параметрів, якими будуть імітуватись несправності.

Технічні характеристики автобуса МАЗ 203.069, які необхідні для математичного моделювання та поліноміальні коефіцієнти апроксимаційних рівнянь, які не передбачено отримати розрахунковим шляхом, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики автобуса МАЗ 203.069 та поліноміальні коефіцієнти для розрахунку на математичній моделі.

№ п/п	Параметр	Зна- чення	№ п/п	Параметр	Зна- чення
Габаритні розміри:			Колеса – 275/70R22,5		
1	– довжина, м	11,98	20	– діаметр обода, м	0,571
2	– ширина, м	2,55	21	– висота профілю, м	0,193
3	– висота, м	2,774	22	– радіальна деформація профілю	0,9
4	– колісна база, м	5,9	23	– динамічний радіус, м	0,459
5	– дорожній просвіт, м	0,12	24	– радіус кочення, м	0,478
Коробка передач – ZF 6HP-504C:			Двигун – Daimler OM 906 hLa EURO 5:		
6	Передаточні числа:		25	– робочий об'єм, л	6,37
7	– I передача	3,34	26	– діаметр поршня, м	0,102
8	– II передача	2,01	27	– хід поршня, м	0,13
9	– III передача	1,42	28	– номінальна потужність, кВт	210
10	– IV передача	1,0	29	– номінальна частота, об/хв	2200

Продовження таблиці 4.1

11	– V передача	0,83	30	– крутний момент, Н*м	1120
12	– VI передача	0,59	31	– частота обертання пм, об/хв	1400
13	– задній хід	4,84	32	– коригуючий коефіцієнт Кр	0,9
14	Передаточне число головної передачі	6,2	33	– мінімальна частота обертання на холостому ходу, об/хв	900
Маса:			34	Момент інерції маховика	4,8
15	– повна, кг	13000*	35	Момент інерції одного колеса	12
16	– споряджена, кг	10860	36	Кількість коліс	6
17	ККД трансмісії	0,84	37	Час реакції водія, с	0,8
18	Коефіцієнт обтічності	0,7	38	Час запізнення гальмування, с	0,2
19	Коефіцієнт опору коченню	0,0026	39	Час збільшення сповільнення, с	0,5
Поліноміальні коефіцієнти					
	Рівняння (2.18)			Рівняння (2.48)	
	– a	0,7564		– a_Q	-0,0009
	– b	1,5986		– b_Q	0,4553
	– c	-1,355		– c_Q	-15,825

*Оскільки на 48 маршруті навіть у години пік не спостерігається максимального завантаження, то при розрахунках було прийнято завантаженість автобуса на рівні 82% від номінальної пасажиромісткості.

Як було зазначено в п. 3.4.1, для математичного моделювання маршрут №48 було розбито на ділянки, перелік та характеристика яких наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика ділянок для математичного моделювання руху автобуса за маршрутом №48

№ п/п	Тип ділянки	Довжина, м	Поздовжній ухил дороги	Радіус повороту, м
Маршрут №48 – Круговий				
Кінцева (105 секунд)				
1	Пряма	350	0	0
2	Поворот	50	0	105
3	Пряма	100	0	0
4	Поворот	65	0,0188	90
5	Пряма	90	0,0188	0
6	Пряма	80	-0,0188	0
7	Поворот	30	-0,0188	15
8	Пряма	90	0	0
9	Поворот	20	0	115

Продовження таблиці 4.2

Зупинка 1 (6 секунд)				
10	Поворот	40	0	115
11	Пряма	215	0	0
12	Поворот	180	0	580
13	Пряма	90	0	0
Зупинка 2 (12 секунд)				
14	Пряма	390	0	0
Зупинка 3 (15 секунд)				
15	Поворот	55	0	115
16	Пряма	120	0	0
17	Пряма	130	0,0182	0
Зупинка 4 (15 секунд)				
18	Пряма	35	0,0182	0
19	Пряма	40	-0,0167	0
20	Поворот	115	-0,0167	80
21	Пряма	25	-0,0167	0
22	Пряма	120	0	0
Зупинка 5 (38 секунд)				
23	Пряма	590	0	0
Зупинка 6 (20 секунд)				
24	Пряма	240	0	0
25	Пряма	55	0	0
26	Поворот	25	0	30
27	Поворот	30	0	10
Кінцева (105 секунд)				
28	Пряма	440	0	0
Зупинка 7 (48 секунд)				
29	Пряма	420	0	0
Зупинка 8 (15 секунд)				
30	Пряма	170	0	0
31	Пряма	20	0,0171	0
32	Поворот	115	0,0171	80
33	Пряма	40	0,0171	0
34	Пряма	40	-0,0182	0
Зупинка 9 (20 секунд)				
35	Пряма	125	-0,0182	0
36	Пряма	125	0	0
Зупинка 10 (20 секунд)				
37	Поворот	55	0	115
38	Пряма	485	0	0
Зупинка 11 (15 секунд)				
39	Поворот	180	0	580
40	Пряма	220	0	0
41	Поворот	60	0	150
Зупинка 12 (15 секунд)				
42	Пряма	90	0	0
43	Поворот	25	0,038	10
44	Пряма	80	0,038	0
45	Пряма	90	-0,026	0
46	Поворот	65	-0,026	90
47	Пряма	100	0	0
48	Поворот	50	0	105
49		110	0	0

Продовження таблиці 4.2

Зупинка 13 (8 секунд)				
50	Пряма	290	0	0
51	Поворот	45	0	65
52	Поворот	55	0	50
53	Поворот	50	0	30
54	Поворот	55	0	50
55	Поворот	45	0	65
56	Пряма	55	0	0
57	Пряма	290	0	0
Кінцева				

Як було зазначено в п. 3.4.3, найбільш характерними несправностями, які виникають в процесі експлуатації автобуса є несправності підвіски, системи охолодження, гальмівної системи, коліс, ДВЗ та КП.

Серед несправностей підвіски найчастіше зустрічаються низький тиск у пневмосистемі через її негерметичність та відсутність подачі повітря в окремі пневморесори. Дані несправності призводять до додаткової витрати палива на підтримання робочого тиску в системі через постійну необхідність накачувати додатковий об'єм повітря.

Підтікання охолоджуючої рідини призводять до зменшення її об'єму і, як наслідок, зменшення загальної кількості теплоти, яку певний об'єм може відвести від двигуна, що, в свою чергу, призводить до його роботи у діапазоні температур, вищому за оптимальний, або повному перегріві. Перегрів двигуна призводить до збільшеної випаровуваності палива і, як наслідок, підвищених витраті палива. Дані несправності можна врахувати при математичному моделюванні шляхом пропорційного збільшення поліноміальних коефіцієнтів для визначення годинної витрати палива. В роботі [104] зазначено, що при збільшенні температури охолоджуючої рідини до 100 °С, питома витрата палива збільшується на 6%.

До найбільш типових несправностей гальмівної системи відносяться несправності, пов'язані з системою подачі повітря, які ведуть до неповного розгальмовування, та заклинювання гальмівних механізмів.

Серед несправностей коліс найчастіше зустрічається зменшення тиску в шинах, що призводить до підвищення опору кочення. В роботах [105, 106, 107] зазначено, що зниження тиску в шинах призводить до збільшення витрати палива на 7%. В роботі [108] зазначено, що таке збільшення може сягати 15%. В

той же час, в роботі [109] стверджується, що при зміні швидкості в діапазоні від 10 до 50 км/год, коефіцієнт опору кочення для шин вантажних автомобілів, які використовуються в для міських автобусів, збільшується в середньому в 1,2...1,4 рази. Зіставивши вищенаведені відомості, для математичного моделювання несправностей коліс доцільно припустити, що, у діапазоні найбільш характерних для міських автобусів робочих швидкостей, величина коефіцієнту опору кочення буде збільшуватись на 40%.

Несправності КП, здебільшого, пов'язані з тим, що не включається певна передача (як правило, 3-тя). Дану несправність можна змодельовати шляхом обмеження максимальної швидкості руху найбільшим значенням на 2-й передачі.

Для моделювання характерних несправностей з усього масиву експериментальних даних було обрано автобуси, які експлуатувалися на 48-му маршруті та, на певний момент часу, мали такі несправності. Виходячи з характеру цих несправностей та, спираючись на результати попередніх досліджень, що наведені вище, було обрано значення параметрів для їх імітації під час математичного моделювання (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для математичного моделювання впливу характерних несправностей на витрату палива

№ п/п	Борт. номер	Дата	Фактична витрата палива, л/100 км	Несправність	Параметр, що імітує несправність
1	7279	25.04.2018	38,95	Знижений тиску правого зовнішнього колеса	$f = 0,0282$
2	7288	27.01.2018	39,32	Не вмикається 3-я передача	$v_{max}=8,89$ м/с
3	7281	02.02.2018	39,9	Підтікання охолоджуючої рідини	$1,06 \cdot q_e$

4.2. Результати розрахунків на математичній моделі

Першим етапом математичного моделювання був розрахунок руху автобуса за маршрутом №48 без урахування несправностей. Результати розрахунку наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків на математичній моделі руху автобуса МАЗ 203.069 за маршрутом №48.

Тип руху	Час у русі	Швидкість	Шлях	Витрата палива за час руху, кг
Маршрут №48				
Кінцева				
Холостий хід	105	0	0	0,04683
Ділянка 1				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00094
Розгін на 2й	3,35	6,3	17,27	0,00349
Рівномірний рух на 2й	26	6,3	163,74	0,05273
Вибіг	16	0	48,8	0,00752
Світлофор	5	0	0	0,00235
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00094
Розгін на 2й	7,35	8,89	42,15	0,01429
Перемикання 2...3	2	8,05	16,94	0,00094
Розгін на 3й	4	9,97	31,57	0,00951
Всього	73	-	351,89	0,10668
Ділянка 2				
Рівномірний рух на 3й	5	9,97	49,85	0,01169
Всього	5	-	49,85	0,01169
Ділянка 3				
Розгін на 3й	1	10,45	8,47	0,00293
Рівномірний рух на 3й	8,5	10,45	88,83	0,0206
Всього	9,5	-	97,3	0,02353
Ділянка 4				
Рівномірний рух на 3й	6,2	10,45	64,79	0,02069
Всього	6,2	-	64,79	0,02069
Ділянка 5				
Рівномірний рух на 3й	4,5	10,45	47,03	0,01502
Вибіг	5	8,33	46,15	0,00235
Всього	5	-	93,18	0,01737
Ділянка 6				
Гальмування	13	0	79,8	0,006851
Всього	13	-	79,8	0,006851
Ділянка 7				
Світлофор	55	0	0	0,02585
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Рівномірний рух на 1й	5	4,93	24,65	0,01359
Всього	62,65	-	31,32	0,04663
Ділянка 8				
Перемикання 1...2	2	4,12	9,29	0,00094
Розгін на 2й	5,55	7,5	28,1	0,00743
Гальмування	8	5,05	52,14	0,00376
Всього	15,55	-	89,53	0,01213

Ділянка 9				
Гальмування	5	0	20	0,00235
Всього	5	–	20	0,00235
Зупинка 1				
Холостий хід	6	0	0	0,00282
Ділянка 10				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,29	0,00094
Розгін на 2й	3,35	6,3	17,27	0,00349
Всього	8	–	33,23	0,01162
Ділянка 11				
Розгін на 2й	4	8,9	24,89	0,01081
Перемикання 2...3	2	8,05	16,95	0,00094
Розгін на 3й	5	10,45	40,04	0,01203
Рівномірний рух на 3й	10	10,45	104,5	0,02424
Вибіг	3,6	8,9	34,83	0,001692
Всього	24,6	–	221,21	0,049712
Ділянка 12				
Рівномірний рух на 3й	20	8,9	177,8	0,04246
Всього	20	–	177,8	0,04246
Ділянка 13				
Гальмування	13	0	90,15	0,00611
Всього	13	–	90,15	0,00611
Зупинка 2				
Холостий хід	12	0	0	0,00564
Ділянка 14				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,29	0,00094
Розгін на 2й	7,35	8,89	42,15	0,01429
Перемикання 2...3	2	8,05	16,94	0,00094
Розгін на 3й	5	10,45	40,04	0,01203
Рівномірний рух на 3й	16	10,45	167,2	0,03879
Гальмування	13	0	106,47	0,00611
Всього	48	–	388,76	0,08029
Зупинка 3				
Холостий хід	15	0	0	0,00705
Ділянка 15				
Розгін на 1й	2	3,72	4,1	0,00296
Рівномірний рух на 1й	14	3,72	52,08	0,02776
Всього	16	–	56,18	0,03072
Ділянка 16				
Розгін на 1й	0,65	4,93	2,58	0,00422
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00094
Розгін на 2й	7,35	8,89	42,15	0,01429
Рівномірний рух на 2й	7	8,89	62,28	0,01753
Всього	17	–	116,05	0,03698
Ділянка 17				
Рівномірний рух на 2й	7	8,89	62,28	0,0227
Гальмування	10	0	68,382	0,0047
Всього	17	–	130,662	0,0274

Зупинка 4				
Холостий хід	15	0	0	0,00705
Ділянка 18				
Розгін на 1й	2	3,72	4,24	0,00192
Рівномірний рух на 1й	8	3,72	29,76	0,01805
Всього	10	–	34	0,01997
Ділянка 19				
Розгін на 1й	0,65	4,93	2,61	0,00475
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00094
Розгін на 2й	4,35	6,95	23,08	0,01031
Рівномірний рух на 2й	1	6,95	6,95	0,00176
Всього	8	–	41,68	0,01776
Ділянка 20				
Рівномірний рух на 2й	9	6,95	62,53	0,01584
Розгін на 2й	2	8,25	12,64	0,00791
Рівномірний рух на 2й	5	8,25	41,25	0,00955
Всього	16	–	116,42	0,0333
Ділянка 21				
Рівномірний рух на 2й	4,5	8,25	28,88	0,00668
Всього	4,5	–	28,88	0,00668
Ділянка 22				
Рівномірний рух на 2й	8	8,25	66	0,01528
Гальмування	8	0	53,82	0,00376
Всього	16	–	119,82	0,01904
Зупинка 5				
Холостий хід	38	0	0	0,01786
Ділянка 23				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,29	0,00094
Розгін на 2й	5,35	7,6	29,03	0,00782
Рівномірний рух на 2й	64	7,6	493,84	0,15041
Гальмування	9	0	51,93	0,00423
Всього	83	–	590,76	0,17059
Зупинка 6				
Холостий хід	20	0	0	0,0094
Ділянка 24				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,29	0,00094
Розгін на 2й	5,35	7,6	29,03	0,00782
Рівномірний рух на 2й	25	7,6	197,54	0,06016
Всього	35	–	242,53	0,07611
Ділянка 25				
Вибіг	2	6,94	11,42	0,00094
Рівномірний рух	6	6,94	41,64	0,01309
Всього	8	–	53,06	0,01403
Ділянка 26				
Гальмування	8	1,67	24,97	0,00376
Всього	8	–	24,97	0,00376

Ділянка 27				
Рівномірний рух на 1й	14	1,67	23,38	0,01035
Гальмування	2	0	3,38	0,00094
Всього	16	–	26,76	0,01129
Кінцева				
Холостий хід	105	0	0	0,04683
Ділянка 28				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	4,35	6,95	23	0,00543
Рівномірний рух на 2й	45	6,95	312,75	0,09829
Вибіг	6	4,5	34	0,00281
Рівномірний рух на 1й	7	4,5	31,5	0,01568
Гальмування	6	0	22,2	0,00281
Всього	73	–	439,16	0,13305
Зупинка 1				
Холостий хід	48	0	0	0,02248
Ділянка 29				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00084
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,01429
Розгін на 2й	7,35	8,89	42,15	0,0014
Вибіг	3	7,62	24,89	0,07881
Рівномірний рух на 2й	34	7,62	259,08	0,00562
Гальмування	12	0	81,18	0,10815
Всього	61	–	423,01	0,00084
Зупинка 2				
Холостий хід	15	–		0,00702
Ділянка 30				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	6,35	8,25	35,39	0,01075
Рівномірний рух на 2й	14	8,25	115,47	0,03389
Всього	25	–	166,57	0,05267
Ділянка 31				
Рівномірний рух на 2й	2,5	8,25	20,62	0,00605
Всього	2,5	–	20,62	0,00605
Ділянка 32				
Рівномірний рух на 2й	14	8,25	115,47	0,03389
Всього	14	–	115,47	0,03389
Ділянка 33				
Вибіг	5,7	5,88	40,04	0,00267
Всього	5,7	–	40,04	0,00267
Ділянка 34				
Гальмування	8,7	0	39,97	0,00407
Всього	8,7	–	39,97	0,00407
Зупинка 4				
Холостий хід	20	0	0	0,00937
Ділянка 35				

