

Національний транспортний університет  
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет  
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ПІЦИК МАКСИМ ГРИГОРОВИЧ

УДК 656.13.072

## ДИСЕРТАЦІЯ

### ПІДВИЩЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

05.22.01 – транспортні системи

27 Транспорт

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

\_\_\_\_\_ М. Г. Піцик

Науковий керівник –  
Хабутдінов Рамазан Абдуллайович  
доктор технічних наук,  
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації  
*Засвідчую*  
Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02  
\_\_\_\_\_ В. І. Каськів

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Піцик М.Г.* Підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)) - Національний транспортний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2020.

Сучасний стан міських автобусних перевезень характеризується наступними особливостями: високим рівнем фізичного та морального зносу автобусів, інтенсивним науково-технічним прогресом конструкції автобусів, очікуваним зростанням вартості автобусів (імпортних і вітчизняних), автомобільного палива, запасних частин та ін., а також технологічними особливостями автомобільних перевезень (великі конструктивно-технічні різновиди, нерівномірність пасажиропотоку в часі та просторі, великий діапазон зміни дорожніх факторів, траєкторна конфліктність автобусних маршрутів в транспортних потоках, актуалізація вимог енергоресурсозбереження на автомобільному транспорті, високий рівень фізичного та морального зносу автобусів.

У зв'язку з цим на міському пасажирському транспорті актуальні нові методи технологічно-модернізаційного енергозбереження і підвищення техніко-технологічної конкурентоспроможності майбутніх транспортних пропозицій на ринку автобусних транспортних послуг. Мета роботи полягає у підвищенні енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень з урахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів для комплексного вирішення організаційно-технологічних задач удосконалення процесів перевезень.

Наукова новизна:

- розроблено метод підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень шляхом енергетичної раціоналізації техніко-технологічних і експлуатаційних параметрів функціонування міських автобусів, що на відміну від існуючих методів аналізу противитратної ефективності перевезень, які базуються на схемі віртуального транспортування пасажирів, дає змогу комплексно вирішувати організаційно-технологічні задачі удосконалення транспортних процесів;

- запропоновано новий підхід до обґрунтування властивостей пасажирських автобусів з урахуванням процедур транспортних технологій, який на відміну від існуючих, дає змогу обирати пасажирські автобуси, характеристики яких відповідатимуть критеріям їх транспортної енергоефективності на маршрутах.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці методики для комплексного підвищення транспортної енергоефективності МАП з урахуванням техніко-технологічних факторів починаючи із ранніх етапів експлуатації: Моніторингу сегментів ринку автобусів; Експлуатаційного підвищення ТЕЕА; Врахування ТЕЕА при проведенні конкурсу.

Результати досліджень та методики експлуатаційного підвищення енергетичної ефективності міських автобусних перевезень апробовані у практичній діяльності ПАТ «САТП 0904». Це дозволило із ряду наявних на підприємстві автобусів обрати ті, що за своїми конструктивно-технічними характеристиками більше відповідають характеристикам маршрутів, що обслуговуються. Крім цього, результати дисертаційної роботи рекомендовано використовувати при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут директоратам з безпеки на транспорті Міністерства інфраструктури України. Розроблені теоретичні та методичні положення використані в навчальному процесі у Національному транспортному університеті при підготовці фахівців

спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» з таких дисциплін, як: «Сучасні транспортні технології», «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті» та «Комплексні проблеми технологій пасажирських перевезень».

Встановлено, що в теорії транспортного процесу прийнята розрахункова схема віртуального транспортування пасажирів, внаслідок цього існуючі підходи вибору та обґрунтування автобусів на міських маршрутах є дуже спрощеними, які не досконалі з точки зору транспортних технологій. В цих підходах не враховуються: а) ресурсно-технічні властивості автобуса як засобу перевезення; б) основні конструктивно-технічні характеристики автобуса; в) параметри його експлуатації (поверхні кочення, інтенсивність руху, довжина перегону, наповнення автобуса та ін.).

На основі розрахункових схем теорії енергетичної ефективності автомобіля обґрунтовані та адаптовані до задач технологічно-модернізаційного аналізу процесів автобусних перевезень математичні моделі та методи тестової і еталонно-порівняльної оцінки енергетичної ефективності автобусів з технічною новизною і технологічно-модернізованих процесів пасажирських перевезень у міському сполученні. Реалізовано експлуатаційно-технологічний підхід до планування оновлення рухомого складу автобусних парків та організації перевезень. Такий підхід дозволить вирішити задачі реалізації поставленої мети згідно концепції експлуатаційно-технологічного збереження енергії та ресурсів.

За допомогою результатів математично-імітаційного моделювання процесу руху автобуса в міських тестових операціях та багатоваріантному аналізу виявлено закономірності впливу основних конструктивних параметрів автобусів, а також транспортних умов перевезень і характеристик дороги на показники енергетичної ефективності автобусів.

Для цього використані імітаційні моделі адаптивно-дискретного функціонування автобуса в багатофазному міському циклі. В математичних

моделях, які використовуються для імітації технологічного функціонування автобуса у тестовій операції, покладено аналітичні залежності його дискретної кінематики, динаміки та енергетики які адаптовані до задач аналізу автобусного руху. Такі моделі дозволяють створити не тільки узагальнену модель тестової операції, в якій розглядаються різні варіанти конструкцій автобусів, а і дають можливість розглядати різні режими руху і характеристики дороги на маршруті. Такий підхід дозволяє обґрунтовувати та вибирати конструктивний варіант автобуса, який буде відповідати вимогам енергоефективності перевезень з урахуванням особливостей маршрутів на яких планується перевезення пасажирів.

Доведено, що запропонований показник транспортної енергетичної ефективності автобуса і комплекс методик технологічно-модернізаційного обґрунтування автобусів та проектів перевезень відповідає концепції енергозбереження на пасажирському автотранспорті.

Розроблено методики техніко-технологічного обґрунтування вибору автобусів на маршрут на основі використання існуючого порядку проведення конкурсу, який доповнюється розрахунком показника енергетичної ефективності автобуса з урахуванням особливостей маршруту, що розглядається. У зв'язку з цим, пропонується названі показники транспортної енергетичної ефективності автобуса ввести в існуючий комплекс показників конкурсної оцінки при виборі перевізника на забезпечення маршруту. Таким чином, розроблені методики дозволяють реалізувати комплексний підхід до вирішення задачі експлуатаційного підвищення технологічного рівня перевезення пасажирів згідно концепції технологічно-модернізаційного енергозбереження на пасажирському автотранспорті.

**Ключові слова:** автобус, автобусні перевезення, енергетична ефективність, комплексний підхід, оновлення рухомого складу, умови експлуатації.

## **Список публікацій здобувача**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

**Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукових баз:**

1. Пицык М. Г., Хмелёв И. В. Метод оценки проектов пассажирских перевозок с учётом изменения конструктивных параметров автобусов // Вестник БУТ: Наука и транспорт. 2019. №1 (38). С. 22-24.

**Статті у фахових виданнях України:**

2. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Аналіз експлуатаційно-технологічних характеристик міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2008. № 17. С. 160-163.

3. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Обґрунтування вибору автобусів з використанням моделі енергетичного показника собівартості // Вісник Національного транспортного університету. 2009. № 19 (2). С. 111-114.

4. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів // Проблеми транспорту. 2011. № 8. С. 83-87.

5. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П. Кількісна оцінка машинних процедур транспортних технологій автобусних перевезень // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2011. № 8. С. 207-209.

6. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П. Концептуально-орієнтований метод підвищення технологічної енергоефективності автобусів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2011. № 5 (1). С. 208-212.

7. Піцик М. Г. Експлуатаційне обґрунтування параметрів міських автобусів по їх транспортній ефективності // Вісник Національного транспортного університету. 2012. № 26 (2). С. 254-258.

8. Піцик М. Г. Вдосконалення конкурсної методики оцінки перевізників при виборі автобусів на маршрут // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2012. № 9. С. 155-157.

9. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В. Методика аналізу енергетичної ефективності транспортних засобів з урахуванням умов перевезень // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 (1). С. 348-353.

10. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В., Алексеєнко О. В. Моніторинг енергетичної ефективності міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2016. № 34. С. 499-505.

11. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В. Метод оцінки транспортно-технологічної якості автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2017. № 1 (37). С. 410-415.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

12. Піцик М.Г. Принципи та методи комплексного аналізу транспортно-технологічних процесів за енергетичними критеріями. *LXIII науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2007. С. 143.

13. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів сімейства «Богдан». *LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2008. С. 156.

14. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів. *LXV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2009. С. 158.

15. Піцик М.Г. Аналіз транспортно-технологічних процесів автобусних перевезень в умовах міста за енергетичними критеріями. *LXVI науково-практична*

конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2010. С. 178.

16. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів на міському маршруті за енергетичними критеріями. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2011. С. 168.

17. Піцик М.Г. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2012. С. 200.

18. Піцик М.Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів на маршруті за енергетичними критеріями. *LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2013. С. 216.

19. Піцик М.Г. Аналіз методики конкурсного вибору перевізників на міських маршрутах. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2014. С. 205.

20. Піцик М.Г. Методика оцінки техніко-технологічних якостей автобусів, що здійснюють перевезення по місту. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2015. С. 256.

21. Піцик М.Г. Методика обґрунтування вибору автобуса на міський маршрут з урахуванням його транспортної енергоефективності. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та*



*співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2016. С. 231.*

22. Піцик М.Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2018. С. 231.*

23. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Шляхи реалізації технологічної концепції комплексного збереження енергії та ресурсів у системі автобусних перевезень. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С. 246.*

24. Піцик М.Г. Аналіз впливу умов руху на показники технологічної якості АТЗ. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С. 246-247.*

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

25. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Методика оцінки транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2014. С. 204.*

26. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Аналіз енергоефективності АТЗ для здійснення міських вантажних перевезень. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2015. С. 256.*

27. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Аналіз транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2017. С. 246.*

## ABSTRACT

Pitsyk M.G. Improvement of transport energy efficiency of urban passenger bus transportation. - Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical Sciences in the specialty 05.22.01 "Transport systems" (275 Transport technologies (motor vehicles)) - National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kiev, 2019.

The current condition of urban bus transport is characterized by the following features: a high level of physical and moral deterioration of buses, high scientific and technical progress in the design of a bus, the expected increase of the cost of buses (imported and local ones), fuel cost, spare parts etc., as well as technological features of the road transportations (big constructive-technical varieties, the unevenness of passenger traffic due to time and locations, a large range of changes of the road factors, pathway conflict of bus routes in transport stream, actual requirements of energy resource savings on motor transport, high level of physical and moral depreciation of buses.

In this regard, new methods of technological and modernizational energy savings and improvements of the technical and technological competitiveness of future transport proposals on the market of bus transport services are relevant for urban transportation services. The objective of the work is to increase the energy efficiency of urban passenger bus transport, taking into account the combination of structural, technical, road and transport, and operational factors for a comprehensive solution of organizational and technological problems of improving transport processes.

The scientific innovation:

- a method of improving the transport efficiency of urban passenger bus transport by energy rationalization of technical, technological and operational parameters of city buses has been developed, in contrast to the existing methods for analyzing the cost-effectiveness of transport, which are based on the scheme of virtual

passenger transport, it allows us to comprehensively solve organizational and technological problems of improving transport processes;

- a new approach to substantiating the properties of passenger buses is proposed, taking into account the procedures of transport technologies, which, in contrast to the existing ones, makes it possible to choose passenger buses whose characteristics meet the criteria for their transport energy efficiency on routes.

The practical value of the results obtained is to develop a methodology for a comprehensive increase in transport energy efficiency of the MAP, taking into account technical and technological factors starting from the early stages of operation: Monitoring the segments of bus market; improving the Operational TEEA; taking TEEA into account during the competition.

The results of research and methods of operational improvement of energy efficiency of urban bus transport have been tested on practice of ІІАТ «САПІ 0904». This made it possible to select from a number of buses available at the enterprise those buses which correspond more to the characteristics of the routes served. In addition, the results of the thesis work are recommended for use during the competition for choosing a carrier for the route to the directorates for transport safety of the Ministry of infrastructure of Ukraine. The developed theoretical and methodological theses are used in the educational process at the National transport University for training specialists in specialty 275 "Transport technologies (on road transport)" from such disciplines as: "Modern transport technologies", "resource-saving technologies on road transport and "Complex problems of passenger transport technologies".

The results of research and development are used in solving the problems of planning the renewal of rolling stock and organization of transportation in Kiev and in the educational process at the National Transport University during the education of bachelors of the course 6.070101 "Transport technology".

It is established that the adopted design scheme of virtual transportation theory of the transport process was used and as a result, the existing approaches to the selection

and justification of buses on urban routes are very simplified, which are not perfect from the point of view of transport technologies. These approaches do not take into account: a) resource and technical properties of the bus as means of transportation; b) the basic design characteristics of the bus; c) the parameters of its operation (the rolling surface and traffic intensity, length of haul, fill the bus, etc.).

Based on calculation schemes of the theory of the energy efficiency of the vehicle, justification and adapted to the challenges of the technological modernisation process analysis bus transportation mathematical models and test methods, and standard-comparative evaluation of energy efficiency of buses with technically modernized and technologically upgraded processes of passenger transportations in the city. The operational and technological approach to planning the renewal of the rolling stock of bus fleets and organization of transportation has been implemented. Such approach will allow to solve problems of realization of an objective according to the concept of technologically modernized savings of energy and resources.

Using the results of mathematical simulation of the process of bus movement in urban test operations and multiversion analysis, the regularities of the influence of the main design parameters of buses, as well as transport conditions and road characteristics on the energy efficiency of buses were revealed.

In this regard, with the task of improving transport energy efficiency of passenger transportation, there is a need to use simulation models of adaptive-discrete operation of the bus in the multiphase urban cycle. In the mathematical models there are analytical discretized of its kinematics, dynamics and energy adapted to the task of analysis of bus traffic, used to simulate the technical functioning of buses in test operations. Such models make it possible to create not only a generalized model of the test operation, which considers various options for bus designs, but also makes it possible to consider different traffic modes and characteristics of the road on the route. Such approach allows us to justify and choose a constructive version of the bus that will

meet the requirements of energy efficiency of transportation, taking into account the features of the routes on which the transport passengers is planned.

It is proved that the proposed indicator of transport energy efficiency of a bus and a set of techniques of technological modernization of buses and transport projects corresponds to the concept of energy saving on passenger vehicles.

Methods of technical and technological justification of the choice of buses on the route were developed, based on the use of the existing order of carrying out competition, which is supplemented with the calculation of an indicator of energy efficiency. In this regard, it is proposed to use these indicators of transport energy efficiency of the bus together with the existing set of indicators of competitive evaluation when choosing a carrier for a route. Thus, the developed methods allow to implement a comprehensive approach for solving the problem of increasing the technological level of passenger transportation according to the concept of technological and modernization energy saving on passenger vehicles.

**Keywords:** energy efficiency, passenger bus transportation on urban transport, bus, technological and innovative approach, comprehensive approach, technical, road and operational factors.

### **Список публікацій здобувача**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

**Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукових баз:**

1. Пицык М. Г., Хмелёв И. В. Метод оценки проектов пассажирских перевозок с учётом изменения конструктивных параметров автобусов // Вестник БУТ: Наука и транспорт. 2019. №1 (38). С. 22-24.

**Статті у фахових виданнях України:**

2. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Аналіз експлуатаційно-технологічних характеристик міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2008. № 17. С. 160-163.

3. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Обґрунтування вибору автобусів з використанням моделі енергетичного показника собівартості // Вісник Національного транспортного університету. 2009. № 19 (2). С. 111-114.

4. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів // Проблеми транспорту. 2011. № 8. С. 83-87.

5. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П. Кількісна оцінка машинних процедур транспортних технологій автобусних перевезень // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2011. № 8. С. 207-209.

6. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П. Концептуально-орієнтований метод підвищення технологічної енергоефективності автобусів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2011. № 5 (1). С. 208-212.

7. Піцик М. Г. Експлуатаційне обґрунтування параметрів міських автобусів по їх транспортній ефективності // Вісник Національного транспортного університету. 2012. № 26 (2). С. 254-258.