Розгін на 1й	2,65	4,93	6,55	0,00874
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	6,35	8,25	35,75	0,0189
Рівномірний рух на 2й	9	8,25	74,23	0,01681
Всього	20	–	125,57	0,04529
Ділянка 36				
Рівномірний рух на 2й	5	8,25	41,24	0,0121
Вибіг	12	3,29	69,19	0,00562
Гальмування	5	0	13,86	0,00375
Всього	22	–	124,29	0,02147
Зупинка 5				
Холостий хід	20	0	0	0,00937
Ділянка 37				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	3,35	6,3	17,27	0,00349
Рівномірний рух на 2й	3,5	6,3	22,04	0,0071
Всього	11,5	–	55,02	0,01862
Ділянка 38				
Розгін на 2й	4	8,89	24,88	0,0108
Перемикання 2...3	2	8,05	16,94	0,00094
Розгін на 3й	5	10,45	40,04	0,01203
Рівномірний рух на 3й	24,5	10,45	256,03	0,06458
Вибіг	7	7,44	62,79	0,00328
Гальмування	5	3,34	31,4	0,00234
Рівномірний рух на 1й	12	3,34	40,04	0,01178
Гальмування	5	0	14,32	0,00234
Всього	64,5	–	486,44	0,10809
Зупинка 6				
Холостий хід	15	0	0	0,00702
Ділянка 39				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	4,35	6,95	23	0,00543
Рівномірний рух на 2й	20,3	6,95	141,09	0,04434
Всього	29,3	–	179,8	0,0578
Ділянка 40				
Розгін на 2й	3	8,89	19,16	0,00887
Перемикання 2...3	2	8,05	16,94	0,00094
Розгін на 3й	4	9,97	31,57	0,0091
Рівномірний рух на 3й	10	9,97	99,7	0,02602
Вибіг	6	7,4	52,28	0,00347
Всього	25	–	219,65	0,0484
Ділянка 41				
Гальмування	10,5	0	59,95	0,00492
Всього	10,5	–	59,95	0,00492
Зупинка 7				
Холостий хід	15	0	0	0,00702

Ділянка 42				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	1	4,77	4,85	0,00057
Рівномірний рух на 2й	14,5	4,77	69,17	0,0226
Всього	20,15	–	89,73	0,0312
Ділянка 43				
Рівномірний рух на 2й	5,2	4,77	25,28	0,01246
Всього	5,2	–	25,28	0,01246
Ділянка 44				
Розгін на 2й	6,35	8,89	36,36	0,02109
Перемикання 2...3	2	8,05	16,94	0,00094
Розгін на 3й	4	9,97	31,57	0,01399
Всього	12,35	–	84,87	0,03602
Ділянка 45				
Розгін на 3й	3	10,93	18,14	0,01192
Рівномірний рух на 3й	6	10,93	65,58	0,01504
Всього	9	–	83,72	0,02696
Ділянка 46				
Рівномірний рух на 3й	6	10,93	65,58	0,00908
Всього	6	–	65,58	0,00908
Ділянка 47				
Рівномірний рух на 3й	9	10,93	98,37	0,02256
Всього	9	–	98,37	0,02256
Ділянка 48				
Рівномірний рух на 3й	4,7	10,93	51,37	0,01178
Всього	4,7	–	51,37	0,01178
Ділянка 49				
Гальмування	13,3	0	110	0,00623
Всього	13,3	–	110	0,00623
Зупинка 8				
Холостий хід	8	0	0	0,00375
Ділянка 50				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	7,35	8,89	42,15	0,01429
Перемикання 2...3	2	8,05	16,94	0,00094
Розгін на 3й	2	9,01	15,35	0,01498
Рівномірний рух на 3й	22	9,01	198,22	0,04726
Всього	38	–	288,37	0,0855
Ділянка 51				
Вибіг	5,8	6,56	45,24	0,00272
Всього	5,8	–	45,24	0,00272
Ділянка 52				
Рівномірний рух на 2й	8,2	6,56	53,79	0,01717
Всього	8,2	–	53,79	0,01717
Ділянка 53				
Рівномірний рух на 2й	1,2	6,56	7,87	0,00251

Гальмування	8,3	0	42,91	0,00389
Світлофор	25	0	0	0,01171
Всього	34,5	–	50,78	0,01811
Ділянка 54				
Розгін на 1й	2,65	4,93	6,67	0,00719
Перемикання 1...2	2	4,12	9,04	0,00084
Розгін на 2й	7,35	8,89	42,15	0,01429
Всього	12	–	57,86	0,02232
Ділянка 55				
Вибіг	5,8	6,46	44,46	0,00272
Всього	5,8		44,46	0,00272
Ділянка 56				
Гальмування	11	0	54,44	0,00515
Всього	11	–	54,44	0,00515
Разом	1296,7	–	7080,932	2,05162

Прийнявши для розрахунків значення густини палива рівною 825 кг/м^3 , отримаємо $35,17 \text{ л/100 км}$. Дане значення відповідає витраті палива нового автобуса на даному маршруті ($33,63 \text{ л/100 км}$) з відносною похибкою $4,38\%$.

Наступним етапом моделювання була імітація несправностей з урахуванням періоду експлуатації транспортного засобу та температури навколишнього середовища.

Для кожного випадку, описаного в таблиці 4.3, було визначено коригуючі коефіцієнти k_t та k_T . В математичну модель були внесені параметри, які імітували певну несправність (табл. 4.3). Далі, отримане значення витрати палива було помножене на k_t та k_T . Результати розрахунків наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунків на математичній моделі характеру впливу типових несправностей на витрату палива

№ п/п	Борт. номер	T_e , місяців	t , °C	k_t	k_T	Витрата палива		
						Розрахункова, л/100 км	Фактична, л/100 км	Відносна похибка, %
1	7279	74	18,4	1,015	1,127	40,69	38,95	4,28
2	7288	70	-6	1,034	1,126	42,64	39,32	7,79
3	7281	71	1,7	1,009	1,127	42,39	39,9	5,87

Як видно з таблиці 4.5, відносна похибка не перевищує 8% .

4.3. Визначення базової лінійної витрати палива та її подальше коригування

Визначення базової лінійної витрати палива та її подальше коригування проводиться в декілька етапів.

1. За допомогою системи GPS визначається еталонний режим руху автобуса за визначеним маршрутом. Еталонним вважається такий режим руху, за якого автобус чітко слідує запланованому графіку, враховуючи простої на зупинках.

2. За отриманими GPS даними, весь маршрут руху розбивається на ділянки з однаковими умовами руху (прямолінійна чи криволінійна з однаковим поздовжнім ухилом).

Якщо не має можливості отримати GPS дані еталонного режиму руху автобуса за визначеним маршрутом, ділянки для подальшого математичного моделювання формуються на основі загально доступних супутникових карт, які мають можливість будувати маршрут руху в ручну та надають інформацію про GPS координати та висоту над рівнем моря (Наприклад, програма Google Планета). Швидкісні режими в даному випадку підбираються таким чином, щоб загальний час у русі, з урахуванням простоїв на зупинках, відповідав запланованому графіку руху автобуса.

3. За допомогою математичної моделі (п. 2.4) визначаємо базову лінійну витрату палива Q_i' на даному маршруті.

4. Фактична очікувана витрата палива автобуса певного періоду експлуатації за певної температури навколишнього середовища буде визначатися як добуток лінійної витрати палива та коригуючих коефіцієнтів k_t та k_T :

$$Q_s = Q_i' \cdot k_t \cdot k_T \quad (4.1)$$

Кількість палива, яку автобус витратить за зміну у літрах, буде визначатись за формулою:

$$Q_m = (Q_s \cdot S) / 100 \quad (4.2)$$

де S – загальний пробіг за зміну, км.

На рисунку 4.1 та 4.2 представлені графіки, які ілюструють динаміку зміни базової витрати палива від різних значень температури навколишнього середовища та терміну експлуатації.

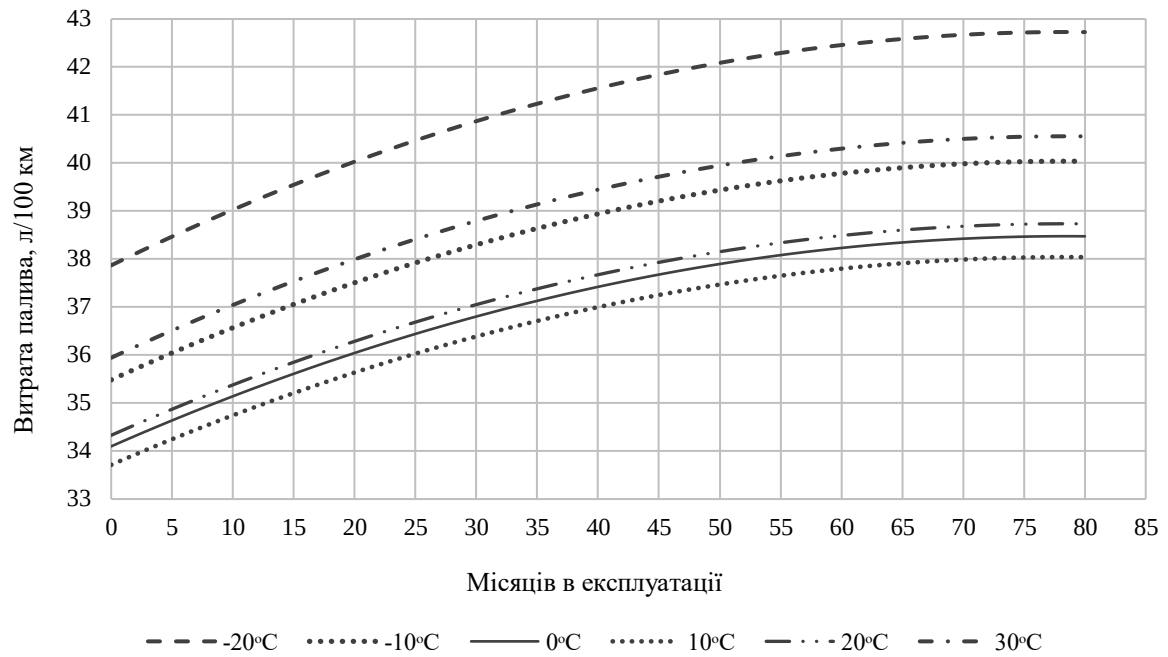


Рисунок 4.1 – Залежність базової витрати палива від температури навколишнього середовища та терміну експлуатації. Розрахункові дані.
Маршрут №48

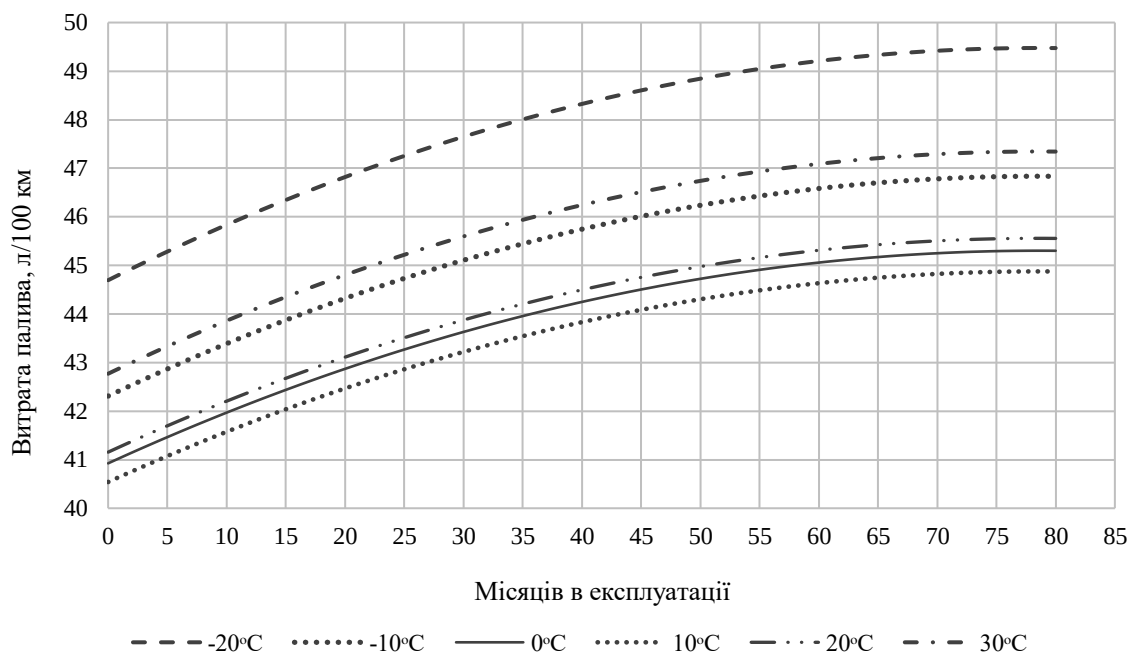


Рисунок 4.2 – Залежність базової витрати палива від температури навколишнього середовища та терміну експлуатації. Розрахункові дані.
Маршрут №55

В таблиці 4.6 наведено фактичні значення витрати палива, обрані випадковим чином, у порівнянні з розрахованими.

Таблиця 4.6 – Порівняння фактичних значень витрати палива з розрахунковими

Борт. номер	№ маршруту	Термін експлуатації, місяців	Темп. навк. серед. °С	Дата	Фактична витрата палива, л/100 км	Розрахована витрата палива, л/100 км	Відносна похибка, %
1748	48	63	+14	14.07.2017	36,63	39,46	7,17
1748	48	55	-10	31.01.2017	37,96	40,93	7,82
7288	55	63	+14	14.07.2017	45,68	47,89	4,84
1739	55	57	-14	06.01.2017	45,8	49	6,53
7167	48	74	+14	21.05.2018	37,17	39,62	6,59
1742	48	72	-7	20.03.2018	37,86	40,81	7,79
8226	55	4	+14	21.05.2018	40,73	42,86	5,23
8227	55	1	-9	23.01.2018	41,27	43,65	5,77

Як видно з табл. 4.6, результати коригування базової лінійної витрати палива досить точно відповідають фактичним значенням, а відносна похибка не перевищує 8%.

4.4. Оцінка технічного стану за допомогою контрольних карт Шухарта

Процес оцінки технічного стану за показником витрати палива в л/100 км, використовуючи контрольні карти Шухарта, проводиться у такій послідовності:

1. За допомогою методики, наведених в п. 4.3, визначаємо базову витрату палива для заданого маршруту. Отримане значення приймаємо за центральну лінію.
2. Визначаємо ВКМ та НКМ за методикою, наведеною в п. 2.2.
3. Визначаємо проміжні контрольні межі, які знаходяться на рівні $\pm\sigma$ та $\pm 2\sigma$ (див. п. 2.2).
4. В кінці зміни фіксуємо витрату палива в л/100 км, приводимо її до значення при 20 °С та наносимо на контрольну карту.

5. Перевіряємо наявність статистичного сигналу про відхилення в роботі транспортного засобу за критеріями, наведеними в п. 2.2.

6. За наявності статистичного сигналу про відхилення, направляємо автобус на поглиблене діагностування для виявлення несправності.

Приклади деяких несправностей, які були виявлені за допомогою карт Шухарта, а також несправностей, які не можливо виявити за допомогою даного інструменту, наведено на рисунках 4.3 – 4.6.

Дані представлені за період 14 днів до моменту настання відмови та 7 днів після. Для побудови контрольних карт було використано значення витрати палива певного автобусу, який весь дослідний період (14 днів до відмови, день відмови та 7 днів після відмови) здійснював рейси на одному і тому самому маршруті.



Рисунок 4.3 – Контрольна карта Шухарта витрати палива в л/100 км при несправності проміжного охолоджувача повітря.