8. Піцик М. Г. Вдосконалення конкурсної методики оцінки перевізників при виборі автобусів на маршрут // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2012. № 9. С. 155-157.

9. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В. Методика аналізу енергетичної ефективності транспортних засобів з урахуванням умов перевезень // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 (1). С. 348-353.

10. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В., Алексеєнко О. В. Моніторинг енергетичної ефективності міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2016. № 34. С. 499-505.

11. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В. Метод оцінки транспортно-технологічної якості автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2017. № 1 (37). С. 410-415.

**Опубліковані праці апробаційного характеру:**

12. Піцик М.Г. Принципи та методи комплексного аналізу транспортно-технологічних процесів за енергетичними критеріями. *LXIII науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2007. С. 143.

13. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів сімейства «Богдан». *LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2008. С. 156.

14. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів. *LXV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2009. С. 158.

15. Піцик М.Г. Аналіз транспортно-технологічних процесів автобусних перевезень в умовах міста за енергетичними критеріями. *LXVI науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2010. С. 178.

16. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів на міському маршруті за енергетичними критеріями. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2011. С. 168.

17. Піцик М.Г. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу,*

*аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2012. С. 200.*

18. Піцик М.Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів на маршруті за енергетичними критеріями. *LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2013. С. 216.*

19. Піцик М.Г. Аналіз методики конкурсного вибору перевізників на міських маршрутах. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2014. С. 205.*

20. Піцик М.Г. Методика оцінки техніко-технологічних якостей автобусів, що здійснюють перевезення по місту. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2015. С. 256.*

21. Піцик М.Г. Методика обґрунтування вибору автобуса на міський маршрут з урахуванням його транспортної енергоефективності. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2016. С. 231.*

22. Піцик М.Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2018. С. 231.*

23. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Шляхи реалізації технологічної концепції комплексного збереження енергії та ресурсів у системі автобусних перевезень. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів,*



*студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С. 246.*

24. Піцик М.Г. Аналіз впливу умов руху на показники технологічної якості АТЗ. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С. 246-247.*

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

25. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Методика оцінки транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2014. С. 204.*

26. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Аналіз енергоефективності АТЗ для здійснення міських вантажних перевезень. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2015. С. 256.*

27. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Аналіз транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2017. С. 246.*

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....                                                                                                                                        | 22 |
| ВСТУП.....                                                                                                                                                            | 23 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....                                          | 30 |
| 1.1 Основні напрямки модернізаційно-технологічного розвитку автобусних перевезень.....                                                                                | 30 |
| 1.2 Аналіз існуючих методик обґрунтування ефективності рухомого складу та технологій міських автобусних перевезень .....                                              | 33 |
| 1.2.1 Аналіз методів обґрунтування міських автобусів та оцінки їх функціонування на маршрутах.....                                                                    | 33 |
| 1.2.2 Аналіз існуючої методики проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування.....                                       | 36 |
| 1.3 Основні передумови формування концептуально-орієнтованого методу підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень .....      | 37 |
| 1.4 Задачі досліджень.....                                                                                                                                            | 38 |
| 1.5 Висновки до розділу 1.....                                                                                                                                        | 41 |
| РОЗДІЛ 2 АДАПТАЦІЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕСТОВОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ..... | 43 |
| 2.1 Обґрунтування техніко-технологічного підходу та розрахункових схем для тестового аналізу транспортної енергоефективності автобусів на міських маршрутах .....     | 43 |

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2 Постановка задачі підвищення транспортної енергоефективності перевезень з урахуванням зміни технічних, експлуатаційних і дорожніх факторів перевезень .....                                                       | 54 |
| 2.3 Математичні моделі показників транспортної енергоефективності автобуса для маркетингового і експлуатаційного аналізу міських пасажирських автобусних перевезень .....                                             | 55 |
| 2.3.1 Загальні положення до обґрунтування показників транспортної енергоефективності автобуса .....                                                                                                                   | 57 |
| 2.3.2 Математичні моделі показників транспортної енергоефективності автобуса .....                                                                                                                                    | 59 |
| 2.4 Математичні моделі показників транспортної енергетичної ефективності автобуса і перевезень .....                                                                                                                  | 65 |
| 2.5 Математична модель показника транспортно-технологічної якості автобуса .....                                                                                                                                      | 68 |
| 2.6 Висновки до розділу 2.....                                                                                                                                                                                        | 74 |
| РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ТРАНСПОРТНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ .....                                        | 76 |
| 3.1 Постановка задачі моделювання транспортної енергетичної ефективності автобусів в тестових операціях на основі еталонно-порівняльного підходу.....                                                                 | 76 |
| 3.2 Методика параметричного аналізу впливу різних факторів на показники транспортно-технологічної якості автобуса.....                                                                                                | 79 |
| 3.3 Аналіз впливу технічних і експлуатаційних факторів на показники транспортної енергетичної ефективності автобусів і пасажирські перевезення на основі результатів моделювання на міських автобусних маршрутах..... | 80 |

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.1 Аналіз впливу конструктивних параметрів автобуса на його транспортну енергетичну ефективність.....                                                                               | 83  |
| 3.3.1.1 Аналіз впливу максимальної потужності двигуна .....                                                                                                                            | 88  |
| 3.3.1.2 Аналіз впливу передаточного числа головної передачі .....                                                                                                                      | 92  |
| 3.3.1.3 Аналіз впливу радіуса колеса .....                                                                                                                                             | 95  |
| 3.3.1.4 Аналіз впливу питомої витрати палива двигуна.....                                                                                                                              | 99  |
| 3.3.2 Аналіз впливу експлуатаційних умов перевезень .....                                                                                                                              | 100 |
| 3.3.2.1 Аналіз впливу приросту швидкості руху автобуса.....                                                                                                                            | 100 |
| 3.3.2.2 Аналіз впливу довжини перегону між зупинками.....                                                                                                                              | 104 |
| 3.3.2.3 Аналіз впливу коефіцієнту наповнення автобуса .....                                                                                                                            | 107 |
| 3.3.3 Аналіз впливу характеристик дороги .....                                                                                                                                         | 110 |
| 3.3.3.1 Аналіз впливу коефіцієнту опору коченню коліс .....                                                                                                                            | 110 |
| 3.4 Аналіз впливу конструктивних параметрів автобуса на енергоеквівалентні показники продуктивності і собівартості.....                                                                | 113 |
| 3.5 Висновки до розділу 3 .....                                                                                                                                                        | 115 |
| РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ МЕТОДИК МОДЕРНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДВИЩЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....                           | 117 |
| 4.1 Постановка задачі модернізаційно-технологічного підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень.....                                         | 117 |
| 4.2 Методика моніторингу заданого сегменту ринка автобусів за рівнем їх транспортної енергетичної ефективності.....                                                                    | 121 |
| 4.3 Методика експлуатаційного підвищення транспортної енергоефективності автобуса з урахуванням конструктивних параметрів, а також дорожніх і транспортних умов руху на маршруті ..... | 127 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 Методика врахування транспортної енергоефективності автобуса при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут..... | 131 |
| 4.5 Висновки до розділу 4.....                                                                                                 | 137 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                                                         | 139 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                                | 142 |
| ДОДАТОК А АКТИ, ДОВІДКИ ВПРАВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....                                                     | 155 |
| ДОДАТОК Б СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....               | 160 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

РС – рухомий склад;

МПАП – міські пасажирські автобусні перевезення;

ВДМ – вулично-дорожня мережа;

МАП – міські автобусні перевезення;

АТЗ – автотранспортний засіб;

ТЕЕА – транспортна енергоефективність автобуса;

ТЗ – транспортний засіб;

АНТРТ - автобус як носій технічних ресурсів транспорту;

СПОКА – структурно-параметрична організація конструкції автобуса;

ТЕЕАП – транспортна енергоефективність автобусних перевезень;

ТТ – транспортні технології;

ЕРЕАТЗ – енергоресурсної ефективності автотранспортного засобу;

АП – автобусні перевезення.

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми досліджень.** Автомобільний пасажирський транспорт є основним видом транспорту для перевезення пасажирів на малі та середні відстані [1, 2]. Більшість об'єктів автотранспорту загального користування на теперішній час приватизовані, внаслідок цього з'явилась достатньо велика кількість індивідуальних перевізників та невеликих приватних транспортних підприємств загальна кількість яких перевищує 15 тис. суб'єктів підприємницької діяльності [3]. Ці підприємства налічують в своєму складі понад 200 тис. автобусів [4] значна частина з яких (більше 70 тис. [4]) використовується на постійних маршрутах. Вони мають на балансі від 3-х до 20...50-ти одиниць рухомого складу (РС) [5], що значно ускладнює комплексне вирішення задачу технологічно-модернізаційного розвитку міських пасажирських автобусних перевезень (МПАП) та підвищення техніко-технологічної конкурентоспроможності майбутніх транспортних пропозицій в умовах ринкової економіки [6, 7].

Особливістю малих транспортних підприємств є малі штати інженерно-технічного персоналу, а також недостатність методологічного фінансового забезпечення техніко-технологічних інновацій. В зв'язку з цим, кількість функцій кожного управлінця автопідприємства значно збільшується. Управлінцям доводиться самостійно приймати рішення як удосконалення оперативного (сервісно-комерційного) функціонування так і довгостроково-модернізаційного (техніко-технологічного) розвитку ресурсно-технологічної бази підприємств і транспортно-технологічних процесів з урахуванням особливостей міських пасажирських перевезень [8, 9]. До таких особливостей відносяться: конструктивно-технічна різноманітність автобусів; постійний науково-технічний прогрес в їх конструкціях при виробництві; нерівномірність пасажиропотоку; нестабільне завантаження; нерівномірно-переривчастий рух автобусів на маршрутах; велика кількість перешкод руху автобусів на маршрутах; значно

високий рівень енерго- і ресурсоемності транспортних операцій на маршрутах, змінність дорожніх факторів, низька рентабельність пасажирських автобусних перевезень в містах. Проведений аналіз показав, що існуючі методи [10-17] противитратної оцінки ефективності перевезень не дозволяють враховувати вищезгаданих особливостей, а також не забезпечують управління інноваційно-технологічним розвитком ресурсно-технологічної бази підприємств і транспортно-технологічних процесів.

При реалізації концепції експлуатаційно-технологічного енергозбереження на автотранспорті слід врахувати комплексність експлуатації автобусів (транспортно-організаційну, комерційну, транспортно-операторську та транспортно-технологічну) [18]. Процеси МПАП реалізуються в маршрутних мережах міст та в його траєкторно-конфліктній вулично-дорожній мережі [19]. Вищезгадані особливості МПАП значно впливають на безпеку та енергоефективність перевезень. Їх необхідно враховувати при вирішенні нових техніко-технологічних задач. Для забезпечення безпеки МПАП в конфліктній вулично-дорожній мережі (ВДМ) водій адаптує швидкісні режими автобуса до транспортних небезпек і до дорожньо-транспортних ситуацій, в результаті чого безпечний рух автобусів стає нерівномірним та енерговитратним. З іншого боку, для забезпечення операцій посадки та висадки пасажирів на зупинках система «Водій – Автобус» [20] реалізує режими надзвичайно енергоємного циклового руху «розгін – стала швидкість – зупинка» [21-23]. З'єднання негативних ефектів адаптивно-нерівномірного руху автобусів у конфліктній ВДМ і циклового руху автобусів на маршрутах призводить до значного зниження рівня транспортної енергоефективності МПАП. Слід підкреслити, що на цей рівень істотно впливає комплекс факторів: конструктивно-технічні, дорожні, транспортні і експлуатаційні.

Для підвищення енергоефективності автобусів і МПАП виникає необхідність на основі інноваційного техніко-технологічного підходу



вирішуватись задачі формування сучасних транспортних технологій (ТТ) і оновлення парку рухомого складу транспортних підприємств з використанням методик, які будуть відповідати концепції збереження енергії.

Інноваційний підхід до формування парку автобусів у транспортних підприємствах, полягає в тому, щоб обрати автобуси на міські маршрути, які забезпечать довготермінову конкурентоспроможність серед перевізників.

Рівень конкурентоспроможності перевізника в умовах науково-технічного прогресу зростає за рахунок збереження енергії, але не тільки існуючих матеріально-технічних ресурсів, а й перспективних з точки зору науково-технічного прогресу. Ці ресурси, в свою чергу, виступають як прогресивні конструкції автобусів, що за допомогою розрахункових схем дають змогу аналізувати ефективність їх техніко-технологічного використання в майбутньому.

В зв'язку з цим зростає актуальність нових методів енергетичного аналізу функціонування автобусів і підвищення їх транспортної енергоефективності. Для вирішення цих задач використано теорію і методи модернізаційного підвищення енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу [18].

Для реалізації підвищення енергетичної ефективності МПАП постає задача адаптації розроблених математичних моделей аналізу енергоефективності автомобіля узагальненого типу до рішення задач енергетичного аналізу адаптивного функціонування автобуса на маршруті і транспортної енергоефективності автобуса з технічною новизною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.** Роботу виконано згідно з положеннями цільової комплексної програми розвитку транспортного комплексу України «Транспорт» (розпорядження Кабінету Міністрів України № 551 – Р від 23.07.1993р.), Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : (розпорядження Кабінету Міністрів України № 430 від 30.05.2018р.)

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є підвищення енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень з урахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів для комплексного вирішення організаційно-технологічних задач удосконалення процесів перевезень. Для досягнення вказаної мети поставленні наступні завдання:

- провести аналіз існуючих методів підвищення ефективності міських автобусних перевезень і обґрунтування розрахункових схем транспортних операцій з урахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів;

- уточнити математичну модель аналізу енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу з метою підвищення енергоефективності міських автобусних перевезень;

- розробити алгоритм імітаційного моделювання технологічного функціонування автобусів з урахуванням параметрів техніко-технологічних новацій дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів в рамках адаптації математичної моделі;

- встановити закономірності залежностей показників енергоефективності автобусів на міських маршрутах від комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів;

- розробити методики комплексного підвищення транспортної енергоефективності міських автобусних перевезень з урахуванням техніко-технологічних факторів починаючи із ранніх етапів експлуатації автобусів.

**Об'єктом дослідження** є процес технологічного транспортування пасажирів на міських автобусних маршрутах з урахуванням конструктивно-технічних характеристик автобусів, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів.

**Предметом дослідження** є залежності показників транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень від конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів.

**Методи дослідження.** В даній роботі використовуються методи теорії транспортних процесів та систем, методи аналізу енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу на маршрутах виходячи із тестового і еталонно-порівняльного підходів, метод порівняння енергетичних характеристик наданого і його еталонного прототипу автобуса, математичне моделювання функціонування автобуса на перегонах.

**Наукова новизна:**

- розроблено метод підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень шляхом енергетичної раціоналізації техніко-технологічних і експлуатаційних параметрів функціонування міських автобусів, що на відміну від існуючих методів аналізу противитратної ефективності перевезень, які базуються на схемі віртуального транспортування пасажирів, дає змогу комплексно вирішувати організаційно-технологічні задачі удосконалення транспортних процесів;

- запропоновано новий підхід до обґрунтування властивостей пасажирських автобусів з урахуванням процедур транспортних технологій, який на відміну від існуючих, дає змогу обирати пасажирські автобуси, характеристики яких відповідатимуть критеріям їх транспортної енергоефективності на маршрутах.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці методики для комплексного підвищення транспортної енергоефективності МАП з урахуванням техніко-технологічних факторів починаючи із ранніх етапів експлуатації: Моніторингу сегментів ринку автобусів; Експлуатаційного підвищення транспортної енергоефективності автобуса (ТЕЕА); Врахування ТЕЕА при проведенні конкурсу.

Результати досліджень та методики експлуатаційного підвищення енергетичної ефективності міських автобусних перевезень апробовані у практичній діяльності ПАТ «САТП 0904». Це дозволило із ряду наявних на підприємстві автобусів обрати ті, що за своїми конструктивно-технічними характеристиками більше відповідають характеристикам маршрутів, що обслуговуються. Крім цього, результати дисертаційної роботи рекомендовано використовувати при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут директоратам з безпеки на транспорті Міністерства інфраструктури України. Розроблені теоретичні та методичні положення використані в навчальному процесі у Національному транспортному університеті при підготовці фахівців спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» з таких дисциплін, як: «Сучасні транспортні технології», «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті» та «Комплексні проблеми технологій пасажирських перевезень».

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати досліджень за темою дисертаційної роботи здобувачем отримані самостійно. Особисто здобувачем опубліковано 2 статті у наукових фахових виданнях [86, 56]. У роботах написаних у співавторстві особисто здобувачем на основі аналізу експлуатаційно-технологічних характеристик міських автобусів обґрунтовано критерії їх ефективності [26, 82]; здійснено дослідження впливу конструктивних параметрів автобуса, умов перевезень та характеристик доріг на показники енергетичної ефективності і енергетичного показника собівартості та продуктивності [66, 68, 93]; розроблено методику моніторингу міських автобусів із урахуванням їх енергетичної ефективності [106, 107]; запропоновано методику удосконалення порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування [53].

**Апробація матеріалів дисертації.** Результати наукових розробок, отримані під час виконання дисертаційної роботи, докладалися на LXIII – LXXV

наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 2007-2019 рр.).

**Публікації.** Основні теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи опубліковані в 10 наукових статтях у фахових виданнях України і 1 стаття в іноземному виданні, а також 12 тезах доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 162 сторінки друкованого тексту, з них 122 сторінки основного тексту. Список використаних джерел налічує 126 найменувань.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

#### **1.1 Основні напрямки модернізаційно-технологічного розвитку автобусних перевезень**

Наукоємні і складні задачі модернізаційного підвищення енергоефективності автобусних перевезень і енергозберігаючої експлуатації нових автобусів має ґрунтуватися на методах обґрунтування концептуального розвитку ТТ і автобусного парку.

Концепція експлуатаційно-технологічного енергозбереження для забезпечення модернізаційно-технологічного розвитку автотранспорту передбачає: а) альтернативний поглядом на нього як сферу матеріального виробництва з технологічно-інноваційним перевізним процесом; б) нову наукову ідею, принципи і методи, які направлені на рішення складних задач техніко-технологічного збереження енергії і ресурсів під час планування перевезень, експлуатації автобусів і організації пасажирських перевезень [7, 18, 24, 25]. Проте, нетехнологічні адміністративні методи економії енергії та ресурсів такі, як: заходи щодо зменшення норм витрат палива, збільшення ресурсу автобусів шляхом зміни їх агрегатів в процесах ремонту, купівля нових і фізично зношених автобусів, фактично «консервують» технологічний рівень перевезень. Ці методи не потребують поглибленого вивчення і наукового підходу. Вони не дозволяють ставити та вирішувати довгострокові і комплексні задачі модернізаційно-технологічної економії енергії і ресурсів на автотранспорті в системі експлуатації автобусів і виробничо-якісної організації перевезень пасажирів.

Методи аналізу противитратної ефективності перевезень, що використовуються в існуючій теорії транспортного процесу [26, 27], не враховують технічну новизну автобусів у часі, а також змінність дорожніх та експлуатаційних факторів на маршрутах. Розрахункова схема цих теорій автобусних перевезень заснована на описі віртуального руху автобуса як найпростішого перевізного засобу, без врахування адаптивного і енергоперетворюючого функціонування автобуса. Негативним для рішення задач модернізаційно-технологічного розвитку автотранспорту є те, що в математичних моделях показників продуктивності автобуса і собівартості перевезень [14, 16, 17, 28] враховуються декілька його характеристик як простого перевізного засобу (пасажиромісткість, балансова ціна і незмінні технічні нормативи), які не враховують адаптивне і енерговитратне функціонування рухомого складу.

Метою модернізаційно-технологічного обґрунтування автобуса з технічною новизною є комплексне підвищення енергоресурсної якості автобусних перевезень із урахуванням зміни експлуатаційних факторів [25]. Новизна підходу, що пропонується, полягає в тому, що для досягнення поставленої цілі комплексно розглядається автобус як науково-технічний товар, а також деякі його властивості як носія технічних ресурсів автотранспорту (АНТРТ): складна енергоперетворююча машина, небезпечний об'єкт керування рухом, знаряддя технологічних впливів. Ці властивості комплексно і по різному впливають на показники транспортної енергоефективності АТЗ [29-38 ].

Ідея довгострокового енергозбереження в процесі експлуатації автобуса як АНТРТ полягає в етапній реалізації двох принципів розвитку транспортного процесу: модернізаційно-технологічного обґрунтування автобусів із технічною новизною та їх технологічної адаптації до умов міських маршрутів із заданими параметрами виходячи із умови максимізації показника транспортної енергоефективності автобуса. Етапність обумовлена тим, що нові технічні і технологічні рішення реалізуються поетапно у кожній новій моделі автобуса і

умов його експлуатації та вони повинні бути обумовленні як технічно так і економічно. Етапно-модернізаційна максимізація транспортної енергоефективності автобуса (ТЕЕА) обумовлює постійне підвищення рівня техніко-технологічної конкурентоспроможності транспортних пропозицій на ринку міських пасажирських автобусних перевезень.

Вважається, що для оцінки транспортної енергоефективності автобуса, що обґрунтовується, необхідно імітаційно прогнозувати вплив різних факторів економію енергії і ресурсів в процесі його адаптивного функціонування і експлуатації на маршрутах. В математичних моделях, що застосовуються для аналізу результативності новацій, автобуси повинні бути представлені як варіанти альтернативних конструктивних факторів перевезень. Для виконання цієї вимоги в кожному варіанті вихідних даних та параметрах експлуатації сукупність конкуруючих моделей автобусів представлена як ряд змінних станів СПОКА. При цьому кожна модель автобуса задається сукупністю технічних параметрів і функціональних характеристик, що відображають роботу енергоутворюючого і пасажиронесучого пристрою автобуса. Ця сукупність являє собою інформацію, що необхідна і достатня для опису та аналізу технологічно адаптованих робочих процесів автобуса, що реалізуються при його дорожньому русі.

Для досягнення заданого рівня енергоефективності автобуса необхідно таким чином підібрати стан СПОКА, тобто характеристики структури і параметри конструкції автобуса, щоб вони забезпечили вирішення трьох задач розвитку [39]:

- підвищення транспортної енерговіддачі автобуса в типовій міській тестовій операції його руху;
- зростання енергоресурсної транспортної ефективності автобуса в розрахунковому перевізному циклі;
- збільшення показників енергоеквівалентної ефективності перевезень.

У зв'язку з тим, що збереження енергії являє собою безперервно-дискретний процес, перед перевізниками виникає необхідність мати науково

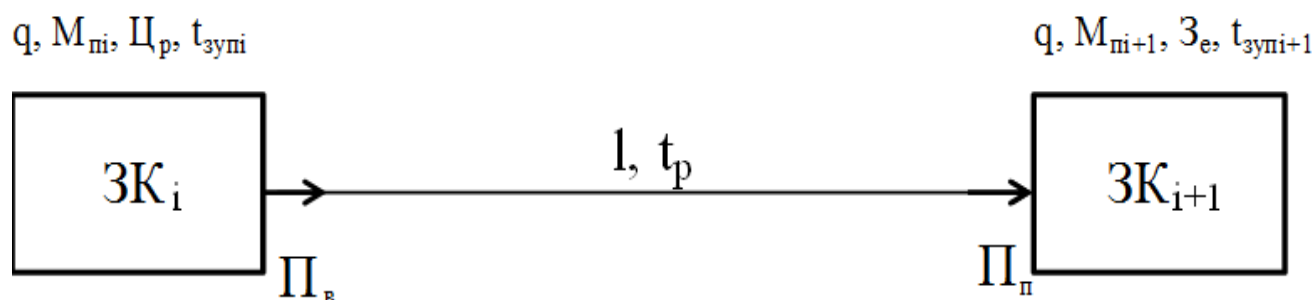


обумовлену і універсальну методику обґрунтування вибору автобуса. Саме тому методика вибору основана на експлуатаційно-технологічному енергозбереженні, що дає змогу вибору оптимального автобуса для конкретних умов експлуатації та відповідає Національній транспортній стратегії України [40].

## **1.2 Аналіз існуючих методик обґрунтування ефективності рухомого складу та технологій міських автобусних перевезень**

### **1.2.1 Аналіз методів обґрунтування міських автобусів та оцінки їх функціонування на маршрутах**

В існуючих методиках обґрунтування автобуса, які були запропоновані різними авторами [41-44], критерії, що використовуються, дозволяють вирішувати задачі соціально-етичного маркетингу, ринкових відносин, в деяких випадках частково розглядають технічні, експлуатаційні та інші проблеми, що не розкривають питання енергоефективності, так як їх недоліком є те, що вони засновані на проти витратних розрахункових схемах перевезень пасажирів (рис. 1.1). Ці схеми є технологічно виродженими та не дозволяють вирішити задачі обґрунтування автобуса згідно концепції модернізаційно-технологічного розвитку. В них не формалізована сутність і структура технологічних дій автобуса на дорогу і на сумарну масу пасажирів, реалізується умовне і віртуальне пересування автобуса від зупинки  $ЗК_i$  до зупинки  $ЗК_{i+1}$ , а носії технічних ресурсів транспорту (автобуси) позбавлені конструктивно-технічних і експлуатаційно-технологічних властивостей.



де  $ZK_i$  – пасажирський термінал (зупинка);  $q$  – пасажиромісткість автобусів;  $M_n$  – маса пасажирів;  $Ц_p$  – ціна ресурсів;  $t_{зуп}$  – час зупинки;  $Π_в$ ,  $Π_п$  – подія відправлення і прибуття;  $З_e$  – витрати на ресурси;  $l$  – відстань між зупинками;  $t_p$  – час руху між зупинками.

Рисунок 1.1 – Існуюча організаційна схема формалізації процесу переміщення пасажирів на основі представлення віртуального транспортування пасажирів.

Ці схеми не враховують такі важливі фактори як: технологічні процедури та процеси, змінність конструктивних параметрів нових транспортних засобів (ТЗ), процес перетворення енергії та ресурсів, а також умови адаптивного функціонування автобуса на режимах нерівномірно-переривчастого руху. Ці фактори значно впливають на технологічний рівень автобуса. Вони не розглядають етапність фаз руху автобуса в їздовому циклі, в якому реалізується споживання енергії, а лише відображають три його параметри: подію відправлення та прибуття автобуса з пасажиром на зупинках та час між ними із врахуванням середньої технічної швидкості. Це означає, що використовуючи зазначені схеми не можливо оцінити споживчу енергозберігаючу якість автобуса в процесі експлуатації. Натурально-фізичний рух автобуса в транспортному процесі також не може бути розраховано, тому що саме на етапі руху автобуса витрачається енергія та реалізується матеріально-речова основа конструктивно-технічного та транспортного факторів [37]. В зв'язку з цим, віртуальна схема транспортування формує вартісну модель оцінки ефективності використання автобуса без врахування його технологічних властивостей. Внаслідок чого виникає необхідність розробки енерготехнологічної моделі транспортування

автобуса, яка базується на відображенні матеріально-речової сутності конструктивно-технічного фактору.

В теорії автомобіля [45-47] існують механізми технічної оцінки автобуса, але в ній не розглядається задача оптимізації робочих процесів та конструкції ТЗ, що виходять із вимоги підвищення ТЕЕА. Аналіз конструкції автобуса як споживчо-орієнтованого товару призначеного для певних умов перевезення і задоволення потреб перевізника (споживача) не можливий, тому що об'єктом дослідження є автобус як технічний засіб. Для цього його необхідно розглядати як науково-технічний товар із властивостями АНТРТ, який являє собою: складний технічний засіб, небезпечний об'єкт управління рухом, енергоємний перевізний засіб та об'єкт технічного обслуговування, який морально та матеріально зношується в процесі експлуатації.

Обґрунтування конструкції автобусів на основі розрахункових схем сталого руху, що використовуються в теорії автомобіля [45-47], не забезпечує необхідної оцінки енергоефективності автобуса на режимах нерівномірно-переривчастого руху, що реалізується при перевезеннях. Таке зауваження вперше було висунуте Велікановим Д. П. [48, 49]. Він стверджував, що необхідно встановити причинно-наслідковий зв'язок технічних показників експлуатаційних якостей автомобіля та показників його використання в транспортному процесі. Велика кількість показників експлуатаційної якості не дає змогу оптимізувати конструктивного удосконалення. Також важливим спостереженням Веліканова Д. П. була відсутність поняття однокритеріальної споживчої якості автомобіля, що є дуже необхідним в умовах ринкової економіки.

У роботах Лур'є М. І., Токарева О. А. [50] було використано розрахункові схеми міських та магістральних їздових циклів для аналізу паливної економічності АТЗ. Але в них не був реалізований комплексний експлуатаційно-технологічний підхід для аналізу ефективності ТЗ.

У роботах Хабутдінова Р. А. [18, 25, 51-54] представлена теорія енергоресурсної ефективності АТЗ, в якій автомобіль розглядається як багатофункціональний носій технічних ресурсів транспорту в транспортній операції, де проявляються властивості АТЗ як складної енергоперетворюючої машини, небезпечного об'єкта управління рухом, зняття технологічних впливів. Розрахункові схеми, що запропоновані, дозволять розробити комплексні методики модернізаційно-технологічного підвищення транспортної енергоефективності МПАП на основі математичних моделей енергетичної ефективності автомобіля у тестовій операції. Також запропоновані ідея, розрахункові схеми та моделі для визначення енергетично еквівалентної транспортної роботи за допомогою еталонно-порівняльного методу аналізу енергетичної ефективності АТЗ в тестових операціях [53]. У роботах автора [18, 25] були розроблені основи енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу, а питання підвищення енергоефективності міських автобусних перевезень було розкрито не в повному обсязі.

### **1.2.2 Аналіз існуючої методики проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування**

Однією з важливих задач організації конкурсного відбору перевізників на міські автобусні маршрути є обґрунтування рухомого складу, який би відповідав технічним, технологічним та експлуатаційним вимогам і відповідав положенням цільової комплексної програми розвитку транспортного комплексу.

Згідно постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування» [55, 56] однією із мети проведення конкурсу є: «реалізація основних напрямків розвитку галузі автомобільного транспорту», що у поєднанні із Законом України «Про автомобільний транспорт» [57], у якому

визначено, що держава регулює та контролює раціональне використання енергетичних ресурсів, виникає необхідність інноваційно-технологічної оцінки енергетичної ефективності автобусів, що обираються на маршрути.

На основі аналізу методики конкурсного відбору перевізників для маршруту загального користування [58, 59] встановлено, що вона не враховує вищезазначені вимоги та положення. Методи, що використовуються в конкурсі, ґрунтуються на теорії сталого руху для аналізу потенційних можливостей автобуса, яка не зовсім відображає його транспортне енергоперетворююче функціонування, не описує умови експлуатації та не розглядає його як носія технічних ресурсів транспорту.

У зв'язку з цим, виникає необхідність вдосконалення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування, яка спрямована на реалізацію енергозберігаючих транспортних технологій.

### **1.3 Основні передумови формування концептуально-орієнтованого методу підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень**

Розвиток міських пасажирських автобусних перевезень залежить від подальшого впровадження техніко-технологічних новацій, що відповідають концепції комплексного збереження енергії та ресурсів на транспорті [7, 18, 25]. Також перед перевізниками стоїть задача довгострокового модернізаційно-технологічного розвитку та удосконалення техніки і технології міських пасажирських автобусних перевезень, що в свою чергу підвищить рівень їх конкурентоспроможності серед інших учасників транспортного процесу в системі пасажирських перевезень. Тому для модернізаційно-технологічного обґрунтування автобусів необхідно використовувати методи [60-64], що

відповідають вищезазначеній концепції. Такий метод повинен враховувати вплив технічних параметрів автобуса на ефективність транспортування пасажирів.

Провівши аналіз літературних джерел [65-70] було визначено, що обґрунтування автобуса на маршрут здійснюється із врахуванням лише його пасажиромісткості і загальних норм витрати палива.