Рисунок 4.4 – Контрольна карта Шухарта витрати палива в л/100 км при спусканні лівого внутрішнього колеса.



Рисунок 4.5 – Контрольна карта Шухарта витрати палива в л/100 км при несправності дверей в салоні.

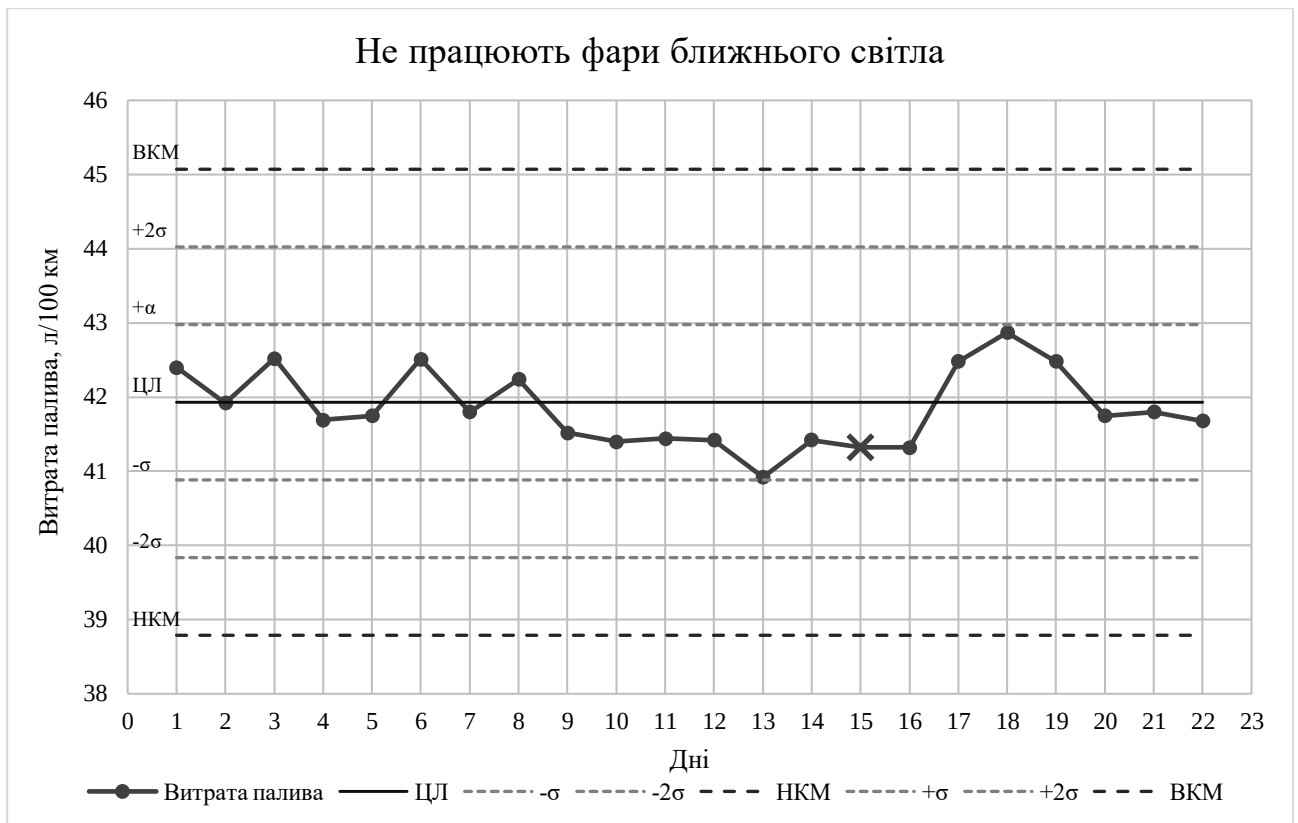


Рисунок 4.6 – Контрольна карта Шухарта витрати палива в л/100 км при несправності фари ближнього світла.

В результаті проведених досліджень було виявлено, що усі несправності, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів можна розділити на 2 основні групи: ті, що впливають на витрату палива та ті, що на неї не впливають.

Цікавим є те, що частина несправностей призводить до майже миттєвого збільшення витрати палива, а частина – до поступового.

Наприклад, заклинювання коліс призводить до майже миттєвого збільшення витрати палива оскільки викликане, як правило, неповним розгальмуванням. Це, в свою чергу, провокує виникнення додаткової сили тертя, яка чинить опір руху транспортного засобу і вимагає додаткових витрат палива на її подолання. В результаті дослідження, всі подібні несправності було виявлено за основним критерієм (коли контрольний показник виходить за межі контрольних ліній), що свідчить про те, що часткове заклинювання суттєво збільшує опір руху транспортного засобу. В окремих випадках збільшення витрати палива сягало до 16%.

З іншого боку, така несправність як зменшення тиску в шинах, призводить до поступового збільшення витрати палива і, за результатами дослідження була виявлена за додатковим критерієм (6 послідовно зростаючих точок). Поступове зменшення тиску в шинах виникає внаслідок негерметичності самої шини або через несправності ніпеля і призводить до поступового збільшення коефіцієнту опору кочення, що відображається на витраті палива. В середньому, внаслідок зменшення тиску в шинах, було зафіксовано збільшення витрати палива до 8%.

Характерні несправності системи охолодження можна розділити на дві групи: раптовий вихід з ладу окремих її елементів та підтікання в системі. Так, відмова гідромуфти вентилятора чи циркуляційного насосу призводить до раптового збільшення витрати палива внаслідок різкого зменшення ефективності охолодження двигуна та підвищення діапазону його робочих температур, що веде до підвищеної випаровуваності палива та його перевитрати. В залежності від характеру несправності, спостерігається збільшення витрати палива на 6...13%. Підтікання в системі охолодження призводить до збільшення витрати палива до 5% і в результаті дослідження не було виявлено статистичних сигналів, які б дозволили встановити несправності даного виду.

Втрата герметичності пневмосистеми підвіски та гальм, яка проявляється у вигляді витоку повітря через з'єднувальні елементи, призводить до падіння тиску в системі. Як наслідок, для підтримання нормального тиску компресор має додатково накачувати повітря і це призводить до збільшення витрати палива на його привід. В більшості випадків несправності такого типу призводять до збільшення витрати палива в межах 5% за винятком витоку повітря у вологовідділювачі, який призводить до збільшення витрати палива до 12%. Це пояснюється тим, що, через негерметичність вологовідділювача, частки води та оливи, замість того, щоб в ньому конденсуватися, потрапляють в пневмосистему, утворюючи емульсію, яка забруднює пневмоканали і тим самим підвищує їх опір. На подолання додаткового опору, компресором витрачається додаткова енергія, яка призводить до підвищення витрати палива.

Обриви приводного ремня навісного обладнання двигуна супроводжувались різким збільшенням витрати палива на рівні 6...8%, яке трималося 3...6 днів до моменту настання відмови. Дане явище пояснюється тим,

що матеріал долає границю тривкості, наступає гранична деформація (граничне значення розтягу), натяг ременя зменшується, виникають проковзування. В залежності від навантажень на двигун, ремінь в такому стані знаходиться певний час після чого наступає розрив.

Найбільш очевидною несправністю, яка впливає на витрату палива є підтікання в системі живлення. Несправності такого виду характеризуються різким збільшенням витрати палива (до 30% в залежності від інтенсивності підтікання). Як правило, настають раптово.

Несправність зовнішніх світлових приладів, генератора, стартера, відсутність заряджання акумуляторної батареї та живлення на споживачах панелі приладів не можливо було виявити за показником витрати палива, оскільки всі вони пов'язані зі зниженням навантаження на електричну мережу, а отже, мають призводити до незначного зменшення її значень.

Найпоширенішими елементами кузова, у яких виникають несправності, є двері та люк. Інколи зустрічаються тріщини скла (лобового або бокових вікон), несправності елементів салону та підлоги. Відмови такого виду не можливо виявити за показником витрати палива, оскільки вони виникають миттєво та не мають зв'язку з силами опору руху.

Також до відмов, які не вдалося визначити за допомогою показника витрати палива відносяться:

- люфт рульового керування, оскільки він характеризує сумарний зазор між елементами рульового керування і, як наслідок, впливає лише на кількість обертів рульового колеса, яку необхідно зробити для повороту, а не на сумарний опір коченню;
- підтікання гідравлічної рідини з підсилювача керма;
- підтікання в системі мащення, оскільки загальний об'єм оливи в двигуні досить великий і незначні підтікання не впливають на ефективність мастильного процесу в цілому;
- прогорання глушника, оскільки, по суті, дана несправність зменшує загальний гідравлічний опір системи, а отже, теоретично, призводить

до незначного зменшення витрати палива, яку можна прийняти за статистичну похибку.

Несправності коробки передач, пов'язані з перемиканням передач, в більшості випадків можуть бути виявлені водієм в процесі експлуатації. Найбільш суттєвий вплив на витрату палива має відсутність можливості увімкнення третьої передачі, оскільки режим руху міського автобуса такий, що більшу частину часу він курсує на I...III передачах. Якщо не вмикається 3-я передача, це означає, що ділянки, які б водій міг проїхати на ній, він змушений долати на 2-й передачі на підвищених обертах, що в свою чергу, призводить до збільшення витрати палива (до 8% за результатами дослідження).

4.5. Рекомендації щодо впровадження методики оцінки технічного стану за показником витрати палива

Запропонована методика оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива може бути використана для всіх маршрутів і автобусних парків міста Київ та України в цілому. Також її можна використовувати для оцінки технічного стану вантажних автомобілів, які здійснюють міські, міжміські вантажні перевезення. Обов'язковою умовою ефективного її використання є обладнання рухомого складу датчиками рівня палива або диференціальними витратомірами та системою GPS.

На першому етапі впровадження необхідно сформувати вихідні данні для розрахунку базової лінійної витрати палива для певного маршруту руху, до яких належать:

- габаритні розміри транспортного засобу;
- масові показники транспортного засобу – повна маса, споряджена маса та маса пасажирів чи вантажу;
- передаточні числа коробки передач та головної передачі;
- геометричні параметри коліс – діаметр ободу, висота профілю; динамічний радіус та радіус кочення;
- зовнішня швидкісна характеристика двигуна;

- момент інерції маховика та коліс;
- GPS дані маршруту руху.

Габаритні розміри, передаточні числа коробки передач і головної передачі та масові показники приймаються з технічної характеристики транспортного засобу. Геометричні параметри коліс можуть бути отримані з технічної характеристики шин або шляхом розшифрування її маркування. Динамічний радіус колеса визначається за формулою (2.11). Радіус кочення визначається за формулою (2.12). В дану формулу входить показник шляху, яке колесо пройшло за певну кількість обертів, що є одним з параметрів технічної характеристики шини.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна, як правило, наведена в спеціалізованій літературі виробника (наприклад, [110]). Якщо відомі тільки дві точки характеристики двигуна, то розрахункові її значення можна отримати за формулами (2.16) – (2.19).

Момент інерції маховика і деталей трансмісії, зв'язаних з ним, наводиться в спеціальній літературі, так само як і момент інерції колеса.

GPS дані маршруту руху визначаються експериментально або шляхом побудови маршруту руху автобуса у спеціалізованому картографічному програмному забезпеченні (наприклад, Google Планета). Висоту над рівнем моря варто уточнювати за базами даних NASA SRTM1 та NASA SRTM3 через сервіс [111], який має можливість додавати до маршруту, заданого у системі координат «довгота–широта», висоту над рівнем моря та розрахункові дані швидкості, поздовжнього ухилу дороги та сумарного шляху.

При розрахунках гальмівних властивостей за формулами (2.44) – (2.46), значення усталеного сповільнення можуть бути прийняті на основі фактичних експериментальних даних як відношення різниці швидкості у початковій та кінцевій точках гальмування до часу гальмування. Проте слід враховувати, що прийняті при розрахунках значення повинні забезпечувати виконання вимог стандарту ДСТУ 3649:2010 «Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання».

Для маршрутів, які мають невеликий пасажиропотік, з метою підвищення точності розрахунків, повну масу автобуса доцільно приймати як суму

спорядженої маси та добутку середньої маси одного пасажирів на середню кількість пасажирів за рейс. З достатньою для розрахунків точністю, середня маса одного пасажирів може бути визначена за формулою (2.10).

На підставі вихідних даних, за методикою, наведеною в п. 4.3, визначається базова витрата палива для заданого маршруту. За формулами (3.3) та (3.6) визначаються коефіцієнти коригування, які враховують температуру навколишнього середовища та термін експлуатації автобуса. За формулами (4.1) розраховується фактична очікувана витрата палива автобусом на певному маршруті та кількість палива, яку автобус витратить за зміну за формулою (4.2).

На етапі проведення контролю технічного стану транспортного засобу, спираючись на отримані розрахункові дані, за методикою, представленою в п. 2.2, визначаються контрольні межі для побудови карт Шухарта за критерієм витрати палива. Контрольні межі та центральна лінія наносяться на аркуш паперу чи заносяться на окремий лист програмного середовища Excel.

Далі, за алгоритмом, представленим в п. 4.4, шляхом нанесення значень на карту Шухарта, проводиться контроль витрати палива. Облік доцільно здійснювати для кожного автобуса в рамках одного маршруту. Тобто, витрата палива одним і тим же автобусом на різних маршрутах заносяться в різні карти послідовними точками, не пропускаючи дні, коли він працював на іншому маршруті. Якщо побудова контрольних карт проводиться в ручну, то оптимальна кількість точок для однієї карти становить 30, що відповідає одному повному місяцю експлуатації. Якщо побудова проводиться за допомогою програмного забезпечення, наприклад Excel, то кількість точок можна збільшити до 60. На одну карту не варто наносити більше 90 послідовних точок, оскільки це може погіршити її наочність та викликати помилки в процесі виявлення несправностей.

За наявності статистичного сигналу про відхилення у технічному стані, автобус направляється на діагностування. Критерії присутності статистичного сигналу про нестабільність системи наведені в п. 2.2. Під час діагностування, в першу чергу перевіряється наявність найбільш характерних несправностей, перелік яких зазначений в п. 4.4. За результатами діагностування приймається

рішення про необхідність направлення транспортного засобу в один з ремонтних підрозділів підприємства.

Оцінка технічного стану вантажних автомобілів, що здійснюють збірні перевезення в межах міста, здійснюється за тим самим принципом, що і автобусів. Основним ускладненням в даному випадку є облік маршруту руху.

Найбільш ефективно використання запропонованої методики можливе за умови, що маршрут руху буде спланований заздалегідь і водій буде суворо його дотримуватись. Також мають бути враховані зміни маси транспортного засобу, які виникають в наслідок відвантаження частини вантажу чи додаткового дозавантаження у відповідних пунктах. Виходячи з цього обмеження, найбільш раціональним використання даної методики вбачається для оцінки технічного стану вантажних автомобілів, які здійснюють регулярну доставку між заздалегідь відомими пунктами навантаження / розвантаження, наприклад доставка продуктів і хлібних виробів в магазини чи будівельних матеріалів на будмайданчик.

Використання запропонованої методики з метою оцінки технічного стану автомобілів, що здійснюють адресні доставки до будинків населення, потребує урахування особливостей режиму руху по передбудинкових територіях, що суттєво ускладнює розрахунки базової лінійної витрати палива. Окрім цього, досить часто бувають випадки, коли такі доставки відмінюють чи переносять на інший час, що змушує водія міняти маршрут, а отже розрахункові значення можуть суттєво відрізнятися від фактичних, тому для таких видів вантажних перевезень використовувати запропоновану методику не доцільно.

Для міжміських вантажних перевезень характерними є значні добові пробіги (від 300 до 1000 км). Це означає, що статистичний сигнал про несправність може виникнути в момент, коли водій знаходиться в рейсі. Виходячи з цього, якщо в попередніх випадках значення витрати палива можливо контролювати один раз в кінці зміни, то у випадку з міжміськими та міжнародними вантажними перевезеннями, автомобіль має бути обладнаний системою моніторингу витрати палива, яка дає можливість безперервного контролю її значення, та системою зв'язку з диспетчером, який би міг

попередити про ймовірність настання несправності та надати рекомендації щодо її попередження чи необхідності зміни режиму руху. В іншому, впровадження методики здійснюється за тим самим алгоритмом, що і для міських пасажирських та вантажних перевезень.