Такий підхід має ряд недоліків:

- не враховує зміну технічних параметрів автобуса у часі;
- не враховує людино-машинний вплив на енерговитратність нерівномірно-переривчастого руху автобуса [71-73];
- не враховує вплив комплексу технічних, дорожніх і експлуатаційних факторів на економічну ефективність автобуса (перетворення капіталовкладень у затрати).

В існуючих методиках [41-44] обґрунтування автобуса враховується вплив показника пасажиропотоку на місткість автобуса. При цьому не аналізуються показники продуктивності автобуса і собівартості перевезень за схемою віртуального транспортування (рис. 1.1). В транспортних підприємствах використовується організаційний підхід при проектуванні процесу перевезень [10-17]. При цьому не враховуються важливі фактори енергоємності автобусних перевезень: процеси та процедури, які протікають в момент руху автобуса між зупинками; інтенсивність транспортного потоку; закономірності руху АТЗ в їздовому циклі та умови, в яких він експлуатується. Такий підхід не може забезпечити аналіз енергетичної ефективності МПАП відповідно до названої концепції.

#### **1.4 Задачі досліджень**

Усе вищезгадане дозволяє сформулювати наступну мету дослідження: підвищення енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень з

урахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів для комплексного вирішення організаційно-технологічних задач удосконалення процесів перевезень. Для досягнення вказаної мети поставленні наступні завдання:

- провести аналіз існуючих методів підвищення ефективності міських автобусних перевезень і обґрунтування розрахункових схем транспортних операцій з урахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів;

- уточнити математичну модель аналізу енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу з метою підвищення енергоефективності міських автобусних перевезень;

- розробити алгоритм імітаційного моделювання технологічного функціонування автобусів з урахуванням параметрів техніко-технологічних новацій дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів в рамках адаптації математичної моделі;

- встановити закономірності залежностей показників енергоефективності автобусів на міських маршрутах від комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів;

- розробити методики комплексного підвищення транспортної енергоефективності міських автобусних перевезень з урахуванням техніко-технологічних факторів починаючи із ранніх етапів експлуатації автобусів.

Для реалізації поставлених задач було розроблено і запропоновано структурну схему виконання досліджень рис. 1.2.

Об'єктом дослідження є процес технологічного транспортування пасажирів на міських автобусних маршрутах з урахуванням конструктивно-технічних характеристик автобусів, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів.

Предметом дослідження є залежності показників транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень від конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів.

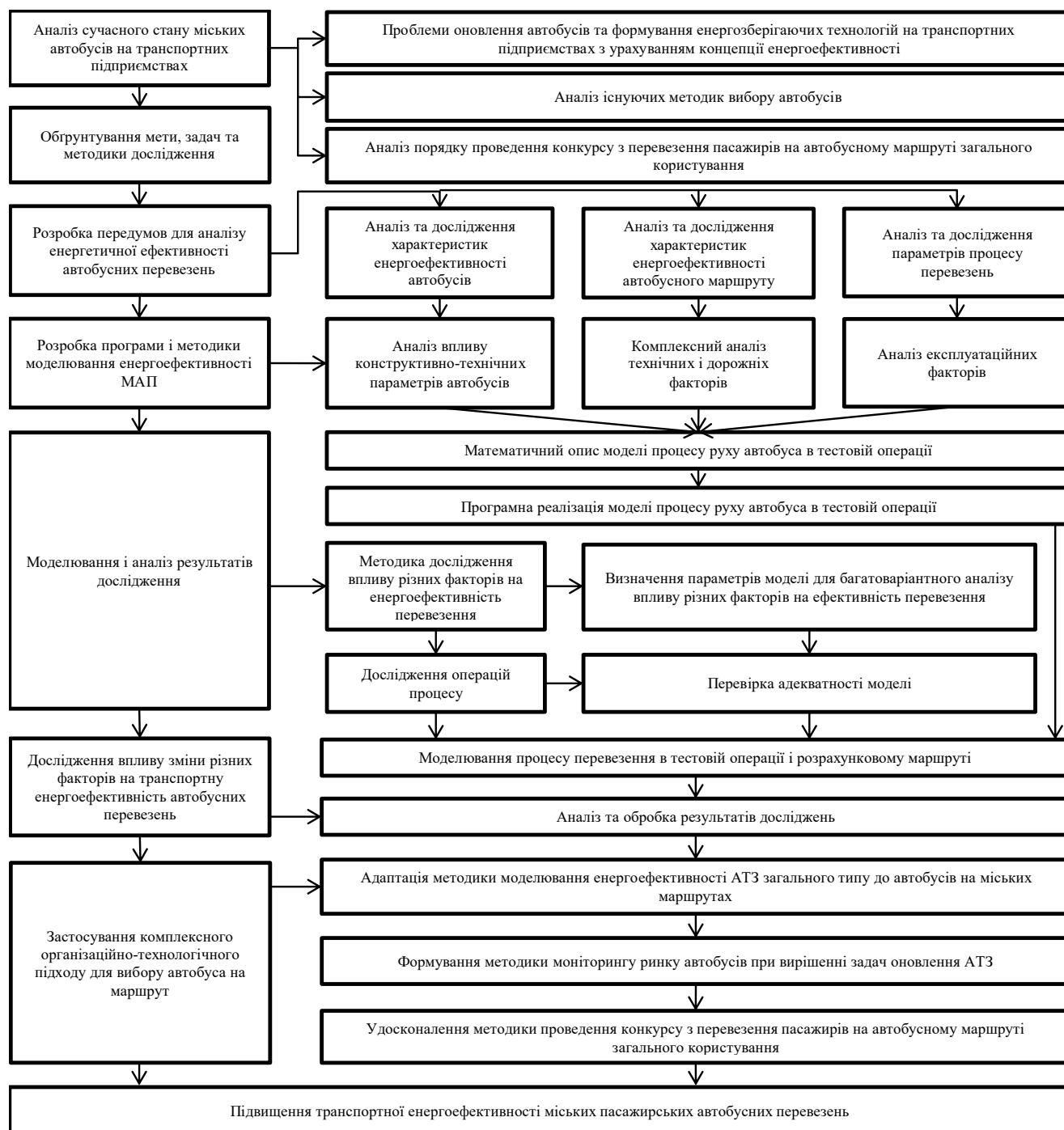


Рисунок 1.2 – Структурна схема виконання дослідження



Гіпотеза роботи: комплексне обґрунтування з урахуванням особливостей експлуатаційних і техніко-технологічних параметрів процесу перевезення на етапі планування оновлення рухомого складу за критеріями енергоефективності та конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування дозволить реалізувати концепцію енергозбереження.

Наукова новизна:

- розроблено метод підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень шляхом енергетичної раціоналізації техніко-технологічних і експлуатаційних параметрів функціонування міських автобусів, що на відміну від існуючих методів аналізу противитратної ефективності перевезень, які базуються на схемі віртуального транспортування пасажирів, дає змогу комплексно вирішувати організаційно-технологічні задачі удосконалення транспортних процесів;

- запропоновано новий підхід до обґрунтування властивостей пасажирських автобусів з урахуванням процедур транспортних технологій, який на відміну від існуючих, дає змогу обирати пасажирські автобуси, характеристики яких відповідатимуть критеріям їх транспортної енергоефективності на маршрутах.

## **1.5 Висновки до розділу 1**

1. Виходячи із сформованої цілі при обґрунтуванні автобуса запропоновано новий підхід до технологічних проектів автобусних перевезень, що базується на ідеї інноваційного і експлуатаційно-технологічного енергозбереження на автотранспорті, який засновано на описі автобуса як науково-технічного товару із властивостями АНТРТ, що являє собою: складний технічний засіб, небезпечний об'єкт управління рухом, енергоємний перевізний засіб та об'єкт технічного обслуговування, який морально та матеріально зношується в процесі експлуатації.

2. Встановлено, що існуючі методи обґрунтування автобусів для оновлення і формування парку РС з точки зору технологічно-інноваційного підходу мають суттєві недоліки, зокрема: а) ґрунтуються на організаційному підході; б) орієнтовані тільки на підвищення противитратної ефективності технологічно-консервативних перевезень; в) не враховують подальші зміни параметрів автобуса; г) не враховують фактор енергетичної результативності машинних процедур, що не дає змоги оцінити їх майбутню технологічну ефективність.

3. Виявлено, що відсутні розрахункові схеми та математичні моделі для аналізу енергетичної ефективності нових моделей автобусів та впливу зміни їх конструктивних параметрів на показники ефективності роботи.

4. Встановлено, що для підвищення енергоефективності МПАП необхідно адаптувати і використати розрахункові схеми представлені в теорії енергоресурсної ефективності АТЗ, визначити критерії для аналізу технологічного рівня автобуса та розробити методику врахування ТЕЕА при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут.

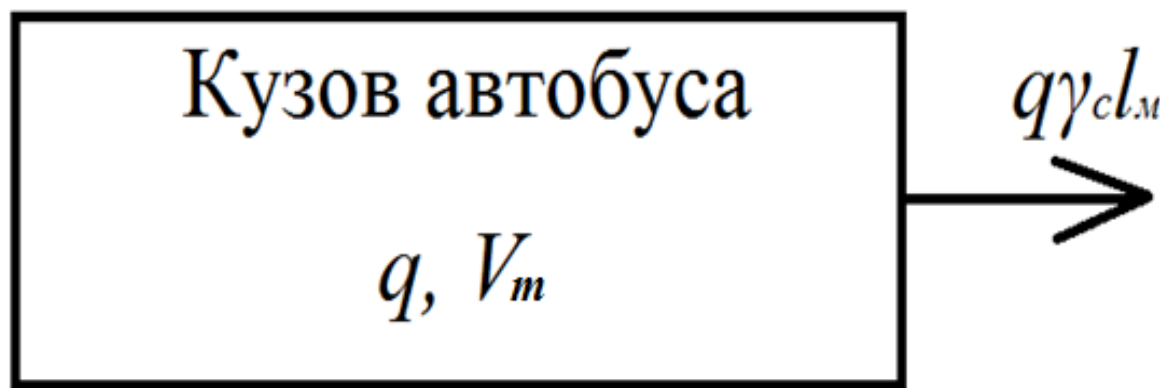
## РОЗДІЛ 2

### АДАПТАЦІЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕСТОВОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

#### 2.1 Обґрунтування техніко-технологічного підходу та розрахункових схем для тестового аналізу транспортної енергоефективності автобусів на міських маршрутах

Існуючі підходи для обґрунтування автобусів і процесів перевезення пасажирів, які використовуються на транспортних підприємствах, що надають послуги з перевезення пасажирів на міських автобусних маршрутах [41-44, 74-77], не дають змогу вирішувати задачі підвищення транспортної енергетичної ефективності транспортного процесу, оцінювати конструктивно-технічні та енергетичні якості автобуса як носія технічних ресурсів транспорту та складної машини. В основі існуючих методів закладені противитратні та нетехнологічні розрахункові схеми (рис. 1.1), в яких ґрунтуються на опису схеми віртуального транспортування та на нормативному списанні енергетичних і матеріальних ресурсів та не враховуються сутність транспортних операцій в процесі перевезення пасажирів, які характеризуються адаптивним і енергоперетворюючим функціонуванням автобуса. Крім того, не враховуються особливості міських пасажирських перевезень, які істотно впливають на їх енергоефективність, а саме: конструктивно-технічна різноманітність автобусів; постійний науково-технічний прогрес в їх конструкціях при виробництві; нерівномірність пасажиропотоку; не стабільне завантаження; нерівномірно-переривчастий рух автобуса на маршрутах; велика кількість перешкод; значно високий рівень енерго- і ресурсоемності транспортних операцій на маршрутах, змінність дорожніх факторів, низька рентабельність пасажирських автобусних перевезень в містах.

Таким чином існуючі методи визначення показників противитратної ефективності перевезень і функціонування автобуса засновані на критеріях противитратної ефективності доставки пасажирів, які мають ряд суттєвих недоліків з точки зору реалізації концепції експлуатаційно-технологічного енергозбереження. По-перше, в них не враховується комплекс властивостей автобуса як носія технічних ресурсів транспорту (АНТРТ), прояви яких обумовлюють формування енергетичних процесів перетворення ресурсів і створення фізичного продукту транспорту. По-друге, в теоріях транспортного процесу та економіки транспорту замість багатоетапного процесу перетворення технологічних ресурсів транспорту розглядається простий акт нормативного списання їх вартості в затрати за схемою віртуального транспортування. По-третє, вимірник облікової транспортної роботи (пасажиро-кілометр) не має фізичної та технологічної суті, оскільки відображає схему віртуального функціонування автобуса як перевізного засобу (у розрахунковій схемі транспортного циклу він є самохідним кузовом, рис. 2.1).



де  $q$  – номінальна місткість автобуса;  $\gamma_c$  – коефіцієнт наповнення (використання пасажиромісткості);  $l$  – довжина перегону між зупинками,  $V_m$  – технічна швидкість автобуса згідно схеми віртуального транспортування (рис. 1.1).

Рисунок 2.1 – Схема автобуса як самохідного кузова, який переміщується віртуально з умовно постійною швидкістю  $V_m$

Звідси отримуємо, що існуючі дисципліни, вивчають окремі сторони функціонування АТЗ. Закономірності функціонування автобуса як складної машини розглядаються в теорії автомобіля [45-47], функціонування автобуса як перевізного засобу описується в теорії транспортних процесів [10-12]. Остання дозволяє забезпечити аналіз вимог своєчасності і противитратності пасажирських перевезень. Проте, для концепції збереження енергії та ресурсів необхідна реалізація принципу експлуатаційно-технологічного збереження енергії.

Враховуючи це постає задача у розробці, адаптації та використанні техніко-технологічного підходу, який би забезпечив модернізаційно-технологічний розвиток міських автобусних перевезень. Такі підходи запропоновані в теорії енергоресурсної ефективності [18, 25]. Для формування техніко-технологічного підходу і можливості оцінки енергоефективності АНТРТ в роботах Хабутдінова Р. А. [78, 79] використовуються:

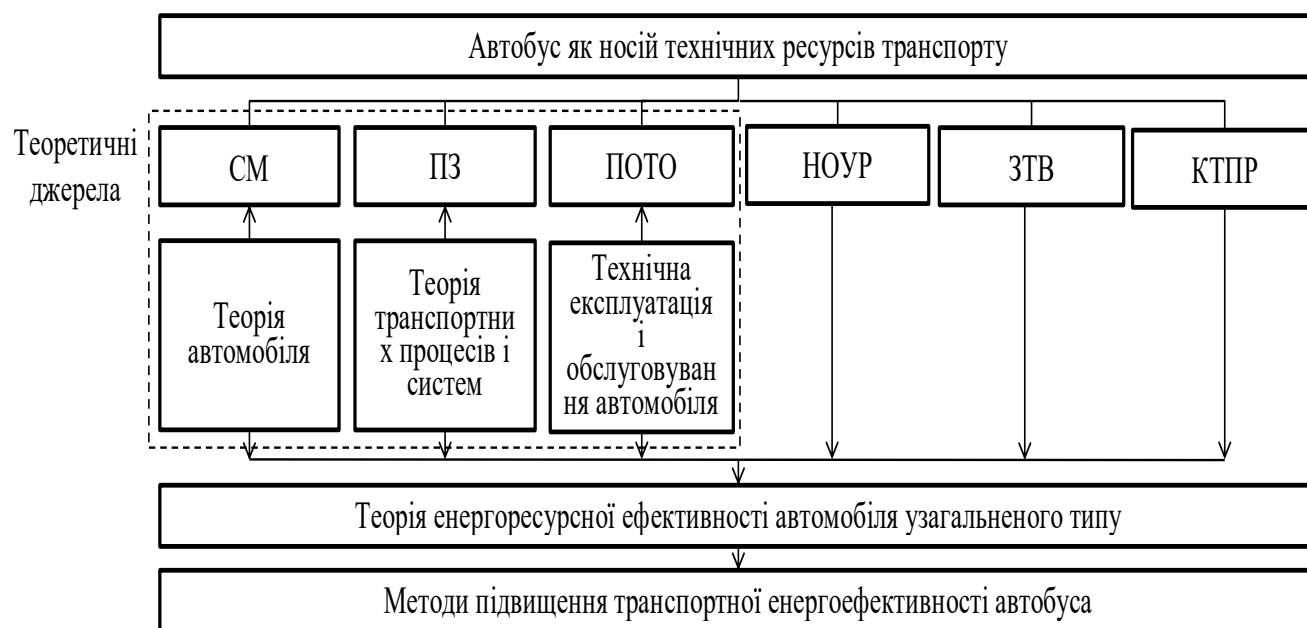
- а) енергетична схема перетворення технологічних ресурсів транспорту в фізичний продукт;
- б) технологічна схема взаємозаміщення багатofункціонального АНТРТ в автобусній транспортній операції;
- в) математичні моделі для аналізу енергоресурсної ефективності автобуса узагальненого вигляду (зі зміною структурно-параметричною організацією).