4.6. Потенційний економічний ефект від впровадження методики оцінки технічного стану за показником витрати палива

Потенційний економічний ефект від впровадження методики оцінки технічного стану за показником витрати палива можна оцінити кількістю зекономленого палива внаслідок своєчасного виявлення технічної несправності, яка призводить до перевитрати. Тобто, якщо в процесі експлуатації автобуса було зафіксовано підвищену витрату палива, яка більша за розрахункові значення верхньої контрольної межі – це є статистичним сигналом для направлення автобуса на діагностування і подальше усунення несправності.

Для розрахунку кількості палива, яке потенційно можна було зекономити у 2017 році, з усього об'єму статистичних даних щодо витрати палива дослідними автобусами в період з 1.01.2017 по 31.12.2017 було визначено періоди, коли витрата палива відрізнялась від нормативної більше ніж на 7%, що відповідає контрольним межам для запропонованої методики, у продовж більше ніж 2х днів. Далі було визначено різницю між фактичною витратою та нормативним значеннями в ці періоди. Загальна кількість потенційно зекономленого палива представляє собою суму значень за всі відповідні періоди. При розрахунках не враховувалось перевитрата у день, коли вона вперше була зафіксована.

За результатами аналізу було встановлено, що кількість палива, яке потенційно можна було зекономити становить 3669,23 літрів за рік. Якщо прийняти до уваги, що середня вартість дизельного палива в 2017 році становила 23,9 грн., то вартісний еквівалент зазначеної потенційної економії становить:

$$E = 3669,23 \cdot 23,9 = 87694,60 \text{ грн.}$$

Висновки за розділом 4

1. Обґрунтовано вихідні дані для аналітичного дослідження взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів на математичній моделі з урахуванням особливостей маршруту експлуатації, температури навколишнього середовища та зміни технічного стану внаслідок нормального використання за призначенням.

2. За результатами математичного моделювання було встановлено, що розрахункові значення витрати палива в л/100 км відповідають фактичному її значенню для нових автобусів на певному маршруті з відносною похибкою на рівні 4,38%. При імітації характерних несправностей в процесі математичного моделювання, відносна похибка результатів становить 4,28...7,79%.

3. Представлено рекомендації щодо використання методики визначення базової лінійної витрати палива та її подальшого коригування в залежності від температури навколишнього середовища та терміну експлуатації міських автобусів. Підтверджено її достовірність відносною похибкою щодо фактичних значень витрати палива на рівні 4,84...7,82%.

4. Підтверджено, що контрольні карти Шухарта доцільно використовувати в якості інструменту контролю технічного стану міських автобусів за показником витрати палива. Наведено рекомендації щодо використання методики визначення несправностей за показником витрати палива, яка базується на використанні контрольних карт Шухарта. Обґрунтовано категорії несправностей, які можуть бути попереджені за допомогою представленої методики.

5. Розроблено рекомендації щодо впровадження та використання методики оцінки технічного стану за показником витрати палива на підприємствах, що здійснюють пасажирські та вантажні перевезення у регіонах України.

6. Оцінено потенційний економічний ефект від використання запропонованої методики виявлення несправностей за показником витрати палива, вартісний еквівалент якого складає 87694,60 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання оцінки технічного стану міських автобусів категорії М3 класу І за показником витрати палива, що дозволить попередити частину відмов, які супроводжуються перевитратою палива і, як наслідок, зменшити загальнорічну його витрату, і дещо зменшити загальну собівартість перевезень. Вирішення поставленої задачі дозволило одержати наступні наукові та практичні результати:

1. В результаті аналізу наукових джерел було встановлено, що показник витрати палива достатньо чутливий до змін умов експлуатації, має пряму кореляцію з рядом несправностей та конструктивних параметрів рухомого складу і тому може бути використаний в якості критерію для оцінки технічного стану міських автобусів категорії М3 класу І.

2. Для визначення базової витрати палива автобусом удосконалено методику, яка враховує особливості режимів руху на заданому маршруті, зміни температури навколишнього середовища та погіршення технічного стану його складових частин з часом внаслідок нормального використання за призначенням.

3. Для оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива запропоновано методику, яка базується на використанні контрольних карт Шухарта та враховує особливості умов експлуатації міських автобусів за певним маршрутом.

4. Підтверджено залежність витрати палива міськими автобусами від кліматичних умов та отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища, яке забезпечує значення коефіцієнту детермінації на рівні 0,898...0,921.

5. Підтверджено залежність витрати палива міськими автобусами від терміну їх експлуатації та отримано рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації, яке забезпечує значення коефіцієнту детермінації на рівні 0,895...0,958.

6. Уточнено, що зі збільшенням терміну експлуатації міських автобусів збільшується кількість відмов електрообладнання, системи охолодження, коліс, гальмівної системи, підвіски, коробки передач та двигуна, в той час як відмови системи випуску відпрацьованих газів, системи мащення, системи живлення, кузова та рульового керування виникають рівномірно впродовж усього періоду експлуатації. Загальна кількість відмов на одиницю рухомого складу за дослідний період лежить в межах 0,12...3,81.

7. Встановлено найбільш характерні несправності, які виникають в процесі експлуатації міських автобусів, до яких належать: несправності зовнішніх світлових приладів – 18,84%, зменшення тиску в шинах – 5,38%, негерметичність системи охолодження – 10,66%, негерметичність пневмосистеми гальм – 4,41%, несправності супортів і дисків – 4,41%, несправності дверей салону – 5,06%, несправності люка салону – 3,77%, негерметичність пневмосистеми підвіски – 4,41% від загальної кількості несправностей за дослідний період. Наявність цих несправностей призводить до збільшення витрати палива від 5% до 16%.

8. Проведено аналітичне дослідження взаємозв'язку між технічним станом та витратою палива міських автобусів на математичній моделі в результаті якого встановлено, що розрахункові значення витрати палива в л/100 км відповідають фактичному її значенню для нових автобусів на певному маршруті з відносною похибкою на рівні 4,38%. Відносна похибка розрахункових значень витрати палива при імітації характерних несправностей лежить в межах 4,28...7,79%. Запропонована методика визначення базової витрати палива забезпечує похибку на рівні 4,84...7,82%.

9. Підтверджено доцільність використання контрольних карт Шухарта як інструменту для виявлення несправностей коліс, системи охолодження, пневмосистеми підвіски та гальм. Встановлено, що для виявлення несправностей електрообладнання, люфтів у рульовому керуванні, підтікань в системі мащення та несправностей системи випуску відпрацьованих газів використання контрольних карт Шухарта недоцільне.

10. Результати теоретичних та експериментальних досліджень прийняті до впровадження Державним підприємством «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (м. Київ), Автобусним парком №2 КП «Київпаstrans» (м. Київ) та в навчальному процесі Національного транспортного університету (м. Київ) при підготовці фахівців спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Савостін-Косяк Д. О. Оцінка технічного стану міських автобусів в умовах експлуатації. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* Київ : НТУ, 2019. Вип. 3 (45), С. 146-153.
2. Савостін-Косяк Д. О. Дослідження паливної економічності міських автобусів, використовуючи імітаційне математичне моделювання. *Матеріали LXXV наукової конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* Київ : НТУ, 2019. с. 88.
3. Сахно В. П., Свостін-Косяк Д. О. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* Київ : НТУ, 2017. Вип. 1 (37), С. 373-380.
4. Сахно В. П., Свостін-Косяк Д. О. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* – Київ : НТУ, 2017. – Вип. 3 (39), С 141-150.
5. Савостін-Косяк Д., Сахно В. Дослідження витрати палива міських автобусів з дизелем шляхом математичного моделювання. *Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy.* Seria Transport № 9. Rzeszów : Politehnika Rzeszowska, 2017. С. 95–103.
6. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О., Кудашева В. О. До обґрунтування взаємозв'язку витрати палива та періоду експлуатації міських автобусів з дизелем. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* Київ : НТУ, 2019. Вип. 1 (43), С. 178-186.
7. Іванушко О., Савостін-Косяк Д. До обґрунтування взаємозв'язку між витратою палива та технічним станом транспортних засобів на прикладі міських

автобусів з дизелем. *Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy.* – Seria Transport № 14. Rzeszów : Politehnika Rzeszowska, 2018. С. 61–68.

8. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Дослідження впливу умов експлуатації на паливну економічність міських автобусів. *Матеріали LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* Київ : НТУ, 2018. с. 70

9. Мороз М.М. Удосконалення транспортної системи пасажирських перевезень м. Кременчук. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво).* Полтава : ПолтНТУ, 2014. Вип. 2 (41), С. 156-164.

10. Российская автотранспортная энциклопедия : Практ. рекомендации и норматив. база / Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (Техн. ун-т) и др.; Гл. науч. ред. – Е.С. Кузнецов. – Т. 3; Вып. 2: Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт автотранспортных средств : Справ. и науч.-практ. пособие для специалистов отрасли "Автомобил. трансп.", для студентов и науч. сотрудников профил. учеб. заведений, НИИ / [Луканин В.Н. и др.]. – [2001]. – 455 с.

11. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. М.: Наука, 2001. 525 с.

12. Кузнецов Е.С. Технической эксплуатация автомобилей в США. М.: "Транспорт", 1978. 168 с.

13. Кравченко О. П. Технічна експлуатація автомобілів. Теоретичні основи : навчальний посібник. Луганськ : СЛУ, 2005. 104 с.

14. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М. : Транспорт, 1990. 135 с.

15. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1990. 272 с.

16. Коржинек Ф. Грузовые автомобили и направление их технического развития. *«Автомобиль»*. 1959, № 12. *Сборник аннотаций и рефератов иностранной периодической литературы по вопросам автомобильного транспорта*. Автотрансиздат. 1960. № 7. (НИИАТ).

17. Бабков В. Ф. Автомобильные дороги (основные сведения о дорогах для автомобилистов). Автотрансиздат, 1960. 127 с.

18. Маринкевич П. Т. О текущем ремонте автомобилей при работе их в тяжелых условиях эксплуатации. *Автомобильный транспорт*. 1957. №11.

19. Форнальчик Є. Ю., Оліскевич М. С., Мاستикаш О. Л., Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: навчальний посібник : за загальною ред. Є. Ю. Форнальчука. Львів : Афіша, 2004. 492 с.

20. Хасанов Р. Х. Основы технической эксплуатации автомобилей : учебное пособие. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. 193 с.

21. Коваленко Н. А., Лобах В. П., Веприцев Н. В. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. пособие. Минск : Новое знание, 2008. 352 с.

22. Американские исследования о влиянии холодного пуска и состояния смазочного масла на износ двигателя. *Автомобиль Ревю*. 1959. IX, № 41. *Сборник аннотаций и рефератов иностранной периодической литературы по вопросам автомобильного транспорта*. Автотрансиздат. 1960. № 2 (НИИАТ).

23. Розе З. Я. Работа автомобильного транспорта в угольных разрезах Кузбасса. *Опыт работы предприятий автомобильного транспорта*. ГИНТИ, 1961.

24. W. Babski Analiza ekonomicznej celowosci garazowego i bezgarazowego przechowywania pojazdow. *Motoryzacja*. 1960. № 9.

25. Сметана С. О. Вдосконалення методу визначення раціонального режиму профілактичного обслуговування транспортних засобів застосуванням моніторингу витрати палива : дис. ... канд. техн. Наук : 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». Луганськ, 2002. 204 с.

26. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : учеб. пособие для вузов. М. : Транспорт, 1985. 215 с.

27. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей. Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. 312 с.
28. Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів : Наказ Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 № 550 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1453-13> (дата звернення: 12.03.2017).
29. Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности изделий: ГОСТ 21624-81. – Переизд. июнь 1987. – Взамен ГОСТ 21624–76; введ. 01.01.83.
30. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей: ГОСТ 16350-80. – Переизд. сент. 1985. – Взамен ГОСТ 16350-70; введ. 01.07.81.
31. Дмитриевский А. В., Шатров Е. В. Топливная экономичность бензиновых двигателей. М. : Машиностроение, 1985. 208 с.
32. Колосюк Д. С. Зеркалов Д. В. Експлуатаційні матеріали : підручник, 2-е видання, доповнене. К. : Арістей, 2005. 241 с.
33. Григорьев М. А., Бунаков Б. М., Долецкий В. А. Качество моторного масла и надежность двигателей. М. : Изд-во стандартов, 1981. 231 с.
34. Пасажирооборот та кількість перевезених пасажирів // База даних «Транспорт» / Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstst.gov.ua>. (дата звернення: 12.03.17)
35. Енергетичний баланс України // База даних «Енергетика» / Державна служба статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/energ.htm. (дата звернення: 12.03.17).
36. Демидов Н. Автомобильные грузовые перевозки. Структура составляющих себестоимости автоперевозок // Журнал «Эксперт». URL: http://6pl.ru/Vlad_st/zp.htm. (дата звернення: 12.03.17)
37. Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті: Наказ Міністерства транспорту України від

10.02.1998 № 43 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/rada/show/v0043361-98>. (дата звернення: 12.03.17)

38. Редзюк А. М. та ін. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Третя редакція / ДП «ДержавтотрансНДІпроект». Київ : Видавництво НВЦ «ІнформАвтоДор», 2012. 119 с.

39. Кривошапов С. И. Нормирование расхода топлива на транспорте. *Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ"*. Луцьк, 2014. Вип. 45, С. 308–316.

40. Сахно В. П., Костенко А. В., Загороднов М. І. та ін. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів : навчальний посібник. Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. 444 с.

41. Сахно В. П. Корпач О. А. Математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ : НТУ, 2012. № 25, С. 193-196.

42. Сахно В. П., Корпач О. А. Уточнена математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу. *Вісник СевНТУ. Сер. : Машиноприладобудування та транспорт*. Київ : НТУ, 2013. Вип. 142, С. 48-51.

43. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». Москва : Машиностроение, 1989. 240 с.

44. MOVES2014a User Guide / Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency. EPA document number: EPA-420-B-15-095, November, 2015. URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100NNCY.txt> (last access: 20.03.17).

45. Sovran G. Formulation for the Tractive Energy Requirement of Vehicles During the EPA Schedules / Sovran G., M.S. Bohn. – SAE document number: 810184, 1981.

46. Nam, E.K. Proof of Concept Investigation for the Physical Emission Rate Estimator (PERE) for MOVES / Nam, E.K. EPA document number: 420-R-03-005, February, 2003.

47. José L. Jiménez Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies / José L. Jiménez, Peter McClintock, G.J. McRae, David D. Nelson and Mark S. Zahniser. 9th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, San Diego, April 21st 1999.

48. Edward K. Nam Fuel Consumption Modeling of Conventional and Advanced Technology Vehicles in the Physical Emission Rate Estimator (PERE) / Edward K. Nam, Robert Giannelli. EPA document number: 420-P-05-001, February 2005.

49. Thomas M. Development of Second-by-second Fuel Use and Emissions Models Based on an Early 1990s Composite Car / Thomas, M., M. Ross. SAE document number: 971010, 1997.

50. Bishop J. S. Proposed Efficiency Rating for Automatic Transmissions / J. S. Bishop, M. A. Kluger. SAE document number: 960425, 1996.

51. Weiss M. A., Heywood J. B., Drake E. M., Schafer A., AuYeung F. F. On the Road in 2020 – A Life Cycle Analysis of New Automobile Technologies. *Massachusetts Institute of Technology Energy Laboratory Report*. MIT EL 00-003, October, 2000.

52. Варфоломеев В. Н. Научные основы построения и реализации технологии поддержания автомобилей в работоспособном состоянии на базе диагностической информации: дис ... докт. техн. наук. Харьков, 1992. – 450 с.

53. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность: ГОСТ Р 27.606-2013. – Изд. 2014. введ. 01.06.2014.

54. Волков В. П. Матейчик В. П., Смешек М., та ін. Інформаційні технології в технічній експлуатації автомобілів: навчальний посібник. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. 324 с.