В прив'язці до автобусних перевезень фізичний продукт транспорту це сума «перегінних» локальних продуктів між зупинками, тому що дорожні і транспортні умови значно відрізняються на різних перегонах.

Слід відзначити, що поняття «енергоресурсна ефективність» відображає транспортно-енергетичну результативність АНТРТ у рухових операціях з урахуванням прояву комплексу його властивостей, представлених на рис. 2.2. В роботах [18, 25] представлено загальну методологію підвищення енергоресурсної ефективності АТЗ (ЕРЕАТЗ) узагальненого типу. В них розглядаються

особливості функціонування автомобіля і технологічні процеси перевезень пасажирів в міських умовах [53, 78].

В теорії ЕРЕАТЗ розглядається автомобіль як носій технічних ресурсів транспорту та має вісім властивостей (рис.2.2). Основними властивостями, які мають важливе значення для виконання транспортних операцій та забезпечення адаптивного функціонування автобуса як: складної машини, небезпечного об'єкту керування, перевізного засобу, знаряддя технологічних машинних впливів (машинні процедури) та конструктивно-технологічної основи процесу перетворення ресурсів.



де: СМ – складна машина; НОУР – небезпечний об'єкт управління рухом; ПЗ – перевізний засіб; ПОТО – потенційний об'єкт технічного обслуговування; ЗТВ – знаряддя технологічних впливів на: поверхню кочення, пасажирів, атмосферу; КТПР – конструктивно-технічна основа процесів перетворення ресурсів.

Рисунок 2.2 – Схема функціонування автобуса як носія технічних ресурсів транспорту

Ресурси поділяються на технічні (АТЗ), енергетичні (паливо), трудові (водії) й фізичні (поверхні кочення автомобільних шляхів та кисень

навколишнього середовища). Технології використання ресурсів базуються на таких їх перетвореннях [79]:

- а) залучення в операцію руху відповідно до проявів їх властивостей при перетвореннях енергії;
- б) з'єднання згідно з технологіями людино-машинної праці;
- в) перетворення у фізичний продукт транспорту в результаті людино-машинних дій на кількість руху експлуатаційної маси автобусів з пасажирями.

Режимні ресурси транспорту (час наряду) використовуються шляхом їх заміщення на енергетично обумовлений час багатofазних рухових операцій. Таким чином, схема відтворення продукту транспорту є енергетичною (рис. 2.3). Параметри автобуса як носія технічних ресурсів є характеристиками продуктоутворюючого засобу праці та процесотворного знаряддя для технологічних процедур [18].

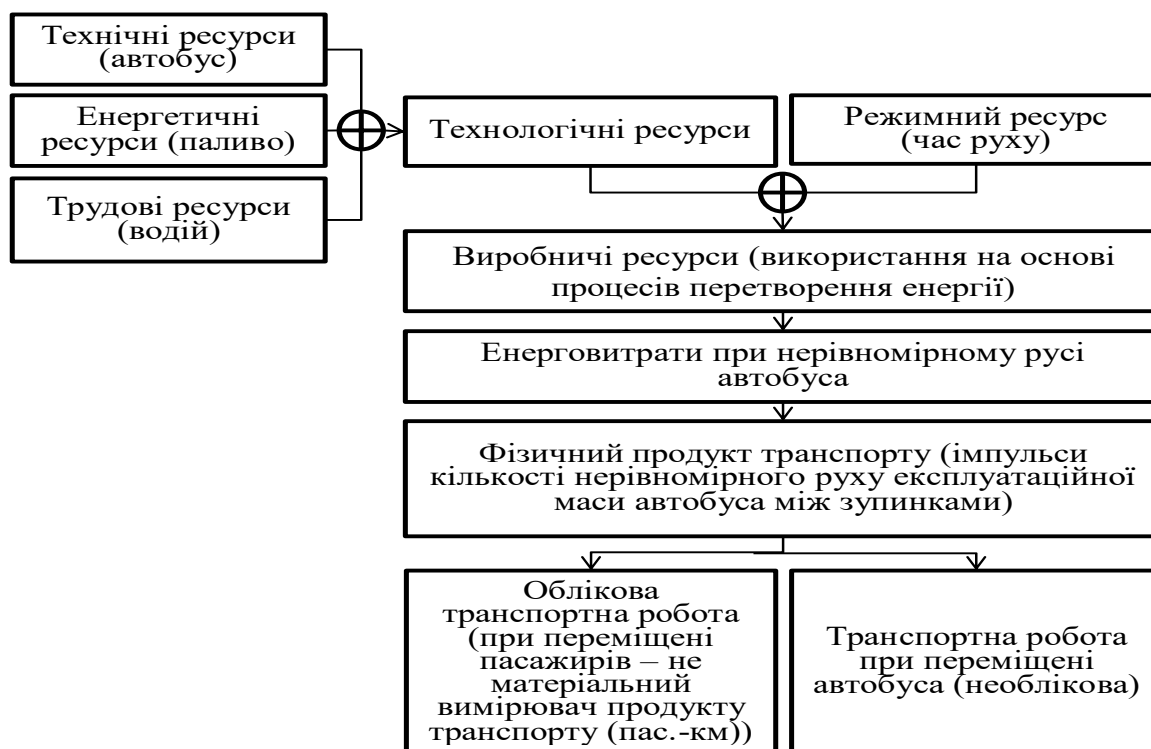


Рисунок 2.3 – Енергетична схема перетворення ресурсів у перевізному процесі

Згідно з цією схемою носії технологічних ресурсів транспорту (у вигляді спорядженого автобуса), композиційно поєднуючись з фізичними (властивості дороги) та режимними (час наряду) ресурсами утворюють виробничі ресурси, що перетворюються в енерговитрати на переміщення експлуатаційної маси автобуса. Потім енерговитрати перетворюються у фізичний продукт (керовані імпульси кількості руху експлуатаційної маси автобуса) (рис. 2.4). Частина цих імпульсів являє собою транспортну роботу по перевезенню пасажирів. Чим вище загальний рівень енерговитрат, тим більше довжина маршруту. Чим більше інтенсивність енерговитрат, тим вище темп руху автобуса і тим менша кількість режимного ресурсу транспорту витрачається (фактор часу руху).

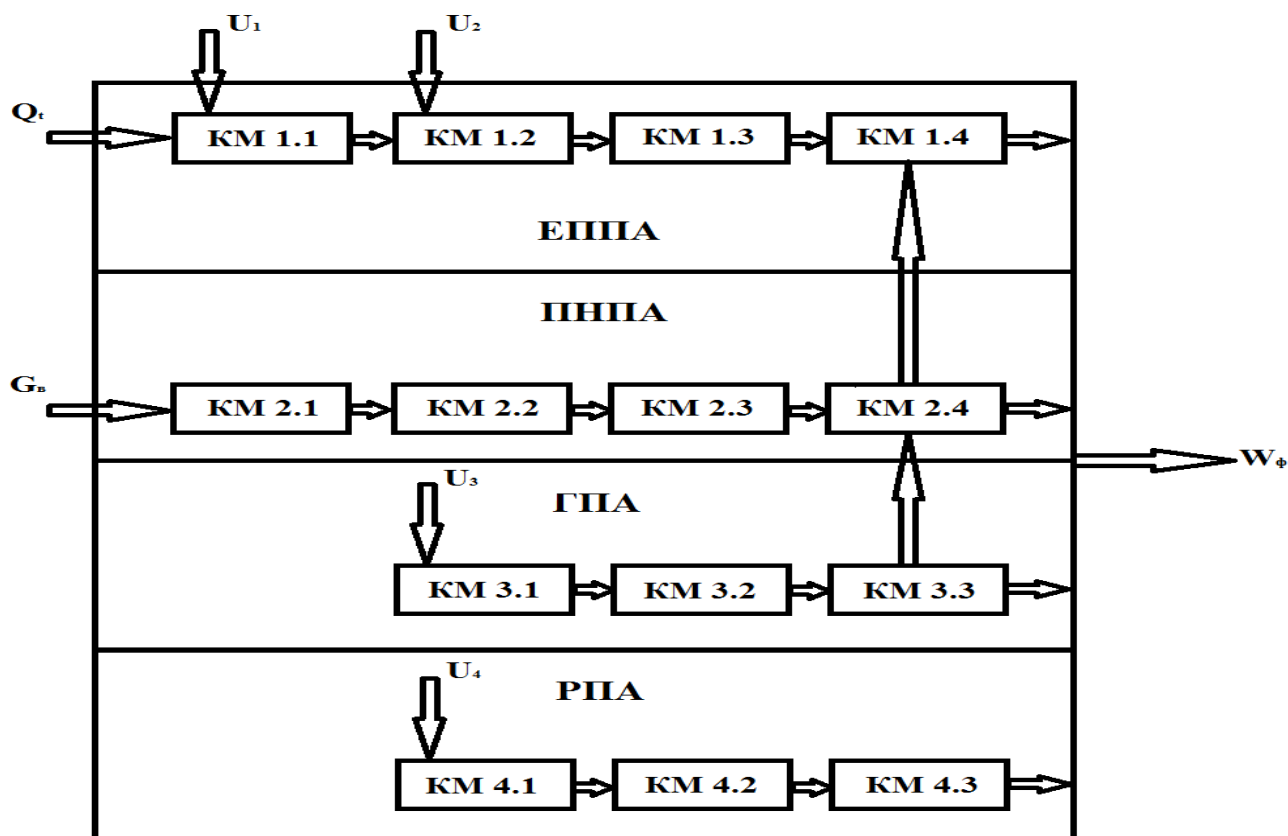
Теорія енергоресурсної ефективності АТЗ враховує зміну технічних параметрів нових автомобілів і розглядає їх як структурно-параметричну організацію конструкції автобуса (СПОКА) (рис. 2.5) [18]. Використовуючи схему СПОКА, процес переміщення автобуса з пасажирями забезпечується роботою чотирьох основних пристроїв конструкції автобуса: енергоперетворюючого, пасажиронесучого, гальмівного і рульового. Перший перетворює хімічну енергію палива в кінетичну енергію експлуатаційної маси автобуса, а другий забезпечує передачу експлуатаційної ваги автобуса на поверхню кочення через колеса. Тобто, узагальнений та інформаційно-спрощений погляд на конструкцію автобуса досягається модульним описом його чотирьох конструктивно-функціональних пристроїв. Технічний прогрес в заданому варіанті конструкції автобуса, враховується направленим вибором структури та параметрів його функціональних модулів.

Гнучкість технічного вигляду автобуса в межах опису елементів типорозмірного ряду РС відбувається на основі представлення його будови у вигляді деякої множини характеристик СПОКА. Вибір характеристик та параметрів СПОКА повинен забезпечувати максимізацію транспортної енергетичної ефективності автобуса.





Рисунок 2.4 – Структура технологічних процедур формування продукту транспорту [18]



де:  $U_1, U_2, U_3, U_4$  – управління;  $Q_t$  – потік палива;  $G_b$  – маса пасажирів;  $W_\phi$  – фізичний продукт транспорту; ЕППА – енергоперетворюючий пристрій автобуса; ПНПА – пристрій несення маси пасажирів автобуса; ГПА – гальмівний пристрій автобуса; РПА – рульовий пристрій автобуса; КМ – конструктивні модулі; КМ 1.1 – джерело енергії (двигун); КМ 1.2 – трансформація енергії (коробка передач, головна передача); КМ 1.3 – розподіл енергії (диференціали міжколісні, міжосьові та коробки відбору потужності); КМ 1.4 – колісний тяговий модуль (пара ведучих коліс); КМ 2.1 – кузов; КМ 2.2 – рама (остов); КМ 2.3 – підвіска; КМ 2.4 – ходові модулі; КМ 3.1 – тормозна педаль та тормозний привід; КМ 3.2 – тормозний механізми; КМ 3.3 – тормозні колеса (вісі); КМ 4.1 – рульове колесо та рульовий механізм; КМ 4.2 – рульовий привід (рульова трапеція та рульові тяги); КМ 4.3 – керуючі колеса (передні).

Рисунок 2.5 – Схема структурно-параметричної організації конструкції автобуса як технічного засобу транспортного виробництва

На відміну від схеми самохідного кузова (рис. 2.2), СПОКА автобуса має у своїй структурі 14 конструктивно-функціональних модулів, які забезпечують перетворення його внутрішньої енергії і формування фізичного продукту транспорту за рейс [39, 80, 81, 87]:

$$W_{\phi p} = \sum_{i=1}^{n-1} G_e \cdot V_i(N_i) \cdot t_i \cdot (N_i^{-1}), \quad (2.1)$$

де  $G_e$  – експлуатаційна маса автобуса;

$n$  – кількість зупинок на маршруті;

$V_i$  – технічна швидкість автобуса між зупинками;

$N_i$  – максимальна потужність двигуна автобуса;

$t_i$  – час руху між зупинками.

Експлуатаційна маса автобуса визначається як:

$$G_e = G_c + G_{mn}, \quad (2.2)$$

де  $G_c$  – споряджена маса автобуса;

$G_{mn}$  – розрахункова маса пасажирів ( $G_{mn} = n_n \cdot (75 \dots 80 \text{ кг})$ ).

Таким чином, в будь-якій руховій операції проявляються можливості СПОКА автобуса щодо перетворення енергії та ресурсів транспорту у фізичний продукт  $W_{\phi}$ . Важливу роль СПОКА автобуса у процесі енерговитратного транспортування пасажирів необхідно враховувати при формуванні енергозберігаючих транспортних технологій [18].

Згідно з техніко-технологічним підходом і задачами дослідження, адаптовано розрахункову схему до автобусних перевезень та розроблено методику підвищення ефективності автобусів за енергетичними критеріями, відповідно до розрахункових схем енергоресурсної ефективності автобуса. Метою методики є підвищення техніко-технологічної якості автобусних перевезень, яке визначається величиною показника транспортної енерговіддачі (відношення виконаної транспортної роботи до рухових енерговитрат або витрат палива). В методиках,

що існують [74-77, 82], енерговитрати не визначаються, а витрати палива обчислюються на основі середньоексплуатаційних лінійних норм витрат палива.

Транспортна послуга є особливо енерговитратним матеріальним благом, яке створюється за результатами технологічних процедур і процесів перетворення ресурсів транспорту. Транспортні технології – це науково описана сукупність способів людино-машинного і енергоресурсного виробництва якісного продукту транспорту з урахуванням того, що він є матеріальним і не речовим (рис.2.6) [18, 83, 84]. У зв'язку з тим, що технології перевезень складаються із процесів енергетичного перетворення ресурсів транспорту в продукт, то в основу математичної моделі енергоспоживання в транспортній операції закладено опис функціонування АТЗ як динамічного засобу праці в операції руху. Основною особливістю подібного функціонування АТЗ є виконання адаптивно-дискретної транспортної роботи. Під впливом водія адаптуються машинні процедури автобуса і процеси перетворення його енергії до дорожньо-транспортних обставин руху між зупинками. При визначенні енергетичної ефективності автобуса необхідно враховувати режими його несталого руху. На цих режимах відбувається підвищення енерговитрат, зносу силових агрегатів і шин, викидів токсичних газів в повітря через порушення робочих процесів двигуна. На режимах несталого руху (прискорені і гальмуванні) найчастіше порушується стійкість силових зв'язків коліс із дорогою, що безпосередньо впливає на безпеку руху і, крім того, зростають втрати енергії в місці контакту коліс із дорогою [18, 85, 86].