55. Пестриков В. М., Евкарпиев В. Е. Особенности диагностики современных автотранспортных средств. *ТТПС*. 2014. №4 (30), С. 14-19.
56. Волков В. П., Матейчик В. П., Комов П. Б. та ін. Інформаційні технології в технічній експлуатації автомобілів: навч. посіб. для студентів автомоб.-дорож. вузів і ф-тів / за заг. ред. В. П. Волкова. Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т. Харків: ХНАДУ, 2015. 387 с.
57. Off-Board Diagnostic Connector: SAE J1939/13_201610. – Publ. 25.11.2016. SAE International, 17 p. Issued 07.1999.
58. Кунафин А. Ф., Саматов Р. А. Совершенствование системы технического обслуживания автомобилей на основе использования спутниковых систем мониторинга. *Никоновские чтения*. 2011. №16, С.384-385.
59. Спутниковый контроль, аналитика и управление транспортом // Материалы сайта scout-gps.ru / Группа компаний «СКАУТ». URL: <http://scout-gps.ru>
60. Волошина Н. А. Разработка режимов для технического обслуживания транспортных машин на основе диагностической информации: дис...канд. техн. наук : 05.22.20. Харьков, 2001. 233 с.
61. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 551 с.
62. Фурмаков Е. Ф., Гусев В. С. Измерение массового расхода топлива на двигателях ПС-90А. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2003. № 6, С. 112–114.
63. Мармут И. А. Контроль расхода топлива автомобилей на линии. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып. : Автомобиле- и тракторостроение*. Харьков: НТУ "ХПИ", 2014. № 9 (1052), С. 43-49.
64. Молев Ю. И., Мошков П. С., Соколов Д. А., Тихомиров А. Н., Щербаков В. В. Методика определения расхода топлива автомобиля с использованием данных диагностического протокола OBD II. *Фундаментальные исследования*. 2015. №8-1, С.74-78.

65. Кошевой Н. Д., Гусев С. С. Разработка и исследование системы контроля расхода топлива. *Автомобильный транспорт*. 2013. №32. С. 41-46.

66. Блохин А. Н., Молев Ю. И., Мошков П. С., Тихомиров А. Н. Сравнительный анализ определения расхода топлива автомобиля с использованием расходомера DFL3x-5bar и расчётным методом с помощью данных диагностического протокола OBD II. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. №1-1. С. 21.

67. Consumption calculation of vehicles using OBD data / Adriano Alessandrini, Francesco Filippi, Fernando Ortenzi / Centre For Transport and Logistics, University of Rome “La Sapienza”. URL: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/conference/ei20/session8/aalessandrini.pdf> (дата звернення: 05.12.2016)

68. Estimation of Fuel Consumption using In-Vehicle Parameters / Min Goo Lee, Yong Kuk Park, Kyung Kwon Jung and Jun Jae Yoo / U-embedded Convergence Research Center, Korea Electronics Technology Institute. URL: http://www.sersc.org/journals/IJUNESST/vol4_no4/3.pdf (дата звернення: 05.12.2016)

69. Башта Т. М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для вузов. 2-е издание, переработанное. Москва: Машиностроение, 1982. 423 с.

70. Метрологія. Густина світлих нафтопродуктів. Теплиці перерахунку густини до 15°C та 20°C і до умов вимірювання об'єму: ДСТУ ГОСТ 8.599:2016. Вид. 2016. Чинний з 01.09.2016.

71. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 1. 5-е изд. перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.

72. Motor vehicle fuel level sensor: US6367325 B1 ; заявл. 13.01.2000 ; опубл. 9.04.2002, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US6367325> (дата звернення: 10.12.2016).

73. Fuel level sensor: US6571626 B1 ; заявл. 11.10.2001 ; опубл. 3.06.2003, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US6571626> (дата звернення: 10.12.2016).

74. Magnetic resistive fuel level sensor for automotive vehicles and similar: WO2007106964 A1 ; заявл. 20.03.2007 ; опубл. 27.09.2007, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/WO2007106964A1> (дата звернення: 10.12.2016).

75. Fuel level sensor: US7530269 B2 ; заявл. 21.08.2006 ; опубл. 12.05.2009, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US7530269> (дата звернення: 10.12.2016).

76. Wireless fuel level sensor for a vehicle fuel tank: US8134469 B2 ; заявл. 27.10.2010 ; опубл. 13.03.2012, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US8134469> (дата звернення: 10.12.2016).

77. Fuel level sensor and fuel tank assembly: US20130146604 A1 ; заявл. 13.12.2011 ; опубл. 13.06.2013, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US20130146604> (дата звернення: 10.12.2016).

78. Ultrasonic fuel level monitoring device: US7287425 B2 ; заявл. 16.05.2005 ; опубл. 30.10.2007, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US7287425> (дата звернення: 10.12.2016).

79. System and process for monitoring vehicle fuel level: US 20090056436 A1 ; заявл. 31.08.2007 ; опубл. 5.03.2009, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US20090056436> (дата звернення: 10.12.2016).

80. Fuel tank level monitoring system and method: CA 2546993 C ; заявл. 01.12.2004 ; опубл. 19.04.2011, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/CA2546993C> (дата звернення: 10.12.2016).

81. Ultrasonic liquid level monitoring system: US 8104341 B2 ; заявл. 25.03.2009 ; опубл. 31.01.2012, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US8104341> (дата звернення: 10.12.2016).

82. Externally viewable fuel level monitor on a vehicle: US 20130278402 A1 ; заявл. 19.04.2012 ; опубл. 24.10.2013, Google Patents. URL: <https://www.google.com.ua/patents/US20130278402> (дата звернення: 10.12.2016).

83. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2. / Под общ. ред. Е. А. Шориикова. 5-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.

84. Средства измерения расхода, объёма или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения: ГОСТ 15528-86. – Изд. 1987. – Взамен ГОСТ 18083–72, ГОСТ 15528-70; введ. 01.01.88.

85. Трихунков М. Ф. Транспортное производство в условиях рынка: качество и эффективность. М.: Транспорт, 2008. 501 с.

86. Кількість перевезених пасажирів за видами транспорту // База даних «Транспорт» / Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstst.gov.ua>. (дата звернення: 14.03.17)

87. Фінансові звіти / КП «Київпастрас». URL: http://kpt.kiev.ua/information/about-kyivpastrans/Finansovi_zviti/. (дата звернення: 14.03.17)

88. Железняк О. О., Олещенко Л. М. Визначення собівартості пасажирсько-транспортного процесу. *Актуальні проблеми економіки*. 2012. №11, С. 218-226.

89. КП "Киевпасстрас" // База даних «Київ» / Матеріали сайту «Автобусний транспорт». URL: <http://fotobus.msk.ru/city/24/>. (дата звернення: 10.06.2018)

90. У Києві розроблять цільову програму з підвищення безпеки дорожнього руху / Матеріали сайту *kmr.gov.ua* // Київська міська рада. URL: <https://kmr.gov.ua/uk/content/u-kyyyevi-rozroblyat-cilovu-programu-z-pidvyshchennya-bezpeky-dorozhnogo-ruhu>. (дата звернення: 26.11.2018)

91. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія : підручник. К.: Вища шк., 2007. 527с.

92. Іванушко О., Сахно В. Обґрунтування та вибір критеріїв до моделювання раціональних режимів технічного обслуговування і ремонту. *Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. Seria Transport № 10. Rzeszów: Politehnika Rzeszowska, 2017. С. 35–44.*
93. B. W. Ang, T. F. Fwa, & C. K. Poh (1991) A Statistical Study On Automobile Fuel Consumption – *Energy*, Vol. 16, No. 8, pp. 1067-1077.
94. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир, 1980. 511 с.
95. Принципи та інструменти управління якістю: навчальн. посіб. / Укл. С. І. Андрусенко, О. С. Бугайчук. К.: НТУ, 2006. 72 с.
96. ДСТУ ISO 8258-2001. Статистичний контроль. Контрольні карти шухарта // Законодавча база / ДНАОА. URL: https://dnaop.com/html/34003/doc-ДСТУ_ISO_8258-2001 (дата звернення: 24.04.2019).
97. Нив Г. Р. Пространство доктора Деминга. М.: МГИЭТ (ТУ), 1996. 344 с.
98. Біліченко В. В., Підгаєць В. В., Ткаченко М. М. Вплив температури повітря на витрату палива автомобілів. *Міжвузівський збірник "Наукові Нотатки"*. Луцьк., 2012. Вип. №37, С. 27-30.
99. Фаробин Я. Е., Шуляков В. С. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок. М.: Транспорт, 1983. 200 с.
100. Автобусы МАЗ 203. Руководство по эксплуатации // ВАТ «МАЗ». Мінськ, 2016. URL: <http://maz.by/media/10194/203-рз-2016.pdf>. (дата звернення: 26.02.17).
101. Единообразные предписания, касающиеся подлежащих принятию мер по ограничению выбросов загрязняющих газообразных веществ и твердых частиц из двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей с принудительным зажиганием, предназначенных для использования на транспортных средствах : Правило ООН № 49 : Пересмотр 6 [Чинне від 2013-01-27]. Женева: ООН, 2013. 518 с.

102. Жаров К. С. Вибір та обґрунтування типу автомобіля-тягача автопоїзда великої вантажопідйомності: дис...канд. техн. наук : 05.22.02. Київ, 2014. 166 с.

103. Convert a GPS file to plain text or GPX / Матеріали сайту *gpsvisualizer.com* // Adam Schneider. URL: http://www.gpsvisualizer.com/convert_input (дата звернення: 03.02.2019)

104. Кондрашова Е. В., Козлов В. Г., Заболотная А. А. Повышение точности измерения мощностных и топливно–экономических показателей двигателей внутреннего сгорания при безтормозных испытаниях. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1-1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17415> (дата обращения: 03.04.2019)

105. Сокращение расхода топлива автомобилями. Branslebesparande producter till Bilar – Innovationer I Energii – brisens Spar? Odsell O. //Rapp. Stateus rag – och tratikinist. 1984. №272, С. 39-57.

106. Clifford M., McGlinchie Dtfi.. Full of fuel economy surprises. *Truck and Bus Trans*. 1983. №7, С. 54-58.

107. Захаров Н. С., Маняшин А. В., Титла И. М., Тюлькин В. А. Влияние режимов прогрева автомобильного двигателя зимой на расход топлива. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. 149 с.

108. Максименко А. Н., Кутузов В. В. Техническая эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие. Минск : Вышэйшая школа, 2015. 303 с.

109. Высоцкий М. С., Беленький Ю. Ю., Гилелес Л. Х., и др. Грузовые автомобили. М.: Машиностроение, 1979. 384 с.

110. Technical Information The new Citaro. Mannheim : Mercedes-Benz Omnibusse, 2012. 16 p.

111. Про затвердження Порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання та Порядку ведення реєстру сертифікатів типу транспортних засобів та обладнання і виданих виробниками сертифікатів відповідності транспортних засобів або обладнання: Наказ Міністерства

інфраструктури України від 17.08.2012 № 521 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1586-12#n249> (дата звернення: 10.04.2019).

112. ДСТУ 3649:2010 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання

113. Файчук Микола Іванович. Стійкість сидельних автопоїздів з урахуванням кутів встановлення осей напівпричепа. – дис...канд. техн. наук : 05.22.02. Київ, 2013. – 200 с.

114. Tom Gelinas (1991). Preventative Suspension Maintenance. Fleet Equipment. V. 17, N 12. P. 9.

115. Бакфиш К., Хайнц Д. Нова книга о шинах. ООО «Издательство АСТ», 2003. 303 с.

116. Аринин И.Н., Коновалов С.И., Баженов Ю.В. Техническая эксплуатация автомобилей. Изд. 2-е. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 314 с.

117. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей. Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. 488 с.

118. Канарчук В.Е., Лудченко А.А., Курников И.П., Луйк И.А. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств. Кн. 1. Теоретические основы. Технология. Учебник. К: Выща шк., 1991. 359 с.

119. Канарчук В.Е., Лудченко А.А. Курников И.П., Луйк И.А. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств: Кн. 2. Организация планирование и управление. Учебник. К: Выща шк., 1991. 406 с.

Математична модель руху автобуса на маршруті

Вихідні данні

Габаритні розміри:

- довжина, м	$L_{avto} := 11.98$
- ширина, м	$B_{avto} := 2.55$
- висота, м	$h_{avto} := 2.774$
- колісна база, м	$L_{l_{avto}} := 5.9$
- дорожній просвіт, м	$H_{i_{avto}} := 0.12$

Колеса - 275/70R22,5

- діаметр обода, м	$d := 0.571$
- висота профілю, м	$B_{ш} := 0.193$
- радіальна деформація профілю, м	$\lambda_{ш} := 0.9$
- динамічний радіус, м	$r_d := 0.459$
- радіус кочення, м	$r_k := 0.478$

Маса:

- повна, кг	$m_{ап} := 18000$
- споряджена, кг	$m_{асп} := 10860$
- пасажирів, кг	$m_{пас} := 7140$

Двигун - Daimler OM 906 hLa EURO 5

- робочий об'єм, л	$V_{двз} := 6.37$
- діаметр поршня, м	$d_{пш} := 0.102$
- хід поршня, м	$S_{пш} := 0.13$
- номінальна потужність, кВт	$N_{max} := 210$
- номінальна частота, об/хв	$n_N := 2200$
- крутний момент, Н*м	$M_{max} := 1120$
- частота обертання n_M , об/хв	$n_M := 1400$
- корегуючий коефіцієнт	$K_p := 0.9$
- min частота х.х., об/хв	$n_{min} := 800$
- частота обертання, об/хв	$n_j := n_{min} + \Delta n + (j - 1) \cdot 100$

Коробка передач - ZF 6HP-504C

- I передача	$u := \begin{pmatrix} 3.43 \\ 2.01 \\ 1.42 \\ 1 \\ 0.83 \\ 0.59 \end{pmatrix}$
- II передача	
- III передача	
- IV передача	
- V передача	
- VI передача	
- Задній хід	$u_{zx} := 4.84$

ККД трансмісії

$$\eta_{тр} := 0.84$$

Головна передача

$$u_{гп} := 6.2$$

Коефіцієнт обтічності

$$K_v := 0.7$$

Передаточне число

$$u_{тр} := u_{гп} \cdot u$$

Коефіцієнт при опор. рух

$$K_f := 0.000007$$

Коефіцієнт опору руху

$$f_0 := 0.0026$$

Момент інерції маховика

$$J_d := 4.8$$

Момент інерції одного колеса

$$J_k := 12$$

Кількість коліс

$$n_{кол} := 6$$

Прискорення вільного падіння

$$g := 9.81$$

Коефіцієнт урахування обергальних мас:

$$\delta_{вр} := 1 + \frac{J_d \cdot u_{тр} \cdot \eta_{тр} + n_{кол} \cdot J_k}{m_{ап} \cdot r_d \cdot r_k}$$

Кутова швидкість $\omega_j := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_j}{60}$

Швидкість руху, м/с

$$v_{i,j} := 0.105 \cdot \frac{n_j \cdot r_k}{u_i \cdot u_{гп}}$$

Лобова площа автомобіля

$$F_{avto} := B_{avto} \cdot h_{avto}$$

$$F_{avto} = 7.074$$

Гальмівня робочою гальмівною системою

Гальмівна сила

$$P_T := 925000$$

Стале сповільнення, м/с²

$$j_{уст} := \frac{P_T \cdot g}{100 \cdot m_{ап}}$$

Питома гальмівна сила

$$\gamma_T := \frac{j_{уст}}{g}$$

$$j_{уст} = 5.041$$

Час гальмування, с

$$\gamma_T = 0.514$$

- час реакції водія, с

$$\tau_{рв} := 0.8$$

- час збільшення сповільнення, с

$$\tau_H := 0.5$$

- час запізнення, с

$$\tau_3 := 0.2$$

- час спрацювання приводу, с

$$\tau_{сп} := \tau_3 + \tau_H$$

Продовження додатку А

Поліноміальні коефіцієнти

Крутний момент за зовн. швидк. характер.

$a := 0.7564$

$b := 1.5986$

$c := -1.355$

Крутний момент двигуна

$a_M := -0.0233$

$b_M := 6.3166$

$c_M := 690.61$

Визначення повної колової сили

$$A_i := a_M \cdot \frac{u_{тр}^3 \cdot \eta_{тр} \cdot K_p}{r_d \cdot r_k^2}$$

$$B_i := b_M \cdot \frac{u_{тр}^2 \cdot \eta_{тр} \cdot K_p}{r_d \cdot r_k}$$

$$C_i := c_M \cdot \frac{u_{тр} \cdot \eta_{тр} \cdot K_p}{r_d}$$

Коефіцієнти поліноми для диференційного рівняння руху автомобілів

$$a_{i_i} := A_{i_i} - K_B \cdot F_{avto} \quad b_{i_i} := B_{i_i} - K_f \cdot m_{ап} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad c_{i_i} := C_{i_i} - m_{ап} \cdot g \cdot (f_0 \cdot \cos(\alpha) - \sin(\alpha))$$

Дискримінант та корені квадратного рівняння для визначення часу розгону

$$\Delta_i := (b_{i_i})^2 - 4 \cdot a_{i_i} \cdot c_{i_i}$$

$$p_i := \frac{-b_{i_i} + \sqrt{\Delta_i}}{2 \cdot a_{i_i}}$$

$$q_i := \frac{-b_{i_i} - \sqrt{\Delta_i}}{2 \cdot a_{i_i}}$$

Коефіцієнт урахування обергальних мас для вибігу:

$$\delta_{вр_виб} := \frac{r_k}{r_d} + \frac{n_{кол} \cdot J_k}{m_{ап} \cdot r_d \cdot r_k}$$

Коефіцієнти поліноми для диференційного рівняння руху автомобілів при вибігу

$P_{fx} := 5200$

$a_{i_виб} := -K_B \cdot F_{avto}$

$b_{i_виб} := -K_f \cdot m_{ап} \cdot g$

$c_{i_виб} := -f_0 \cdot m_{ап} \cdot g - P_{fx}$

Дискримінант та корені квадратного рівняння для визначення часу розгону

$$\Delta_{_виб} := (b_{i_виб})^2 - 4 \cdot a_{i_виб} \cdot c_{i_виб}$$

$$p_{_виб} := \frac{-b_{i_виб} + \sqrt{\Delta_{_виб}}}{2 \cdot a_{i_виб}}$$

$$q_{_виб} := \frac{-b_{i_виб} - \sqrt{\Delta_{_виб}}}{2 \cdot a_{i_виб}}$$

Годинна витрата палива

$a_Q := -0.0009$

$b_Q := 0.4553$

$c_Q := -15.825$

Секундна (миттєва) витрата палива

$$a_{Qc_i} := \frac{a_Q \cdot (u_{тр_i})^2}{3600 \cdot r_k^2}$$

$$b_{Qc_i} := \frac{b_Q \cdot u_{тр_i}}{3600 \cdot r_k}$$

$$c_{Qc_i} := \frac{c_Q}{3600}$$

Визначення коефіцієнту коригування витрати палива

$a_{ки} := 0.36$

$b_{ки} := 0.44$

$c_{ки} := 0.2$

Параметри ділянки маршруту

Довжина ділянки, м	$l_d := 350$
Кут нахилу дороги, град	$\alpha := 0 \text{deg}$
Радіус повороту, м	$R_{\Pi} := 0$
Коефіцієнт зчеплення	$\phi_y := 0.7$
Висота центра мас, м	$h_g := 1.5$
Колія автомобіля, м	$B := 2.219$
Критична швидкість на перекидання м/с	$v_{\text{кр_пер}} := 2.21 \cdot \sqrt{\frac{B \cdot R_{\Pi}}{h_g}}$
Критична швидкість на зчеплення м/с	$v_{\text{кр_}\phi} := 3.13 \cdot \sqrt{\phi_y \cdot R_{\Pi}}$
Обмеження швидкості за ПДД, м/с	$v_{\text{пдд}} := 13.9$
Масимально допустима швидкість на ділянці, м/с	$v_{\text{max}} := \begin{cases} \min(v_{\text{кр_пер}}, v_{\text{кр_}\phi}, v_{\text{пдд}}) & \text{if } v_{\text{кр_пер}} > 0 \\ 13.9 & \text{otherwise} \end{cases}$
$v_{\text{кр_пер}} = 0$	$v_{\text{кр_}\phi} = 0$
$v_{\text{max}} = 13.9$	$\tan(\alpha) = 0$

Результати розрахунків

$$v_H := 0 \quad i := 1 \quad t := 3$$

Швидкість розгону, м/с Шлях розгону, м

$$v(t, i) := v_H + j_{cp_i} \cdot t \quad S(t, i) := \frac{m_{ap} \cdot \delta_{vp_i} \cdot \left[\ln \left[a_{i_i} \cdot (v(t, i))^2 + b_{i_i} \cdot v(t, i) + c_{i_i} \right] - \ln \left[a_{i_i} \cdot (v_H)^2 + b_{i_i} \cdot v_H + c_{i_i} \right] \right] - b_{i_i} \cdot t}{2 \cdot a_{i_i}} \quad v(t, i) = 5.58$$

$$S(t, i) = 8.11$$

Падіння швидкості при перемиканні передач, м/с x := 1 t_{пер} := 2

$$f(x) := \frac{m_{ap} \cdot \delta_{vp_виб}}{a_{i_виб} \cdot (p_виб - q_виб)} \cdot \left(\ln \left(\frac{x - p_виб}{x - q_виб} \right) - \ln \left(\frac{v(t, i) - p_виб}{v(t, i) - q_виб} \right) \right) - t_{пер} \quad v_{пер} := \text{root}(f(x), x) \quad v_{пер} = 4.97$$

Шлях при перемиканні передач, м

$$S_{пер} := \frac{m_{ap} \cdot \delta_{vp_виб} \cdot \left[\ln \left[a_{i_виб} \cdot (v_{пер})^2 + b_{i_виб} \cdot v_{пер} + c_{i_виб} \right] - \ln \left[a_{i_виб} \cdot (v(t, i))^2 + b_{i_виб} \cdot v(t, i) + c_{i_виб} \right] \right] - b_{i_виб} \cdot t_{пер}}{2 \cdot a_{i_виб}} \quad S_{пер} = 10.551$$

Шлях при рівномірному русі на поточній передачі (м) за час

$$t_{уст} := 16$$

$$S_{уст} := v(t, i) \cdot t_{уст} \quad S_{уст} = 89.28$$

Час вибігу з поточної швидкості до певної швидкості м

$$v_{к_виб} := 6.94$$

$$\tau_{виб} := \frac{m_{ap} \cdot \delta_{vp_виб}}{a_{i_виб} \cdot (p_виб - q_виб)} \cdot \left(\ln \left(\frac{v_{к_виб} - p_виб}{v_{к_виб} - q_виб} \right) - \ln \left(\frac{v(t, i) - p_виб}{v(t, i) - q_виб} \right) \right) \quad \tau_{виб} = -4.4$$

Шлях вибігу до повної зупинки, м

$$S_{виб} := \frac{m_{ap} \cdot \delta_{vp_виб} \cdot \left[\ln \left[a_{i_виб} \cdot (v_{к_виб})^2 + b_{i_виб} \cdot v_{к_виб} + c_{i_виб} \right] - \ln \left[a_{i_виб} \cdot (v(t, i))^2 + b_{i_виб} \cdot v(t, i) + c_{i_виб} \right] \right] - b_{i_виб} \cdot \tau_{виб}}{2 \cdot a_{i_виб}} \quad S_{виб} = -27.696$$

Гальмівний шлях від кінця вибігу до повної зупинки, м

Час гальмування, с

$$j_{уук} := 1.0$$

$$S_{Г_виб} := v_{к_виб} \cdot (\tau_{рв} + \tau_z + 0.5 \cdot \tau_H) + \frac{(v_{к_виб})^2}{2 \cdot j_{уст}}$$

$$t_{Г_виб} := \sqrt{\frac{S_{Г_виб}}{j_{уст}}}$$

$$S_{Г_виб} = 32.757$$

$$t_{Г_виб} = 5.723$$

Продовження додатку А

Гальмівний шлях від кінця вибігу до повної зупинки, м

$$S_{\Gamma_виб} := v_{к_виб} \cdot (\tau_{рв} + \tau_3 + 0.5 \cdot \tau_H) + \frac{(v_{к_виб})^2}{2 \cdot j_{уст}}$$

Гальмівний шлях з поточної швидкості до повної зупинки, м

$$S_{\Gamma} := v(t, i) \cdot (\tau_{рв} + \tau_3 + 0.5 \cdot \tau_H) + \frac{(v(t, i))^2}{2 \cdot j_{уст}}$$

Витрата палива, кг

- витрата палива на ділянці зі змінною швидкістю при розгоні, кг

$$Q_i := a_{Qc_i} \cdot m_{ап} \cdot \delta_{вр_i} \cdot \left[\frac{v(t, i) - v_H}{a_{i_i}} - \frac{b_{i_i}}{2 \cdot (a_{i_i})^2} \cdot \ln \left[\frac{a_{i_i} \cdot (v(t, i))^2 + b_{i_i} \cdot v(t, i) + c_{i_i}}{a_{i_i} \cdot (v_H)^2 + b_{i_i} \cdot v_H + c_{i_i}} \right] \right] + t \cdot \left[c_{Qc_i} + a_{Qc_i} \cdot \frac{(b_{i_i})^2 - 2 \cdot a_{i_i} \cdot c_{i_i}}{2 \cdot (a_{i_i})^2} \right] + b_{Qc_i} \cdot S(t, i)$$

- коефіцієнт використання потужності двигуна при розгоні

$$K_{вик} := \frac{m_{ап} \cdot g \cdot (f_0 + K_{\Gamma} v(t, i)) \cdot \cos(\alpha) + m_{ап} \cdot g \cdot \sin(\alpha) + K_{в} \cdot F_{avto} \cdot (v(t, i))^2}{A_{i_i} \cdot (v(t, i))^2 + B_{i_i} \cdot v(t, i) + C_{i_i}}$$

- поліноміальні коефіцієнти

$$A_M := 0.0001481 \cdot K_{вик}^3 - 0.0002298 \cdot K_{вик}^2 + 0.0000925 \cdot K_{вик} - 0.0000181$$

$$B_M := -0.4482886 \cdot K_{вик}^3 + 0.70286 \cdot K_{вик}^2 - 0.2712987 \cdot K_{вик} + 0.0588825$$

$$C_M := 296.7481878 \cdot K_{вик}^3 - 459.898 \cdot K_{вик}^2 + 186.1379932 \cdot K_{вик} - 35.9995833$$

Час гальмування, с

$$t_{\Gamma_виб} := \sqrt{\frac{S_{\Gamma_виб}}{j_{уст}}}$$

Час гальмування, с

$$t_{\Gamma} := \sqrt{\frac{S_{\Gamma}}{j_{уст}}}$$

$$j_{уст} := 0.61$$

$$S_{\Gamma_виб} = 22.223$$

$$t_{\Gamma_виб} = 6.036$$

$$S_{\Gamma} = 22.223$$

$$t_{\Gamma} = 6.036$$

$$Q_i = 0$$

$$K_{вик} = 0.012$$

$$A_M = -1.701 \times 10^{-5}$$

$$B_M = 0.056$$

$$C_M = -33.799$$

- година витрата палива, кг/год

$$G_{\text{год}} := A_M \cdot n_T^2 + B_M \cdot n_T + C_M$$

- секундна витрата палива при рівномірному русі та частковій потужності, кг/с

$$G_{0c} := \frac{G_{\text{год}}}{3600} \quad G_{0c} = 2.927 \times 10^{-3} \text{ - за час руху, с} \quad t_{\text{уст}} = 7 \quad G_c(t_{\text{уст}}) := G_{0c} \cdot t_{\text{уст}} \quad G_c(t_{\text{уст}}) = 0.02049$$

Витрата палива при холостому ході, кг

- ча руху на холостому ходу, г/об

$$t_{xx} := 48$$

- витрата палива при холостому ході, г/об

$$q_{0x} := 0.03122$$

- кількість обертів на холостому ходу, об/хв

$$n := 900$$

- секундна витрата палива при холостому ході, кг/с

$$Q_{cx} := \frac{q_{0x} \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad Q_{cx} = 0.00047$$

- витрата палива при холостому ході за певний час, кг

$$Q_{xx} := Q_{cx} \cdot t_{xx} \quad Q_{xx} = 0.02248$$

Ділянки маршрутів м. Київ для математичного моделювання

№ п/п	Тип ділянки	Довжина, м	Поздовжній ухил дороги	Радіус повороту, м
Маршрут 55 Площа Дарницька – Палац спорту				
Кінцева				
1	Пряма	75	0	0
2	Поворот	30	0	21
3	Пряма	150	0	0
4	Поворот	45	0	28
5	Пряма	150	0	0
6	Поворот	55	0	30
7	Пряма	90	0	0
8	Поворот	80	0	223
9	Пряма	80	0	0
Зупинка 1				
10	Пряма	260	0,018	0
Зупинка 2				
11	Пряма	300	0,018	0
Зупинка 3				
12	Пряма	265	0,018	0
13	Пряма	540	-0,028	0
Зупинка 4				
14	Пряма	415	0	0
Зупинка 5				
15	Пряма	415	0	0
Зупинка 6				
16	Пряма	1000	0,020	0
17	Пряма	1000	-0,020	0
18	Поворот	83	0	286
19	Пряма	135	0	0
20	Поворот	50	0	147
21	Пряма	130	0	0
22	Пряма	130	0,064	0
23	Поворот	130	0,064	447
Зупинка 7				
24	Пряма	78	0,064	0
25	Поворот	83	0,064	198
26	Пряма	45	0,064	
Зупинка 7				
27	Пряма	325	0,040	0
Зупинка 8				
29	Пряма	175	0,034	0
30	Поворот	145	0,026	150
31	Пряма	45	0,026	0
Зупинка 9				
32	Пряма	165	0,055	0
33	Поворот	90	0,132	81
34	Пряма	250	0,048	0
35	Поворот	138	0,039	165

Продовження додатку Б

36	Пряма	70	0,054	0
37	Поворот	50	0,049	34
Зупинка 10				
38	Пряма	260	0,01	0
39	Поворот	63	0,01	105
40	Пряма	65	0,01	0
Зупинка 11				
41	Пряма	300	0,0089	0
42	Поворот	30	0,0089	55
43	Пряма	120	0,0089	0
Зупинка 12				
44	Пряма	480	0,0035	0
45	Поворот	50	0,0035	32
46	Пряма	42	0,0035	0
Зупинка 13				
47	Пряма	365	-0,0173	0
Зупинка 14				
48	Пряма	35	-0,0137	0
49	Поворот	40	-0,0137	52
50	Пряма	80	-0,0137	0
Зупинка 15				
51	Пряма	90	0,0188	0
52	Поворот	90	0,0188	400
53	Пряма	140	0,0188	0
54	Поворот	40	0	24
55	Пряма	80	0	0
Зупинка 16				
56	Пряма	75	-0,0133	0
57	Поворот	31	-0,0133	21
58	Пряма	38	-0,0466	0
59	Поворот	38	-0,0466	48
60	Пряма	310	-0,0466	0
Зупинка 17				
61	Пряма	185	-0,0338	
62	Поворот	46	-0,0338	46
63	Пряма	35	-0,0338	
Зупинка 18				
64	Пряма	360	-0,0316	0
65	Поворот	83	-0,0316	115
Зупинка 19				
66	Пряма	140	-0,0194	0
67	Поворот	180	-0,0194	713
68	Пряма	40	-0,0194	0
Зупинка 20				
69	Пряма	70	-0,0085	0
70	Поворот	24	-0,0085	40
71	Поворот	38	-0,0085	118
72	Пряма	90	-0,0085	0
73	Поворот	14	-0,0085	10
74	Пряма	180	-0,011	0
Кінцева				