У зв'язку з названими вимогами до обґрунтування техніко-технологічного підходу для аналізу транспортної енергетичної ефективності автобуса прийнято наступні вихідні передумови:

а) автобус одночасно функціонує як багатоагрегатний технічний засіб і як небезпечний токсично шкідливий об'єкт керування рухом;

б) автобус має змінну структурно-параметричну організацію конструкції і надану кількість її змінних функціональних модулів; у рамках єдиної

розрахункової схеми СПОКА визначається схеми розподіл мас та енергії, а також робочі процеси конструкції автобуса;

в) переміщення автобуса розглядається як послідовність фаз руху (постійна швидкість – розгін – гальмування), що складають типову рухову операцію між зупинками;

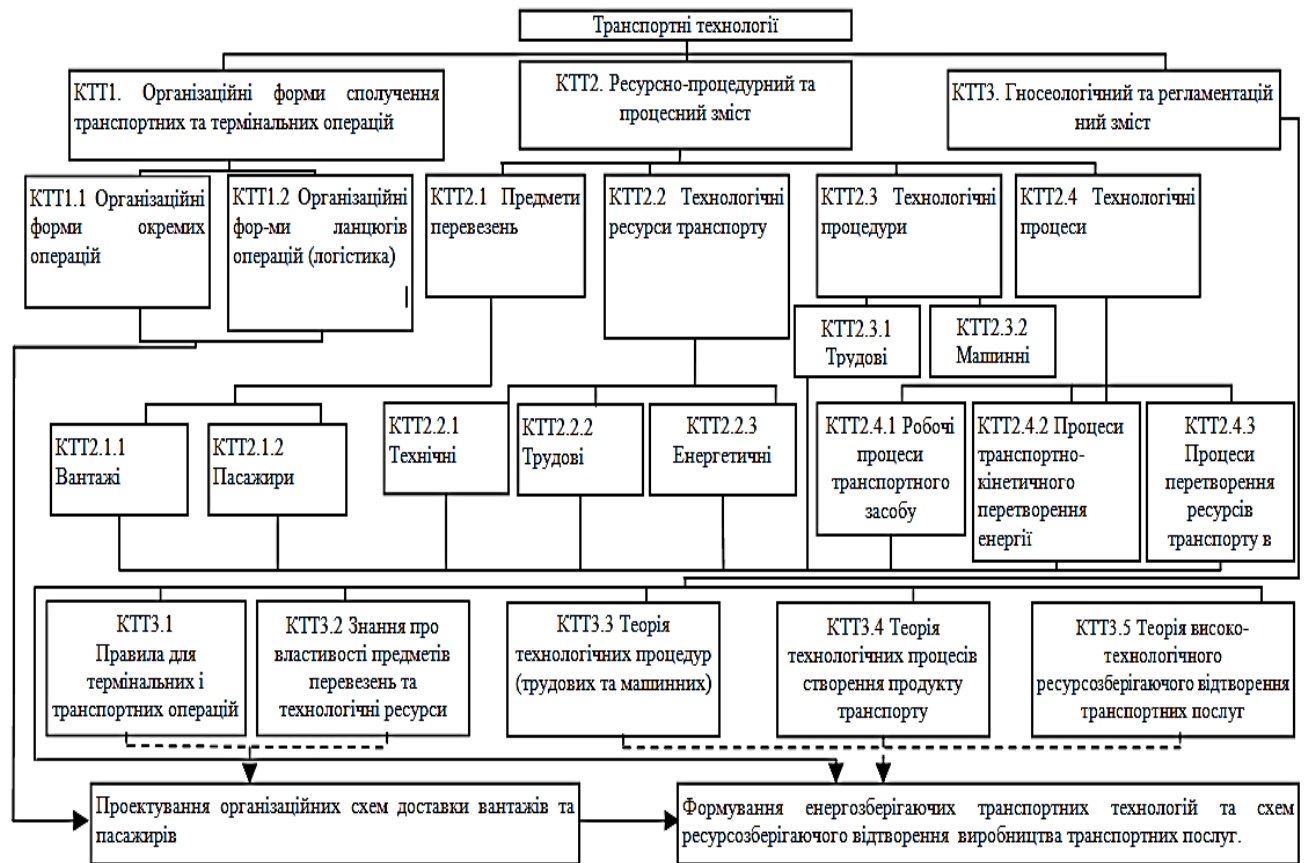


Рисунок 2.6 - Структура транспортних технологій у взаємозв'язку з завданнями організації доставки предметів перевезень і інноваційно-технологічного розвитку автотранспорту [18]

г) розглядаються лінійні характеристики функціональних модулів й їхніх сполучень між собою, а також зв'язків ведучих коліс з дорогою;

д) процеси дискретної зміни швидкості руху автобуса, а також споживання енергії в руховій операції обумовлюються закономірностями робочих процесів

підсистеми «двигун – трансмісія – колеса – поверхня кочення» (підсистема «Енергоперетворюючий пристрій СПОКА» - поверхня кочення).

## **2.2 Постановка задачі підвищення транспортної енергоефективності перевезень з урахуванням зміни технічних, експлуатаційних і дорожніх факторів перевезень**

На сучасному етапі формування парку автобусів для здійснення перевезення пасажирів на міських маршрутах постає проблема вибору РС серед великої кількості фірм виробників, типів автобусів та різних конструкцій. Слід враховувати також змінні дорожні та транспортні умови їх експлуатації.

Автобус, що пропонується для перевезення повинен відповідати не лише вимогам безпеки руху та якості обслуговування пасажирів [88, 89], а і умовам технологічної експлуатації на конкретно заданих маршрутах. Зважаючи на це вибір автобусів і формування парку рухомого складу повинні здійснюватись з урахуванням особливостей як маршруту руху автобуса, так і особливостей регіону і міста.

Виробники автобусів час від часу пропонують нові моделі автобусів які інколи відрізняються один від одного суттєвою для ТЕЕА або несуттєвою технічною новизною. Тому на етапі придбання нового автобуса виникає необхідність у методиці комплексної оцінки [6, 7, 90] його концептуальної споживчої властивості (як товару і рівня ТЕЕА як ресурсно-технічного засобу). Оскільки у перевізному процесі одночасно реалізуються його властивості як продуктоутворюючого засобу транспортної праці та як знаряддя технологічних впливів на предмет транспортування. Крім врахування цих властивостей, необхідно забезпечити такий вибір параметрів автобуса, який відповідав би розвитку ресурсно-технічного базису автотранспорту згідно з концепцією енерго- і ресурсозбереження, а також стратегії підвищення техніко-технологічної

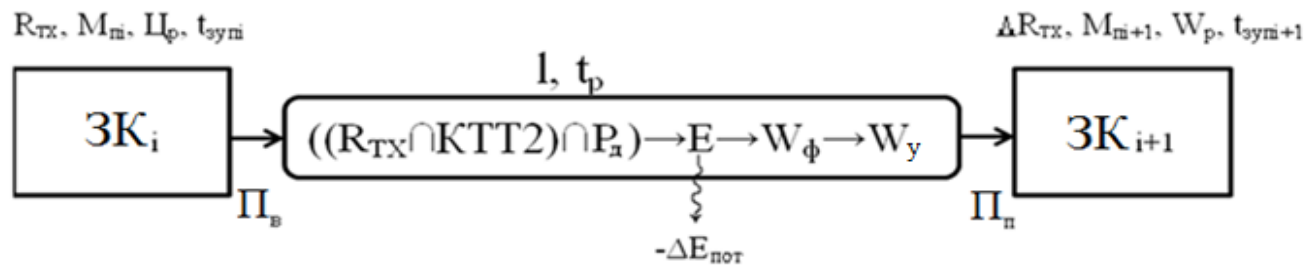
конкурентоздатності майбутніх транспортних пропозицій. Головною особливістю останніх є очікувана зміна конструктивних параметрів автобусів – те, що зараз не враховується в методах оновлення парку автобусів. Недоліки існуючих методів технічного, транспортного та економічного аналізів в значній мірі проявляються у сегменті ринку автобусів. Це пояснюється більшими ризиками внаслідок великого різноманіття варіантів конструкцій автобусів, з одного боку, і сегментів ринків транспортних послуг (у країні та за її межами) з другого боку, а також високою вартістю нових імпортованих АТЗ. Існуючі методи оновлення автобусів [41-44, 92] не відповідають концепції збереження енергії та ресурсів, а також ідеї підвищення техніко-технологічної конкурентоздатності майбутніх транспортних послуг.

У зв'язку з цим, в даній роботі розроблено методику експлуатаційного підвищення ТЕЕА з урахуванням конструктивних параметрів та умов руху на маршруті. При створенні методики було використано схему СПОКА [39, 87] (рис. 2.4).

### **2.3 Математичні моделі показників транспортної енергоефективності автобуса для маркетингового і експлуатаційного аналізу міських пасажирських автобусних перевезень**

Для формування математичної моделі показника енергетичної ефективності автобуса з урахуванням особливостей міських перевезень використано метод аналогій з еталонним прототипом автобуса. Останній являє собою розрахункову модель еталонного прототипу автобуса [18]. Теоретично прийнято, що його показники, розрахункового прототипу, не будуть змінюватися впродовж 20 – 30-ти років. Протягом цього періоду задача експлуатаційного вибору удосконаленого автобуса розглядається як процес наближення показників його транспортної енергоефективності до еталонного прототипу.

Для визначення показника енергетичної ефективності автобуса на основі розрахункової схеми технологічного транспортування АТЗ (під впливом машинних процедур і технологічних процесів транспортних технологій) прийнята наступна схема енерговитратного переміщення між двома сусідніми зупинками  $ЗК_i$  та  $ЗК_{i+1}$  (кожна зупинка з точки зору транспортних систем - це проміжний транспортний термінал, який поєднаний із дорожнім середовищем) (рис. 2.7). На відміну від існуючої схеми вона враховує процеси перетворення енергії у рухових операціях з використанням ресурсних і процедурних елементів  $KTT2$  (матеріально-ресурсна компонента ТТ (рис. 2.6)).



де  $R_{mx}$  – носій технологічних ресурсів;  $KTT2$  – ресурсно-процедурний та процесний зміст;  $P_d$  – множина властивостей дороги;  $W_\phi$  – фізичний продукт транспорту;  $W_y$  – обліковий продукт транспорту;  $W_\phi < W_y$ .

Рисунок 2.7 – Розрахункова схема транспортної операції (між зупинками), яка враховує перетворення ресурсів транспорту у фізичний продукт та витрати енергії

Шляхом зіставлення величин енергетичних показників автобуса та його еталонного прототипу визначаються енергетичні коефіцієнти пробігу та швидкості. Вони підставляються у модель показника енергетичної ефективності АТЗ.

Після події відправлення  $\Pi_в$ , від зупинки, властивості автобуса як носія технічних ресурсів об'єднуються із властивостями дороги  $P_d$  під впливом процедур і процесів  $KTT2$ . В результаті потік ресурсів  $R_{TX}$  перетворюється у потік



енергії  $E$  (з дуже низьким коефіцієнтом транспортного використання енергії 10...40%) [18] автобуса, частина цієї енергії перетворюється у фізичний продукт  $W_{\phi}$ , а більша частина енергії автобуса –  $\Delta E_{nom}$  втрачається та не використовується (60...90%) для безпосереднього переміщення пасажирів [18].

### **2.3.1 Загальні положення до обґрунтування показників транспортної енергоефективності автобуса**

На ринку ТЗ існує велика кількість різновидів автобусів, які відрізняються різними конструктивно-технічними параметрами та споживчими властивостями. Тому при формуванні або оновленні парку РС перед перевізниками виникає задача обґрунтування споживчих переваг за параметрами конструкції автобуса, які відповідають техніко-технологічним вимогам перевізника. Необхідні методи, які дадуть змогу обґрунтувати преференції покупця до споживчих властивостей автобуса виходячи із задачі експлуатаційної раціоналізації СПОКА автобуса як науково-технічного товару та енергоефективного засобу виробництва транспортних послуг.

Недоліком існуючих методів технічного аналізу АТЗ в теорії автомобіля [45-47] є те, що вони не дозволяють вирішити задачу оптимізації СПОКА згідно з вищезгаданою концепцією збереження енергії та ресурсів в процесах перевезення пасажирів, тому, що в них розглядається тільки одна властивість АТЗ як носія технічних ресурсів – властивості складної транспортної машини (див. рис. 2.3). Але для аналізу енергоресурсозбереження та оптимізації АТЗ необхідно розглядати його як науково-технічний товар та знаряддя технологічних впливів. Недоліками методів теорії транспортних процесів [10-12] є припущення про незмінність параметрів техніки та технології перевезень, а також використання спрощеної схеми віртуального переміщення автобуса між зупинками, тобто етап руху автобуса між зупинками замінений проміжком часу між моментами

відправлення і прибуття. Крім того, ці методи не дозволяють оцінити ефект технічної новизни конструкції автобуса оскільки в існуючих моделях продуктивності автобуса і собівартості перевезень враховується лише один його конструктивний параметр – пасажиромісткість [17, 88, 89].

У зв'язку з цим, розроблено методику обґрунтування нових автобусів [90], яка заснована на теорії енергоресурсної ефективності автомобіля і дозволяє врахувати зміни важливих факторів процесу автобусних перевезень: конструктивні, дорожні, транспортні та інші. Ця методика враховує закономірності процесу енергетичного перетворення ресурсів у фізичний продукт транспорту (рис. 2.1). Крім того, АТЗ розглядається як носій технічних ресурсів транспорту, який характеризується структурно-параметричною організацією його конструкції (рис. 2.4), а не як простий перевізний засіб, який характеризується лише одним технічним параметром (пасажиромісткістю).

Метою транспортно-технологічного обґрунтування автобуса є підвищення технологічного рівня перевезень пасажирів за критерієм транспортної енергоефективності. Величина показника технологічного рівня перевезень пасажирів визначається як відношення виконаної транспортної роботи до відповідних енерговитрат на адаптивно-дискретний рух автобуса (або витрат палива). Транспортно-технологічна якість автобуса характеризується сукупністю його експлуатаційних властивостей і технічних параметрів, які забезпечують придатність автобуса до підвищення показника технологічного рівня перевезень. Для забезпечення енергозберігаючих технологій конструктивні параметри АТЗ повинні забезпечувати оптимальність таких показників транспортно-технологічної якості: транспортної енергетичної ефективності ( $P_e$ ) та енергетичної результативності технологічних впливів ( $TB$ ).

### 2.3.2 Математичні моделі показників транспортної енергоефективності автобуса

Із теорії автомобілів [45-47] відомо, що енерговитрати на переміщення автомобіля визначаються із врахуванням режимів його руху та основних конструктивно-технічних параметрів.

Відомо, що на перегонах, АТЗ реалізує три типові режими руху: рівномірний, прискорення та гальмування. Закономірності витрат енергії на цих режимах значно відрізняються.

Рівномірний режим реалізується в середніх зонах перегону ( $l_v$  – пробіг автобуса на режимі постійної швидкості). При незмінній довжині перегону між зупинками, чим більша питома потужність двигуна автобуса  $N_n$  ( $N_{max}/G_e$ ) тим більша відстань  $l_v$ . Якщо  $N_n$  недостатнє або довжина перегону не велика то можливі випадки коли  $l_v \rightarrow 0$ , що приводить до значного підвищення енерговитратності руху автобуса.

При формуванні математичної моделі енерговитрат необхідно враховувати ці особливості, включаючи аналіз інших режимів руху автобуса на перегоні. Ці особливості функціонування автобуса у відомих роботах [93-99] до цього не розглядалися.

Для режимів руху ( $V=const$ ) енерговитрати на опір руху автомобіля визначається як:

$$E_{cv} = P_c \cdot l_v, \quad (2.3)$$

де  $P_c$  – сумарна сила опору руху автомобіля [93, 94].

а) рівномірний режим руху

$$P_{cv} = P_f \pm P_h + P_w; V=0, \quad (2.4)$$

де  $P_f$  – сила опору кочення коліс автобуса;

$P_h$  – сила опору підйому дороги;

$P_w$  – сила опору повітря.

б) не рівномірний режим руху

$$P_{ch}(t) = P_f \pm P_h + P_w(t) \pm P_j(t); V \neq 0, \quad (2.5)$$

де  $P_j$  – сила інерції автобуса,

$V \neq 0$  – режим прискореного руху або гальмування автобуса.

За цією формулою визначаються і витрати енергії при русі із постійною та не постійною швидкістю:

а) рівномірний режим руху

$$E_v = P_{cv} \cdot l_v; \quad (2.6)$$

$$l_v = V_n \cdot t_v; \quad (2.7)$$

б) не рівномірний режим руху

$$E_n = P_{ch} \cdot l_n; \quad (2.8)$$

$$l_n = \int V(t) dt + c. \quad (2.9)$$

Також із теорії автомобілів відомо, що потужність сил опору руху для різних режимів визначається за формулами:

а) рівномірний режим руху

$$N_v = P_{cv} \cdot l_v; \quad (2.10)$$

б) не рівномірний режим руху

$$N_n = P_{cn} \cdot l_n. \quad (2.11)$$

Витрати палива для різних режимів визначається, як:

а) рівномірний режим руху

$$Q_v = g_e \cdot N_v \cdot t; \quad (2.12)$$

б) не рівномірний режим руху

$$Q_n(t) = \frac{1}{\eta_m} \int g_e(t) \cdot N_{cd}(t), \quad (2.13)$$

де  $g_e$  – кількість витраченого палива;

$t$  – час руху АТЗ;

$N_{cd}$  – потужність сил опору руху приведено до колінчастого валу двигуна.

В теорії енергоресурсної ефективності автомобіля [18, 25] вирішені рівняння для рівномірного та нерівномірного руху (кінематики, динаміки та енергетики) модульного автомобіля, які використані в даній роботі.

В цій теорії були отримані закономірності для формування методу

тестового еталона-порівняльного аналізу енергоефективності автомобіля узагальненого типу, розрахункова схема конструкції якого представляється у вигляді СПОКА. В цьому методі отримано рівняння для визначення показників енергоефективності автомобіля в адаптивно-дискретному русі в типовій транспортній операції.

В структуру типової транспортної операції входить чотири фази, а саме: режим постійної швидкості, режим розгону ( $\Delta V > 0$ ), режим гальмування ( $\Delta V < 0$ ) і режим нахату ( $N_y = 0$ ,  $\Delta V < 0$ ).

Показник транспортної енергоефективності є відношенням транспортної енерговіддачі даного автобуса у тестовій операції  $\rho$  до транспортної енерговіддачі еталонного автобуса у еталонній операції  $\rho_{em}$  [18]:

$$P_e = \frac{\rho}{\rho_{em}} = \frac{K_v \gamma_{cm}}{K_e (\eta_q + \gamma_{cm})} \rightarrow \max, \quad (2.14)$$

де  $K_v$  – коефіцієнт швидкості автобуса в тестовій операції (відношення середньої швидкості автобуса в тестовому циклі до швидкості еталонного автобуса);

$\gamma_{cm}$  – коефіцієнт статичного використання пасажиромісткості автобуса;

$K_e$  – енергетичний коефіцієнт пробігу автобуса в тестовій операції (відношення витрати палива даного автобуса в тестовій операції до витрати палива еталонного автобуса, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

$\eta_q$  – коефіцієнт спорядженої маси автобуса:

$$\eta_q = \frac{G_{ac}}{q_n}, \quad (2.15)$$

де  $G_{ac}$  – споряджена маса автобуса, т;

$q_n$  – номінальна пасажиромісткість автобуса, т.

Цей показник необхідно враховувати у комплексі з показником паливної ефективності  $\Pi_{epQ}$ , який являє собою відношення показників паливовіддач у еталонній операції: автобуса  $\rho_n$  і еталонного автобуса  $\rho_{nem}$

$$\Pi_{epQ} = \frac{\rho_n}{\rho_{nem}}. \quad (2.16)$$

Енергетичні коефіцієнти  $K_v$  і  $K_e$  визначаються для міського і магістрального тестових циклів [18]:

$$K_v = \frac{a_1(b_1 - b_2\psi_{cp})}{b_3t_p + a_2}, \quad (2.17)$$

де  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – постійні параметри, які враховують режим руху автобуса;

$b_1, b_2, b_3$  – розрахункові коефіцієнти, які враховують конструктивні параметри та характеристики дороги [18, 25];

$\psi_{cp}$  – середнє значення коефіцієнту опору дороги на маршруті, що розглядається:

$$\psi_{cp} = \beta_\delta \cdot \psi_1 + \psi_2 \cdot (1 - \beta_\delta), \quad (2.18)$$

де  $\beta_\delta$  – частка доріг 1 та 2 категорій, яка припадає на розрахунковий маршрут;

$\psi_1$  і  $\psi_2$  – значення коефіцієнтів опору руху автобуса на дорогах 1-2 і 3-4 категорій відповідно;

$t_p$  – час розгону автобуса до 60 км/год, с:

$$t_p = f(N_{nd}^{-1}), \quad (2.19)$$

де  $N_{nd}$  – питома потужність двигуна автобуса, кВт/т.

Враховуючи частку роботи автобуса у різних режимах визначається коефіцієнт швидкості автобуса на розрахунковому маршруті:

$$K_{vp} = K_{vz} \alpha_z + K_{vm} (1 - \alpha_z), \quad (2.20)$$

де  $\alpha_z$  – частка часу роботи автобуса в міських маршрутах (довжина перегону  $l_n \in (100; 1200)$  м);

$K_{vz}$  і  $K_{vm}$  – значення коефіцієнта швидкості для міського і магістрального циклів відповідно.

Паливний коефіцієнт пробігу автобуса для міського і магістрального тестових циклів:

$$K_e = \frac{H \rho k_d (c_1 \psi_{cp} + c_2)}{c_3 q (\gamma_{cm} + \eta_q) + c_4 H_a B_a}, \quad (2.21)$$

де  $\rho$  – густина палива, г/см<sup>3</sup> (для бензинових двигунів  $\rho = 0,76$ ; для дизельних  $\rho = 0,84$ );

$k_d$  - коефіцієнт дорожніх умов руху (приймається в межах 0,75...1,15) [99];

$c_1, c_2, c_3, c_4$  – коефіцієнти, що враховують технічні та дорожні характеристики процесу руху автобуса на перегонах [18, 25];

$H_a$  і  $B_a$  – відповідно висота і ширина автобуса, м;

$H$  – загальна норма витрати палива, л/100 км:

$$H = 0,01 \cdot H_l \cdot L \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma), \quad (2.22)$$

де  $H_l$  – лінійна норма витрати палива автобуса, л/100 км;

$L$  – пробіг автобуса за їздки, км;



$K_{\Sigma}$  - сумарний коригуючий коефіцієнт (для міста приймається 1,15).

Паливний коефіцієнт пробігу автобуса на розрахунковому маршруті:

$$K_{ep} = K_{e2} \alpha_z + K_{em} (1 - \alpha_z), \quad (2.23)$$

де  $K_{e2}$  і  $K_{em}$  – значення коефіцієнта для міського і магістрального циклів.

## 2.4 Математичні моделі показників транспортної енергетичної ефективності автобуса і перевезень

Раніше було встановлено, для аналізу ефективності роботи автобусів використовуються показники якості, продуктивності та собівартості [100-104], які мають ряд недоліків [105]. Для можливості аналізу впливу конструктивних параметрів, а також умов перевезень і характеристик дороги необхідно порівняти даний автобус з еталонним прототипом. На підставі цього порівняння визначаються енергетично еквівалентні значення пробігу автобуса  $l_e$ , швидкості  $V_{eme}$  та часу його руху  $t_{pe}$ :

$$l_e = l \cdot K_e; \quad (2.24)$$

$$V_{eme} = V_{em} \cdot K_v; \quad (2.25)$$

$$t_{pe} = t_p \cdot K, \quad (2.26)$$

де  $l$ ,  $V_{em}$ ,  $t_p$  – відповідно пробіг автобуса на маршруті (м), еталонна швидкість (приймається рівною 40 км/год) та час руху (с);

$K_e$ ,  $K_v$ ,  $K_t$  – енергетичні коефіцієнти пробігу, швидкості та часу руху автобуса,  
 $K_t = K_e / K_v$ .

Показники (2.24, 2.25, 2.26) підставляються у відомі з теорії транспортних процесів формули продуктивності та собівартості [10-12]. В результаті отримано енергетично еквівалентні показники продуктивності  $W_{ce}$  та собівартості  $S_{кме}$  [105]:

$$W_{ce} = \frac{q \cdot \gamma_{cm} \cdot l_m}{t_p \cdot K_t + t_{zyn} + t_{ок}} = K_w \cdot W_e, \quad (2.27)$$

де  $l_m$  – довжина маршруту, км;

$t_p$  – час руху автобуса, год;

$t_{zyn}$  – час зупинки для посадки і висадки пасажирів, год;

$t_{ок}$  – час простою автобуса в кінцевих пунктах простою, год;

$W_e$  – годинна продуктивність автобуса, пас.-км/год;

$K_w$  – енергетичний коефіцієнт годинної продуктивності автобуса [18]:

$$K_w = \frac{K_v}{X_\partial (K_e - 1) + 1}, \quad (2.28)$$

$$K_v = c_1 x^2 + c_2 x + c_3, \quad (2.29)$$

$$K_e = b_1 x^2 + b_2 x + b_3, \quad (2.30)$$

де  $X_\partial$  – частка часу руху автобуса у загальному часі їздки  $t_i$ :

$$X_\partial = \frac{t_p}{t_i} = \frac{t_p}{t_p + t_{zyn} + t_{ок}}, \quad (2.31)$$

$$S_{\kappa\mu e} = C_{\text{зм}} \cdot K_e + \frac{C_{\text{noc}} \cdot (t_p \cdot K_t + (t_{\text{зуп}} + t_{\text{ок}}) \cdot \beta)}{l_{\text{м}}} = K_s \cdot S_{\kappa\mu}, \quad (2.32)$$

де  $C_{\text{зм}}$  – змінні витрати на 1 км пробігу, грн/км;

$C_{\text{noc}}$  – постійні витрати на 1 годину роботи, грн/год;

$K_s$  – енергетичний коефіцієнт собівартості перевезень:

$$K_s = K_e (s_1 + s_2 \frac{C_{\text{noc}}}{C_{\text{зм}}}); \quad (2.33)$$

$$K_e = b_1 x^2 + b_2 x + b_3, \quad (2.34)$$

де  $s_1, s_2$  – коефіцієнти, які враховують експлуатаційні фактори перевезень;

$S_{\kappa\mu}$  – собівартість виконання 1 км транспортної роботи, грн/ км;

$x$  – значення конструктивного параметра.

Оптимізація використання автобуса в енергетично нормалізованій схемі транспортної операції здійснюється за критеріями:

$$W_{\text{зе}} \rightarrow \max; \quad S_{\kappa\mu e} \rightarrow \min. \quad (2.35)$$

Перевага розробленої моделі полягає в тому, що при вирішенні задач організації перевезень енергетичні коефіцієнти  $K_e$  і  $K_t$  приймаються рівними одиниці. Якщо вирішуються організаційні та технологічні задачі, то ці коефіцієнти враховуються. Для визначення цих коефіцієнтів розроблені математичні моделі та методи моделювання [18]. З їх допомогою можна вирішувати технологічні та організаційні задачі перевезень з урахуванням еволюції конструктивних параметрів, умов перевезень і характеристик дороги.

## 2.5 Математична модель показника транспортно-технологічної якості автобуса

Показником результативності технологічних впливів називається відношення дискретної транспортної роботи  $W(\Delta l)$ , яка відповідає характерному пробігу АТЗ  $\Delta l$ , до величини імпульсів сили тяги автобуса  $P_m \Delta t$  [18]:

$$TB = \frac{W(\Delta l)}{P_m \Delta t^2} \rightarrow \max. \quad (2.36)$$

У багатофазовій операції руху показник енергетичної результативності технологічного впливу  $TB$  визначається для окремих підфаз і фаз ( $TB_i$ ), а також для тестового циклу ( $TB_{\text{ц}}$ ). Підфазами операції руху для АТЗ з багатоступінчастими коробками передач являються режими руху на певній передачі. Величини  $TB_i$  та  $TB_{\text{ц}}$  являють собою відношення дискретної транспортної роботи у певній фазі до квадратичного імпульсу сили тяги у цій фазі та визначаються таким чином:

$$TB_i = \frac{q\gamma_{cm} l_i}{P_{mi} t_i^2} \rightarrow \max, i = \overline{1, n}, \quad (2.37)$$

де  $q\gamma_{cm}$  – пасажиромісткість та коефіцієнт її використання;

$l_i$  – довжина маршруту у  $i$ -й фазі операції (стала швидкість, розгін, накат, гальмування), м;

$P_{mi}$  – середня сила тяги автобуса у  $i$ -й фазі операції, кН:

$$P_{mi} = \frac{\sum_{j=1}^{n_n} P_j \Delta t_j}{\sum_{j=1}^{n_n} \Delta t_j}, \quad (2.38)$$

де  $P_j$  – середня сила тяги автобуса при русі на  $j$ -й передачі коробки передач, кН;

$\Delta t_j$  – час руху автобуса на  $j$ -й передачі, с;

$n_n$  – кількість передач коробки передач;

$t_i$  – час руху автобуса у  $i$ -й фазі операції, с;

$n$  – кількість фаз в операції руху;

$$TB_u = \sum_{i=1}^n TB_i \cdot m_i, \quad (2.39)$$

де  $m_i$  – доля пробігу автобуса у  $i$ -тій фазі операції.

Необхідно зазначити, що умову (2.37) для фази розгону необхідно мінімізувати, оскільки частка несталого руху в операції повинна бути скорочена. Показник технологічного впливу є проміжним на етапі визначення енергетичної ефективності АТЗ, але він дозволяє аналізувати результативність технологічних впливів, які складають сутність транспортних технологій. В зв'язку з цим, показник  $TB$  необхідно враховувати у комплексі з показником енергетичної ефективності.

Визначення показника технологічного впливу

1. Визначення швидкості автобуса (за двома точками), м/с:

$$V_{1i} = 0,095 \cdot \frac{n_m \cdot r_k}{U_{ki} \cdot U_o}, \quad V_{2i} = 0,095 \cdot \frac{n_n \cdot r_k}{U_{ki} \cdot U_o}, \quad (2.40)$$

де  $n_m$  – частота обертання колінчастого валу, що відповідає максимальному крутному моменту ( $M_{max}$ ), об/хв;

$r_k$  – радіус колеса, м;

$U_{ki}$  – передаточні числа коробки передач;

$U_o$  – передаточне число головної передачі;

$n_n$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності, об/хв.

## 2. Визначення крутного моменту дизельного двигуна:

$$M_1 = 1,07 \cdot M, \quad M_n = 716 \cdot \frac{N_{max}}{n_n}, \quad M_2 = M, \quad (2.41)$$

де  $N_{max}$  – максимальна потужність двигуна, кВт.

## 3. Визначення сили тяги автобуса:

$$P_{1i} = \frac{M_1 \cdot \eta_T \cdot U_{ki} \cdot U_o}{r_k}, \quad P_{2i} = \frac{M_2 \cdot \eta_T \cdot U_{ki} \cdot U_o}{r_k}, \quad (2.42)$$

де  $\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії (0,91 – 0,92 для 4х2).

## 4. Визначення сил опору повітряного середовища:

$$P_{w1i} = k \cdot B \cdot H \cdot V_{1i}^2, \quad P_{w2i} = k \cdot B \cdot H \cdot V_{2i}^2, \quad (2.43)$$

де  $k$  – коефіцієнт обтічності автобуса ( $k=0,6-0,7$ );

$B, H$  – відповідно ширина та висота тобуса, м.

5. Визначення динамічного фактору транспортного засобу:

$$\mathcal{D}_{1i} = \frac{P_{1i} - P_{w1i}}{G_a}, \quad \mathcal{D}_{2i} = \frac{P_{2i} - P_{w2i}}{G_a}, \quad (2.44)$$

де  $G_a$  – повна маса автобуса, кг.