Продовження додатку Б

№ п/п	Тип ділянки	Довжина, м	Поздовжній ухил дороги	Радіус повороту, м
Маршрут 55 Палац спорту – Площа Дарницька				
Кінцева				
1	Пряма	32	0,0185	0
2	Поворот	22	0,0185	28
3	Пряма	48	0,0389	0
4	Поворот	29	0,0389	15
5	Пряма	110	0	0
Зупинка 1				
6	Пряма	51	0	0
7	Поворот	29	0	20
8	Пряма	169	0	0
9	Поворот	49	0,0261	50
10	Пряма	22	0,0261	0
11	Поворот	26	0,0261	30
12	Пряма	18	0,0261	0
Зупинка 2				
13	Пряма	55	0,0194	0
14	Поворот	180	0,0194	713
15	Пряма	140	0,0194	0
16	Поворот	83	0,0316	115
Зупинка 3				
17	Пряма	340	0,0316	0
Зупинка 4				
18	Пряма	55	0,0338	0
19	Поворот	46	0,0338	46
20	Пряма	185	0,0338	0
21	Пряма	65	0,0466	0
Зупинка 5				
22	Пряма	245	0,0466	0
23	Поворот	38	0,0466	48
24	Пряма	38	0,0466	0
25	Поворот	31	0,0133	21
26	Пряма	55	0,0133	0
Зупинка 6				
27	Пряма	100	0	0
28	Поворот	40	0	24
29	Пряма	140	-0,0188	0
30	Поворот	90	-0,0188	400
31	Пряма	90	-0,0188	0
32	Пряма	70	0,0137	0
33	Поворот	30	0,0213	20
34	Пряма	100	0,0100	0
Зупинка 6				
35	Поворот	92	0,0098	440
36	Пряма	315	0,0098	0
Зупинка 7				
37	Пряма	315	-0,0095	0
Зупинка 8				
38	Поворот	85	0,0130	510
39	Пряма	145	0,0130	0
40	Пряма	150	-0,0192	0
41	Поворот	109	-0,0192	130
Зупинка 9				
42	Пряма	170	0	0

Продовження додатку Б

Зупинка 10				
43	Пряма	110	0	0
44	Поворот	30	-0,049	20
45	Пряма	60	-0,054	0
Зупинка 11				
46	Пряма	40	-0,054	
47	Поворот	138	-0,039	165
48	Пряма	190	-0,048	0
49	Поворот	91	-0,048	148
50	Поворот	46	-0,087	60
51	Пряма	55	-0,091	0
Зупинка 12				
52	Пряма	110	-0,055	
53	Пряма	45	-0,026	
54	Поворот	70	-0,026	150
Зупинка 13				
55	Поворот	75	-0,026	150
56	Пряма	175	-0,034	0
57	Пряма	100	-0,040	0
Зупинка 14				
58	Пряма	75	-0,040	0
59	Поворот	40	-0,040	395
60	Пряма	130	-0,040	0
Зупинка 15				
61	Пряма	25	-0,064	0
62	Поворот	90	-0,064	135
63	Пряма	90	-0,012	0
64	Поворот	59	0	88
65	Поворот	56	0	148
66	Пряма	105	-0,047	0
Зупинка 16				
67	Пряма	140	0	0
68	Поворот	50	0	147
69	Пряма	135	0	0
70	Поворот	83	0	286
71	Пряма	1000	0,020	0
72	Пряма	910	-0,020	0
Зупинка 17				
73	Пряма	430	0	0
Зупинка 18				
74	Пряма	415	0	0
Зупинка 19				
75	Пряма	625	0,028	0
76	Пряма	275	-0,018	0
Зупинка 20				
77	Пряма	275	-0,018	0
Зупинка 21				
78	Пряма	300	-0,018	0
79	Пряма	50	0	0
80	Поворот	114	0	143
81	Поворот	77	0	54
82	Поворот	67	0	58
83	Пряма	105	0	0
84	Поворот	17	0	22
85	Пряма	32	0	0
86	Поворот	28	0	18
87	Пряма	80	0	0
Кінцева				

Динаміка зміни кліматичних умов за дослідний період

Дата	Температура, °C	Атмосферний, кПа	Дата	Температура, °C	Атмосферний кПа	Дата	Температура, °C	Атмосферний кПа
01.01.2017	0,2	99,4	12.07.2017	25,9	99,1	20.01.2018	-0,3	99
02.01.2017	1,1	98,8	13.07.2017	19,9	98,7	21.01.2018	-2,9	99,2
03.01.2017	-1,2	98,9	14.07.2017	14,6	99	22.01.2018	-5,8	99,8
04.01.2017	-1	97,9	15.07.2017	17,5	99,4	23.01.2018	-8,5	100,6
05.01.2017	-2,5	98,4	16.07.2017	19,4	99,8	24.01.2018	-7,6	101,3
06.01.2017	-14,7	100,2	17.07.2017	21,5	100	25.01.2018	-6,4	101
07.01.2017	-17,2	99,6	18.07.2017	23,4	99,9	26.01.2018	-8,6	101,2
08.01.2017	-11,9	99,4	19.07.2017	22,7	99,9	27.01.2018	-6	101,3
09.01.2017	-9,2	100,2	20.07.2017	23,1	99,4	28.01.2018	-3,1	100,6
10.01.2017	-5,9	100,3	21.07.2017	26,1	99,3	29.01.2018	4,2	99,3
11.01.2017	-3,3	99,9	22.07.2017	25,2	99,3	30.01.2018	4	98,6
12.01.2017	-3,5	98,4	23.07.2017	21,9	99,7	31.01.2018	1,5	99,5
13.01.2017	-1,9	98,8	24.07.2017	23,1	99,2	01.02.2018	1	99,2
14.01.2017	2,3	98	25.07.2017	26,5	98,6	02.02.2018	1,7	98,9
15.01.2017	-0,1	99,4	26.07.2017	24,7	98,5	03.02.2018	1,1	98,3
16.01.2017	-2,9	100,4	27.07.2017	23	98,8	04.02.2018	-0,3	98,2
17.01.2017	-5,9	101,3	28.07.2017	21,6	98,5	05.02.2018	-5,9	99,9
18.01.2017	-5,2	101,8	29.07.2017	19,1	98,5	06.02.2018	-6,6	100,4
19.01.2017	-5,8	101,6	30.07.2017	22,1	99,4	07.02.2018	-5,6	100,7
20.01.2017	-5	100,7	31.07.2017	25,9	99,9	08.02.2018	-1,4	99,7
21.01.2017	0	100,3	01.08.2017	29,8	100,2	09.02.2018	-0,1	99,1
22.01.2017	-0,5	101,1	02.08.2017	30,1	100	10.02.2018	-0,2	99,3
23.01.2017	-2,1	100,5	03.08.2017	28,7	99,6	11.02.2018	-0,4	99,3
24.01.2017	-2,1	99,8	04.08.2017	29,6	99,2	12.02.2018	-1,5	99,3
25.01.2017	-3,7	100	05.08.2017	27,6	99,4	13.02.2018	-4,6	99,7
26.01.2017	-9,7	101	06.08.2017	25,8	99,7	14.02.2018	-5	100,1
27.01.2017	-3,3	100,3	07.08.2017	19,2	99,8	15.02.2018	-2,6	100,6
28.01.2017	-3,1	100,8	08.08.2017	18,7	100,2	16.02.2018	-1	100,6
29.01.2017	-4,5	101,2	09.08.2017	22,7	100,4	17.02.2018	0,4	100,2
30.01.2017	-10,2	101,4	10.08.2017	25,1	100,2	18.02.2018	-0,5	100,1
31.01.2017	-10	100,9	11.08.2017	27,2	99,8	19.02.2018	-2,1	100,3
01.02.2017	-8,5	100,7	12.08.2017	28,6	99,4	20.02.2018	-1,2	100,4
02.02.2017	-4,6	100,6	13.08.2017	28,8	99,2	21.02.2018	-1,4	100,3

Продовження додатку В

03.02.2017	-2,1	99,4	14.08.2017	23,4	99,6	22.02.2018	-4,3	100,3
04.02.2017	-2,5	99	15.08.2017	23,8	100,1	23.02.2018	-4,7	100,2
05.02.2017	-3,1	99,2	16.08.2017	26,6	100,1	24.02.2018	-8,4	99,8
06.02.2017	-8	100	17.08.2017	26,6	100,1	25.02.2018	-12,1	100,3
07.02.2017	-11,7	100,9	18.08.2017	27,8	100	26.02.2018	-12,6	100,5
08.02.2017	-13,9	101,6	19.08.2017	28	100	27.02.2018	-12	100,1
09.02.2017	-11,1	102	20.08.2017	27,4	99,8	28.02.2018	-11,6	99,9
10.02.2017	-9,2	101,8	21.08.2017	26,4	99,2	01.03.2018	-11,2	99,2
11.02.2017	-6,2	101,8	22.08.2017	15,5	99	02.03.2018	-11	99,2
12.02.2017	-5,8	102	23.08.2017	15,5	99	03.03.2018	-4,1	97,5
13.02.2017	-7,3	101,5	24.08.2017	14,8	99,5	04.03.2018	-8,1	97,9
14.02.2017	-3,9	100,2	25.08.2017	20,6	99,9	05.03.2018	-4,7	99,2
15.02.2017	0,4	100,9	26.08.2017	22,6	99,8	06.03.2018	-4,4	98,9
16.02.2017	-1,4	101,1	27.08.2017	23,1	99,4	07.03.2018	-0,7	98
17.02.2017	0,2	100	28.08.2017	16,3	99,1	08.03.2018	0,8	98,6
18.02.2017	1,2	99,9	29.08.2017	14,2	99,8	09.03.2018	1	99,1
19.02.2017	2,8	100,3	30.08.2017	13,4	100,2	10.03.2018	4	99,2
20.02.2017	0,4	99,7	31.08.2017	14,9	100	11.03.2018	2,7	99,6
21.02.2017	1,7	98	01.09.2017	16,8	99,5	12.03.2018	2,9	99,4
22.02.2017	2,5	98,2	02.09.2017	18,7	99,3	13.03.2018	2,2	98,9
23.02.2017	4,4	97,8	03.09.2017	20,8	99,2	14.03.2018	0,4	98,5
24.02.2017	7,8	97,7	04.09.2017	20,1	99	15.03.2018	1,7	98,8
25.02.2017	1,1	99,2	05.09.2017	15,8	99,2	16.03.2018	-1,4	99,2
26.02.2017	0,7	99,8	06.09.2017	13,2	98,8	17.03.2018	-5,5	98,8
27.02.2017	5,3	99,5	07.09.2017	14,1	98,9	18.03.2018	-7,9	99,8
28.02.2017	4	99,4	08.09.2017	15,1	99,4	19.03.2018	-5,2	99,6
01.03.2017	7,3	98,8	09.09.2017	19,1	99,5	20.03.2018	-6,5	99
02.03.2017	6,3	98,9	10.09.2017	21,7	99,3	21.03.2018	-2,7	99,2
03.03.2017	6,3	99,4	11.09.2017	22,4	99,3	22.03.2018	-0,6	99,7
04.03.2017	7	99,8	12.09.2017	23,5	98,6	23.03.2018	-1,2	98,9
05.03.2017	7,8	99,3	13.09.2017	17,6	98,9	24.03.2018	1,2	98,9
06.03.2017	7,4	98,7	14.09.2017	21,5	99,1	25.03.2018	2,8	99,7
07.03.2017	7,8	99,2	15.09.2017	17,3	99,3	26.03.2018	2,7	99,5
08.03.2017	7,3	100,4	16.09.2017	17,6	100	27.03.2018	5,2	98,8
09.03.2017	5,5	100,1	17.09.2017	24	99,4	28.03.2018	1,4	99,4
10.03.2017	7,7	99,5	18.09.2017	19,8	99,3	29.03.2018	-0,4	99,5
11.03.2017	7,6	99,5	19.09.2017	16,3	99,9	30.03.2018	1,4	99,6
12.03.2017	5,4	99,7	20.09.2017	14,8	99,5	31.03.2018	5,3	99
13.03.2017	5,9	100	21.09.2017	22,9	98,9	01.04.2018	10,3	97,7
14.03.2017	3,3	100,2	22.09.2017	24,2	99,2	02.04.2018	3,9	98,4

Продовження додатку В

15.03.2017	7,2	99,8	23.09.2017	16,2	100,1	03.04.2018	7,4	99,6
16.03.2017	3,9	99,1	24.09.2017	13,1	100,4	04.04.2018	13,6	99,6
17.03.2017	5,8	99,4	25.09.2017	17,6	100,9	05.04.2018	11,4	99,3
18.03.2017	2,5	98,3	26.09.2017	14,6	101,3	06.04.2018	13,7	99,6
19.03.2017	2,7	97,7	27.09.2017	12,1	101,6	07.04.2018	11,2	100,7
20.03.2017	5,6	98,8	28.09.2017	10,4	101,8	08.04.2018	11,2	100,7
21.03.2017	7,2	99,4	29.09.2017	9,9	101,4	09.04.2018	14,6	100,1
22.03.2017	13,9	99,7	30.09.2017	6,8	101	10.04.2018	16,8	99,3
23.03.2017	7,4	100,3	01.10.2017	8,5	101	11.04.2018	17,9	99,4
24.03.2017	8,5	99,9	02.10.2017	7,8	101	12.04.2018	6,8	100
25.03.2017	4,3	100	03.10.2017	9,7	100,4	13.04.2018	13,5	100,2
26.03.2017	3,4	99,7	04.10.2017	9,8	99,9	14.04.2018	13,9	100,6
27.03.2017	8	99,2	05.10.2017	11,9	98,7	15.04.2018	18	100,2
28.03.2017	12,4	99,1	06.10.2017	10	98,2	16.04.2018	17,6	99,9
29.03.2017	13	99,4	07.10.2017	9,1	99,5	17.04.2018	15,7	99,8
30.03.2017	5,9	100,2	08.10.2017	7,6	99	18.04.2018	15,5	100,1
31.03.2017	8	100,3	09.10.2017	8,9	98,8	19.04.2018	12,6	99,4
01.04.2017	11,1	100,2	10.10.2017	8,9	99,5	20.04.2018	13,4	99,9
02.04.2017	17,1	100	11.10.2017	9,9	99,6	21.04.2018	18,6	99
03.04.2017	18,7	99,8	12.10.2017	13	99,6	22.04.2018	14,5	99,1
04.04.2017	15,9	100,3	13.10.2017	11,1	99,3	23.04.2018	12,7	99,4
05.04.2017	14,8	99,8	14.10.2017	9	99,7	24.04.2018	12,9	99,2
06.04.2017	14,1	98,7	15.10.2017	13,1	99,6	25.04.2018	18,4	99
07.04.2017	9,2	98,5	16.10.2017	11,8	100,2	26.04.2018	18,2	99
08.04.2017	7,2	98,8	17.10.2017	13,1	100,2	27.04.2018	13,8	99,6
09.04.2017	8,3	100,2	18.10.2017	15,9	99,8	28.04.2018	15,1	100
10.04.2017	12,3	100,1	19.10.2017	15,2	99,6	29.04.2018	21	99,9
11.04.2017	13,2	99,2	20.10.2017	10,8	100	30.04.2018	21,6	99,6
12.04.2017	8,7	99,5	21.10.2017	10	99,6	01.05.2018	22,1	99,4
13.04.2017	11	98,6	22.10.2017	4,4	99,9	02.05.2018	24,4	99,6
14.04.2017	7,9	98,6	23.10.2017	3,9	99,8	03.05.2018	24,2	99,6
15.04.2017	9,1	99,1	24.10.2017	3,1	100,5	04.05.2018	24,7	99,6
16.04.2017	9,5	98,6	25.10.2017	2	100,8	05.05.2018	25,4	99,4
17.04.2017	6	99,5	26.10.2017	6,8	99,6	06.05.2018	18,7	99,5
18.04.2017	5,7	99,8	27.10.2017	9,4	98,9	07.05.2018	16,2	99,5
19.04.2017	5,5	100,2	28.10.2017	6,4	98,3	08.05.2018	22,2	99,1
20.04.2017	4,4	100,3	29.10.2017	7,4	96,7	09.05.2018	21,7	99,2
21.04.2017	6,8	99,4	30.10.2017	4	96,8	10.05.2018	20,3	99,5
22.04.2017	9,4	98,7	31.10.2017	2,9	98,4	11.05.2018	15,1	100,1
23.04.2017	7,5	98,9	01.11.2017	3,9	99,2	12.05.2018	17,5	99,6

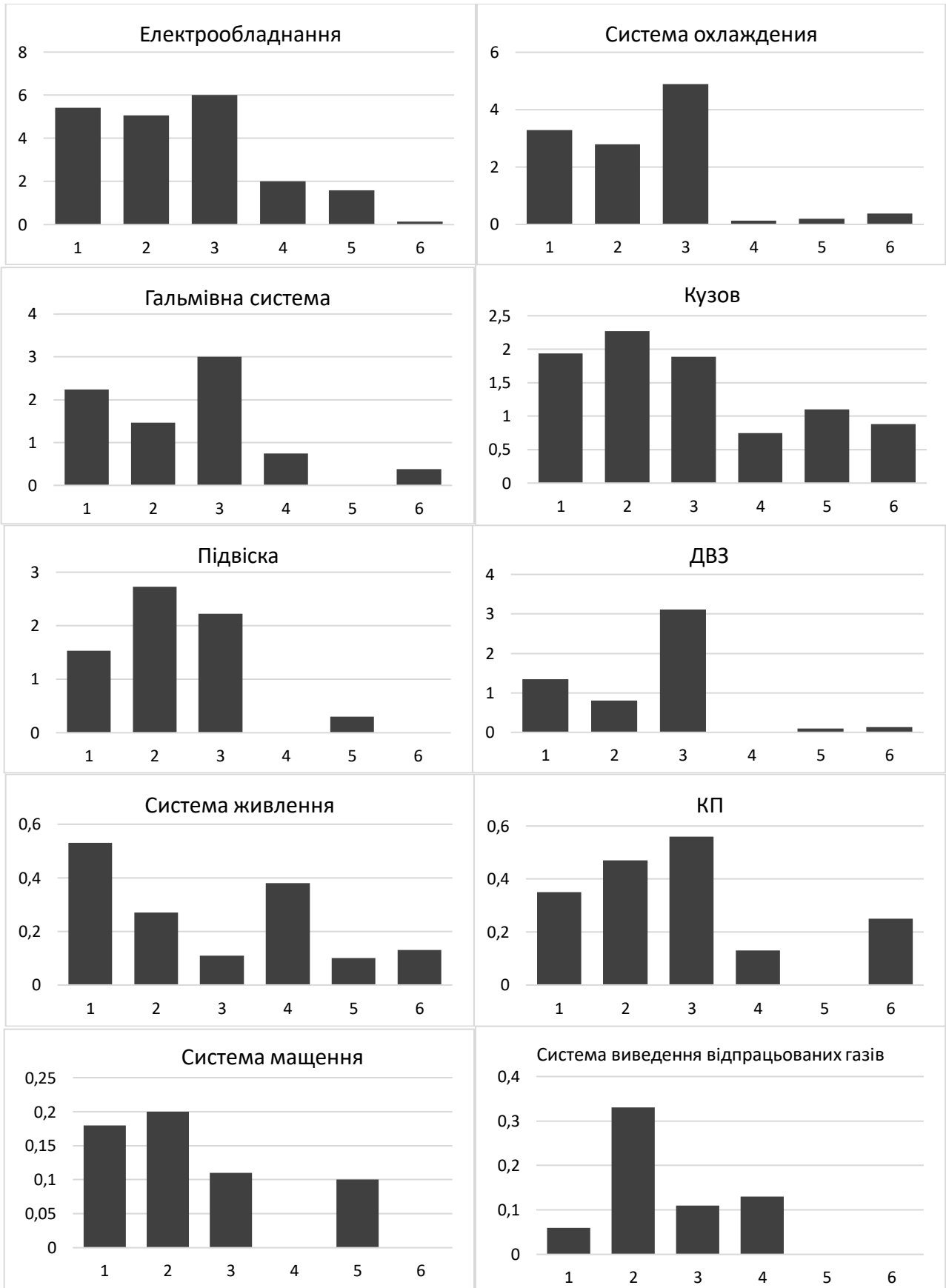
Продовження додатку В

24.04.2017	7	99,4	02.11.2017	8	98,7	13.05.2018	12,3	99,5
25.04.2017	11,2	99,7	03.11.2017	8,9	99	14.05.2018	12,8	99,8
26.04.2017	15,3	99,5	04.11.2017	7,7	100,1	15.05.2018	18,4	99,9
27.04.2017	17	99,5	05.11.2017	7,6	100,3	16.05.2018	21,5	99,4
28.04.2017	18,6	99,4	06.11.2017	6,1	100,5	17.05.2018	19,2	99,3
29.04.2017	20,1	99,2	07.11.2017	2,5	100,9	18.05.2018	18	98,8
30.04.2017	16,1	99,6	08.11.2017	2,1	101,1	19.05.2018	17,8	99,2
01.05.2017	11,6	100	09.11.2017	4,5	100,6	20.05.2018	15,9	99,9
02.05.2017	13,6	100,2	10.11.2017	6,4	99,8	21.05.2018	14	100,2
03.05.2017	12,6	100,2	11.11.2017	8,2	99	22.05.2018	17,7	100,3
04.05.2017	18,3	100,1	12.11.2017	1,4	98,7	23.05.2018	20,8	100,2
05.05.2017	17,1	100,1	13.11.2017	4	99	24.05.2018	22,5	99,8
06.05.2017	19	99,4	14.11.2017	4,5	99,7	25.05.2018	22,3	100
07.05.2017	22,6	98,6	15.11.2017	3,8	100,6	26.05.2018	19,4	100,6
08.05.2017	16,1	98	16.11.2017	4,1	100,8	27.05.2018	18,4	100,6
09.05.2017	8,6	98,6	17.11.2017	3,1	100,5	28.05.2018	21,8	100,5
10.05.2017	5,3	99,1	18.11.2017	3,4	99,7	29.05.2018	22,1	100,6
11.05.2017	10,6	99,2	19.11.2017	3,6	98,9	30.05.2018	23,8	100
12.05.2017	12,2	99,5	20.11.2017	2,4	99	31.05.2018	24,4	99,4
13.05.2017	10,9	99,4	21.11.2017	1,5	99,1	01.06.2018	17,6	100,2
14.05.2017	11,8	99,9	22.11.2017	0,9	99,5	02.06.2018	21	99,7
15.05.2017	15,9	100,5	23.11.2017	0,1	100,1	03.06.2018	20,1	99,1
16.05.2017	18,4	100,2	24.11.2017	-2,5	100,3	04.06.2018	24,5	98,7
17.05.2017	12,5	100,5	25.11.2017	2,5	100	05.06.2018	23,4	98,4
18.05.2017	15	100	26.11.2017	5	99,8	06.06.2018	15,5	99,7
19.05.2017	18,4	99,7	27.11.2017	1,3	100	07.06.2018	17,2	100,3
20.05.2017	16,5	99,2	28.11.2017	-0,7	99,8	08.06.2018	21,3	99,8
21.05.2017	17,9	99	29.11.2017	-1	99,6	09.06.2018	24	99,3
22.05.2017	16,6	99,5	30.11.2017	1,5	99,4	10.06.2018	20,7	99,4
23.05.2017	21	99,6	01.12.2017	6,4	99,2	11.06.2018	23,2	99,2
24.05.2017	21,6	99,4	02.12.2017	1	100	12.06.2018	25	98,5
25.05.2017	19,2	99,5	03.12.2017	1,5	99,9	13.06.2018	23,2	98,6
26.05.2017	14,9	99,4	04.12.2017	0,5	99,4	14.06.2018	23,4	98,8
27.05.2017	16,9	99,7	05.12.2017	0,7	99,6	15.06.2018	23,1	99
28.05.2017	20	100,1	06.12.2017	1,5	99	16.06.2018	22,8	99,4
29.05.2017	22,8	99,6	07.12.2017	1,3	99,3	17.06.2018	22,7	99,4
30.05.2017	22,5	99	08.12.2017	3,6	99,2	18.06.2018	24,4	99,5
31.05.2017	23,5	98,9	09.12.2017	-0,5	98,8	19.06.2018	24	99,7
01.06.2017	19,3	99,1	10.12.2017	0,9	98,1	20.06.2018	24,7	99,8
02.06.2017	16	99,3	11.12.2017	-1,5	98,9	21.06.2018	25,5	99,5

Продовження додатку В

03.06.2017	15	99,7	12.12.2017	3,2	99	22.06.2018	22,8	99
04.06.2017	18,1	99,7	13.12.2017	2,8	99,4	23.06.2018	13,4	98,9
05.06.2017	23,5	99,4	14.12.2017	0,9	98,8	24.06.2018	14,7	99,5
06.06.2017	21,2	99,5	15.12.2017	1,8	98,8	25.06.2018	18,9	100
07.06.2017	24,1	99,3	16.12.2017	7,1	98,1	26.06.2018	21,4	100,1
08.06.2017	19,3	99,3	17.12.2017	1,2	99,6	27.06.2018	22	99,7
09.06.2017	20	99,5	18.12.2017	-0,8	98,9	28.06.2018	23	99,3
10.06.2017	18,5	99,5	19.12.2017	-1,7	99,4	29.06.2018	23,5	98,5
11.06.2017	20,9	99,6	20.12.2017	-2,3	100,4	30.06.2018	18,9	97,9
12.06.2017	21,1	99,1	21.12.2017	-2,9	100,6	01.07.2018	13,1	98,7
13.06.2017	18,6	98,7	22.12.2017	-0,6	99,6	02.07.2018	12,6	99,3
14.06.2017	15,5	98,7	23.12.2017	-0,4	99,4	03.07.2018	16,9	99,5
15.06.2017	16,5	99,3	24.12.2017	4,1	98,1	04.07.2018	20,9	99,2
16.06.2017	20,1	99,2	25.12.2017	5,2	99	05.07.2018	22,7	99,1
17.06.2017	19,4	98,9	26.12.2017	5,8	99,4	06.07.2018	25,6	98,8
18.06.2017	22,1	99,5	27.12.2017	2,5	98,7	07.07.2018	23,4	99
19.06.2017	24,5	99,4	28.12.2017	3,4	98,7	08.07.2018	23	99,2
20.06.2017	25,5	99,1	29.12.2017	6,8	98,7	09.07.2018	23,6	99,3
21.06.2017	20,9	99	30.12.2017	3,1	99,2	10.07.2018	21,8	99,5
22.06.2017	19,8	99,3	31.12.2017	0,2	99,2	11.07.2018	19,6	99,5
23.06.2017	19,3	98,7	01.01.2018	2,1	99,3	12.07.2018	24,4	99,3
24.06.2017	19,7	99	02.01.2018	2,2	99,3	13.07.2018	25	99
25.06.2017	22,8	99,2	03.01.2018	3,1	98,8	14.07.2018	22,4	98,9
26.06.2017	24,3	99	04.01.2018	3,2	98,6	15.07.2018	22	98,7
27.06.2017	23,3	99,3	05.01.2018	2,7	98,9	16.07.2018	22,5	98,6
28.06.2017	24,5	99,3	06.01.2018	2,8	99,5	17.07.2018	21,3	98,2
29.06.2017	28	98,8	07.01.2018	5,3	100,1	18.07.2018	21,4	98,1
30.06.2017	27	98,8	08.01.2018	-0,6	101,1	19.07.2018	23,2	98,3
01.07.2017	22,5	98,7	09.01.2018	-1,2	101,4	20.07.2018	22,2	98,4
02.07.2017	22,3	98,8	10.01.2018	-1,9	100,7	21.07.2018	21,3	98,7
03.07.2017	20,4	99,2	11.01.2018	-2	100,2	22.07.2018	21,5	98,6
04.07.2017	19,2	99,4	12.01.2018	-1,9	101,2	23.07.2018	21,8	98,4
05.07.2017	18,2	99,6	13.01.2018	-5,6	102	24.07.2018	23,4	98,7
06.07.2017	18	99,6	14.01.2018	-8,3	101,8	25.07.2018	23	98,9
07.07.2017	18,9	99,6	15.01.2018	-9,5	101,3	26.07.2018	22,3	99,2
08.07.2017	19,6	99,4	16.01.2018	-8	99,7	27.07.2018	23,3	99,2
09.07.2017	19,4	99,3	17.01.2018	-3,7	98	28.07.2018	25,4	99,1
10.07.2017	23,6	99,6	18.01.2018	-2	98,3	29.07.2018	24,5	99,3
11.07.2017	26,6	99,4	19.01.2018	-0,9	98,3	30.07.2018	26,5	99,5

Кількість відмов на одиницю рухомого складу по групах
для різних вузлів та систем.



Акти впровадження

**ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ
(КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)
КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
КИЇВПАСТРАНС**

**АВТОБУСНИЙ ПАРК №2**

02090, м. Київ, вул. Празька, Тел. 559-75-95, факс. 292-21-41 E-mail: ap2@kpt.kiev.ua

ДОВІДКА

**про використання результатів дисертаційної роботи Савостіна-Косяка Д.О.
на тему «Оцінка технічного стану міських автобусів
за показником витрати палива»**

Дисертаційна робота Савостіна-Косяка Д.О. на тему «Оцінка технічного стану міських автобусів за показником витрати палива» присвячена актуальній проблемі оцінки технічного стану міських автобусів в процесі їх експлуатації.

Автором встановлено взаємозв'язок витрати палива міських автобусів МАЗ 203 з температурою навколишнього середовища та терміном їх експлуатації, проаналізовано вплив характерних несправностей, які виникають в процесі експлуатації, на витрату палива.

Практична цінність результатів, отриманих в дисертаційній роботі, полягає в розробці методики виявлення відхилень у технічному стані міських автобусів за критерієм витрати палива, в основу якої покладено використання контрольних карт Шухарта та яка враховує особливості конкретного маршруту експлуатації, кліматичні умови та зміни технічного стану внаслідок використання за призначенням.

Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в процесі діагностування автобусів під час направлено пошуку несправностей та для обґрунтування експлуатаційної витрати палива на різних маршрутах.

Головний інженер

КП «Київпастрас»

Філія Автобусний парк № 2



В.В. Стрельников

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор
ДП «ДержавтотрансНДПроект» к.т.н., доцент
А.М. Редзюк
« ____ » _____ 2019



ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Савостін-Косяка Д.О.
на тему «Оцінка технічного стану міських автобусів
за показником витрати палива»

Дисертаційна робота Савостін-Косяка Данила Олександровича на тему «Оцінка технічного стану міських автобусів за показником витрати палива» присвячена вирішенню актуальної задачі, що спрямована на покращення методики оцінки технічного стану міських автобусів за показником витрати палива.

Тема роботи відповідає напряму «Експлуатація та ремонт засобів транспорту», який постановою Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 № 942 (зі змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 23.08.2016 № 556) визнано пріоритетним тематичним напрямом наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року.

Отримані в дисертаційній роботі результати:

- залежність витрати палива міськими автобусами від кліматичних умов, що дало змогу отримати рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за температурою навколишнього середовища;
- залежність витрати палива міськими автобусами від терміну їх експлуатації, що дало змогу отримати рівняння для визначення коефіцієнту коригування лінійної витрати палива за терміном експлуатації;
- результати експериментальних та розрахункових досліджень.
- на основі експериментальних даних визначено та обґрунтовано взаємозв'язок між характерними несправностями та витратою палива міських автобусів.

Прийняті лабораторією дослідження використання палив та екології Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», яке входить до сфери управління Мінінфраструктури України, для виконання розрахунків норм витрат палива КТЗ при експлуатації в міських умовах руху по маршруту.

Результати роботи можуть бути використані при розробленні норм витрати палива.

Заст. зав. лабораторії
дослідження використання
палив та екології, к.т.н., доцент



О.А. Клименко

007814



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул.М.Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010 т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
 e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

13.05.2019 № 998/01

на № _____

Довідка

про використання результатів дисертаційної роботи
Савостіна-Косяка Данила Олександровича

Основні положення та результати дисертаційної роботи Савостіна-Косяка Д. О. «Оцінка технічного стану міських автобусів за показником витрати палива» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук використовуються при підготовці фахівців за спеціальністю «Автомобільний транспорт». Зокрема, в освітньому процесі при вивченні дисциплін «Математичне моделювання технологічних процесів», «Технічна експлуатація автомобілів» та «Основи управління якістю» застосовуються:

- математична модель руху автобуса за визначеним маршрутом з урахуванням температури навколишнього та періоду експлуатації;
- рівняння залежності витрати палива міських автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069 від температури навколишнього середовища та періоду експлуатації;
- результати експериментальних досліджень впливу температури навколишнього середовища на витрату палива міських автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069;
- результати експериментальних досліджень впливу періоду експлуатації на витрату палива міських автобусів МАЗ 203.065 та МАЗ 203.069;
- методика оцінки технічного стану транспортних засобів за показником витрати палива на основі контрольних карт Шухарта.

Проректор з навчальної роботи
 професор



О. К. Гришук