6. Визначення прискорень транспортного засобу,  $\text{м/с}^2$ :

$$\gamma_{1i} = \frac{(\mathcal{D}_{1i} - \psi) \cdot g}{\delta_i}, \quad \gamma_{2i} = \frac{(\mathcal{D}_{2i} - \psi) \cdot g}{\delta_i}, \quad (2.45)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт опору дорожнього покриття;

$g$  – прискорення вільного падіння ( $9,81 \text{ м/с}^2$ );

$\delta_i$  – коефіцієнт врахування мас, що обертаються:

$$\delta_i = 1,04 + 0,0015 \cdot U_{ki}^2 \cdot U_o^2. \quad (2.46)$$

7. Визначення прискорень по передачах,  $\text{м/с}^2$ :

$$\gamma_{ci} = \frac{\gamma_{1i} + \gamma_{2i}}{2}. \quad (2.47)$$

8. Визначення швидкісних діапазонів по передачах:

$$V_{MI} = V_{2(i-1)}, \quad \Delta V_i = V_{2i} - V_{MI}. \quad (2.48)$$

9. Визначення часу розгону та шляху розгону по передачах:

$$t_i = \frac{\Delta V_i}{\gamma_{ci}}, \quad S_i = \frac{\Delta V_i^2}{2 \cdot \gamma_{ci}}. \quad (2.49)$$

10. Визначення середньої сили тяги по передачах:

$$P_{ci} = \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2}. \quad (2.50)$$

11. Визначення середньої швидкості по передачах:

$$V_{ci} = V_{MI} + 0,5 \cdot \Delta V. \quad (2.51)$$

12. Визначення показника технологічних впливів по передачах:

$$T_{ei} = \frac{q \cdot \gamma_{cm} \cdot V_{ci}}{9,8 \cdot P_{ci} \cdot (t_i + t_{nep})}, \quad (2.52)$$

де  $q\gamma_{cm}$  – маса пасажирів в салоні автомобіля;

$t_{nep}$  – час переключання передач, с.

13. Середньозважений фактор технологічних впливів автобуса при розгоні:



$$T_{ep}(S) = \frac{\sum (T_{ei} \cdot S_i)}{\sum S_i}. \quad (2.53)$$

14. Визначення відстані руху автобуса зі сталою швидкістю:

$$L_v = 300 - S_p. \quad (2.54)$$

15. Визначення часу руху автобуса зі сталою швидкістю:

$$t_v = \frac{L_v}{V_{50}}, \quad (2.55)$$

де  $V_{50}$  – швидкість автобуса, 50 км/год.

16. Визначення фактору технологічних впливів транспортному засобу при русі зі сталою швидкістю:

$$TB_v = \frac{g \cdot V \cdot L_v}{P_u}, \quad (2.56)$$

де  $P_u$  – сила тяги автобуса:

$$P_u = \psi \cdot G_a, \quad (2.57)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт опору дорожнього покриття.

17. Визначення показника технологічних впливів автобуса в циклі:

$$TB_{\text{ц}} = \frac{TB_p \cdot S_p + TB_v \cdot L_v}{S_p + L_v}. \quad (2.58)$$

## 2.6 Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що існуючі в теорії транспортного процесу показники оцінки ефективності роботи автобуса засновані на розрахункових схемах віртуального транспортування пасажирів, в яких автобус розглядаються як самохідний кузов, а його переміщення між зупинками - віртуальне, що в свою чергу не дозволяє вирішувати техніко-технологічні задачі його обґрунтування.

2. На основі теорії енергоресурсної ефективності автомобіля запропоновано критерії транспортно-технологічної якості автобуса, якими є показники енергетичної ефективності АТЗ та результативності його технологічних впливів. Ці показники ефективності, на відміну від існуючих, дозволяють врахувати сутність створення фізичного продукту за допомогою транспортних технологій – сукупність людино-машинних впливів спорядженого автобуса на загальну масу пасажирів при створенні продукції транспорту, а також науковий опис цих впливів.

3. Для можливості аналізу впливу конструктивних параметрів, умов перевезень і характеристик дороги використано модульну схему структурно-параметричної організації автобуса узагальненого типу, а також енергетично нормалізовану схему перевізного процесу, яка передбачає співставлення енергетичних характеристик заданого та еталонного автобуса.

4. Запропоновано показник енерговіддачі автобуса для оцінки технологічного рівня перевезень, який визначається відношенням транспортної роботи, виконаної автобусом, до енерговитрат на його переміщення. Встановлено, що підвищення даного показника дозволяє збільшити технологічний рівень перевезень.

5. Для можливості аналізу впливу конструктивних параметрів автобуса на собівартість перевезень використано модель енергоеквівалентної собівартості перевезень, яка дозволяє зв'язати експлуатаційні витрати з енергоємністю транспортної роботи.

6. За допомогою розроблених математичних моделей показників транспортно-технологічної якості АТЗ необхідно провести аналіз впливу зміни конструктивних параметрів, умов перевезень та характеристик дороги на технологічний рівень перевезень.

### РОЗДІЛ 3

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА БАГАТОВАРІАНТНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ТРАНСПОРТНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

### 3.1 Постановка задачі моделювання транспортної енергетичної ефективності автобусів в тестових операціях на основі еталонно-порівняльного підходу

В умовах міських автобусних перевезень однією з важливих задач є технологічне обґрунтування і вибір автобусів із наданою СПОКА, що відповідають вимогам підвищення ТЕЕА в транспортних процесах. Складні умови адаптивно-дискретного руху автобуса, що виникають на міських маршрутах обумовлюють високий рівень енергоємності та ресурсоємності перевезень. Цей рівень залежить від його конструктивних параметрів, режимів руху, дорожніх та транспортних факторів. Тому для підвищення транспортної енергоефективності перевезень з врахуванням цих факторів, виникає необхідність в використанні імітаційних моделей аналізу адаптивно-дискретного функціонування автобуса в міському циклі. В математичних моделях які використовуються для імітації технологічного функціонування автобуса у тестовій операції, покладено аналітичні залежності його дискретної кінематики, динаміки та енергетики [18, 93, 106]. Такі моделі дозволяють створити не тільки узагальнену модель тестової операції, в якій розглядаються різні варіанти СПОКА автобусів, а і дає можливість розглядати різні режими руху і характеристики дороги на маршруті. Тому такий підхід дозволяє вибрати автобус який буде відповідати вимогам енергоефективності перевезень з урахуванням особливостей маршрутів, на яких планується перевозити пасажирів.

Моделювання адаптивного руху автобуса з різними варіантами СПОКА у тестових операціях виконується за допомогою програмного забезпечення на ЕОМ. Метою імітаційного моделювання є створення умов експлуатаційного функціонування та аналіз придатності конструктивних параметрів автобуса як засобу транспортного виробництва до підвищення транспортної енергоефективності перевезень на маршруті.

Такий підхід дозволяє комплексно аналізувати процес енерговитратного функціонування автобуса з урахуванням:

- типових робочих процесів автобуса як складного технічного засобу та об'єкта керування рухом;
- рівня технологічної придатності варіанта СПОКА автобуса до наданих умов перевезень.

Задачами моделювання є:

- формування різних конкуруючих варіантів СПОКА автобусів, що запропоновані для маршруту;
- імітація різних фаз рухових операцій автобуса відповідно до характеристик маршруту;
- порівнювальний аналіз різних варіантів СПОКА автобусів;
- визначення найбільш придатного варіанту автобуса, який забезпечує найбільший рівень показника ТЕЕА в тестових операціях;
- формування розрахункового транспортного циклу між зупинками і визначення енергетичних коефіцієнтів для використання в бальній системі конкурсного вибору автобуса.

Енерговитрати та витрати палива в тестовій операції визначаються з урахуванням закономірностей впливу характеристик робочих процесів конструкції автобуса на потік потужності двигуна  $N(t)$ , а також питомої витрати палива  $g(t)$ . Енерговитрати  $E_{\eta}$  в тестовій операції визначаються наступним чином [18, 25]:

$$E_u = \sum_{i=1}^{n_y} (\int N_{yi} dt + c_{1i}) + \sum_{i=1}^{n-n_y} (\int N_i(t) dt + c_{2i}); \quad (3.1)$$

$$N_{yi} = N_{yoi} / \eta_T;$$

$$N_{i(t)} = N_{oi}(t) / \eta_T,$$

де  $N_{yi}$ ,  $N_i$  – потужність двигуна відповідно при сталому та несталому русі АП, кВт;

$n$  – кількість фаз тестової операції;

$n_y$  – кількість фаз сталого руху;

$t$  – час фази тестової операції, с;

$c_{1i}$ ,  $c_{2i}$  – постійні інтегрування;

$N_{yoi}$ ,  $N_{oi}(t)$  – потужність сил опору руху автобуса на сталих ( $V=const$ ) і не сталих ( $V \neq const$ ) режимах тестової операції;

$\eta_T$  – ККД трансмісії.

Витрати палива в тестовій операції  $Q_u$  визначаються за формулою [18, 25]:

$$Q_u = \sum_{i=1}^{n_y} (\int N_{yi} g_{yi} dt + c_{3i}) + \sum_{i=1}^{n-n_y} (\int N_i(t) g_i(t) dt + c_{4i}); \quad (3.2)$$

$$V_u = \left( \sum_{i=1}^{n_y} V_{yi} t_{vi} + \sum_{i=1}^{n-n_y} (\int V_i(t) dt + c_{5i}) \right) / \left( \sum_1^{n_y} t_{vi} + \sum_{i=1}^{n-n_y} t_{hi} \right), \quad (3.3)$$

де  $g_{yi}$ ,  $g_i$  – питома витрата палива двигуна відповідно при сталому та несталому русі автобуса, г/кВт·год;

$V_u$  – середня швидкість автобуса, км/год;

$c_3$ ,  $c_4$ ,  $c_5$  – постійні інтегрування.

Загальні рішення рівнянь (3.1) і (3.2) для АТЗ узагальненого типу отримано в роботі [18]. В даній роботі були використанні ці рішення і адаптовані для задач формування математичних моделей автобусної тестової операції.

### **3.2 Методика параметричного аналізу впливу різних факторів на показники транспортно-технологічної якості автобуса**

При формуванні РС на транспортному підприємстві, перевізник стає перед вибором автобусів із широкого різноманіття марок та моделей. Вони, в свою чергу, відрізняються між собою різними варіантами конструкцій та технічних параметрів. Крім того, змінними є такі фактори, як: дорожні умови, інтенсивність транспортних потоків, наповнення автобусів та ін. Для аналізу впливу цих факторів на ТЕЕА використовуються математичні моделі (2.14, 2.17, 2.21) При використанні цих математичних моделей для аналізу транспортної енергетичної ефективності АТЗ в автобусних тестових операціях, можливо вирішувати як задачу аналізу варіанту СПОКА так і задачу параметричного аналізу впливу будь-якого конструктивного параметру на транспортну енергоефективність автобусних перевезень. Так, при виборі автобуса з декількох варіантів схожих конструкцій та одного типу, що відрізняються лише однією характеристикою або параметром при інших рівних умовах, при одно параметричному аналізі можна вибрати більш ефективний.

Формування математичної постановки задачі має наступний вигляд: вибрати із ряду конкуруючих варіантів СПОКА автобусів, які відносяться до одного класу ( $q_n = const$ ), що відрізняються значеннями деяких технічних характеристик; за результатами моделювання в тестових операціях визначити такий варіант автобуса, що забезпечить максимальне значення показників транспортно-технологічної якості автобусів: енергетичної ефективності  $\Pi_e$  (2.14) і

результативності технологічних дій  $TB$  (2.36) автобуса в тестовій операції при умові:

$$P_e \rightarrow \max; TB \rightarrow \max. \quad (3.4)$$

Параметричний аналіз передбачає рішення наступних задач:

- визначення мети аналізу;
- формування задач;
- формування порівняльних конкуруючих варіантів СПОКА автобусів;
- формування умов аналізу, що порівнюються, та обмежень факторів, які контролюються;
- формування масиву вихідних даних та введення його у програму;
- розрахунок показників  $P_{ep}$  і  $TB$  для конкуруючих варіантів СПОКА автобусів при різних умовах руху;
- розрахунок енергоеквівалентних показників ефективності (собівартості і продуктивності) перевезення пасажирів на розрахунковому маршруті;
- аналіз техніко-технологічної придатності автобуса до обраного маршруту.

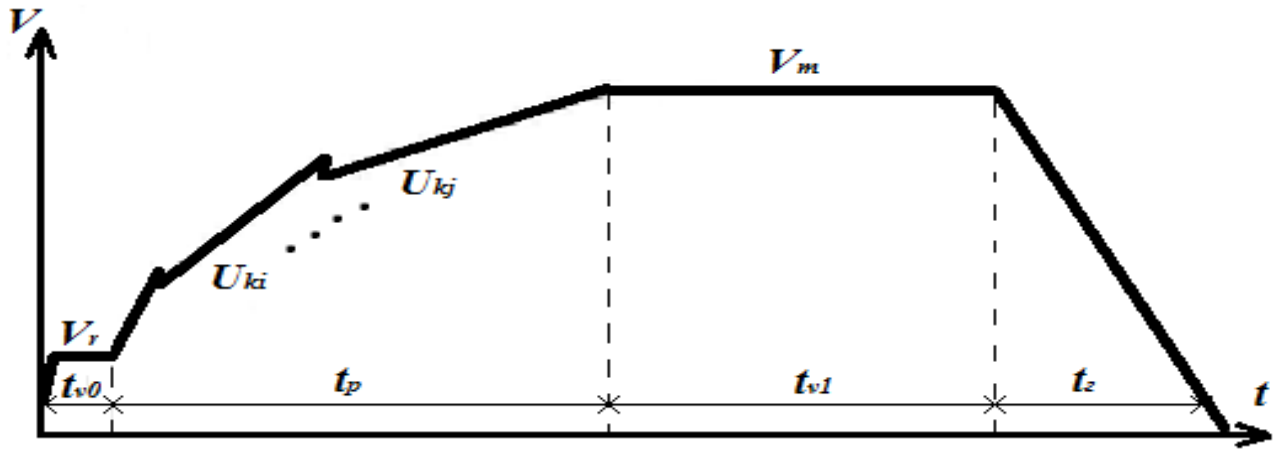
Для моделювання використовувалось спеціальне програмне забезпечення, яке розроблене на кафедрі “Транспортні технології” НТУ.

### **3.3 Аналіз впливу технічних і експлуатаційних факторів на показники транспортної енергетичної ефективності автобусів і пасажирські перевезення на основі результатів моделювання на міських автобусних маршрутах**

За допомогою імітаційного моделювання роботи автобуса у тестовій операції визначаються показники ТЕЕА [18, 73, 80, 90]. Схема тестової операції має загальний вигляд представлений на рис. 3.1, але в умовах міського руху при



зменшенні довжини перегону або при малій питомій потужності автобуса при підвищенні щільності транспортного потоку, сталих режимів руху може і не бути. При цьому рівень ТЕЕА значно зменшується.



де:  $V_r$ ,  $V_m$ , – задані значення швидкості сталого руху автобуса (початкова та максимальна відповідно);  $t_{v0}$ ,  $t_{v1}$  – час руху автобуса при швидкостях відповідно  $V_r$ ,  $V_m$ ;  $U_{ki} \dots U_{kj}$  – передаточні числа коробки передач, які використовуються при розгоні автобуса;  $t_p$ ,  $t_2$  – час руху автобуса при розгоні та гальмуванні відповідно.

Рисунок 3.1 – Схема карти тестової операції руху

Значення сталої швидкості автобуса після його розгону у перегінному циклі визначається наступним чином:

$$V_m = V_r(h_g, U_{kr}) + \Delta V_s(n_n); \quad (3.5)$$

$$\Delta V_s = \sum_{i=1}^{n_n} \Delta V_i(U_{ki}), \quad (3.6)$$

де  $V_r$  – вихідна мінімальна швидкість автобуса в зоні зупинки ( $V_r=3$  м/с);

$\Delta V_s$  – сумарне збільшення швидкості у циклі;

$\Delta V_i$  – приріст швидкості на  $i$ -й передачі при розгоні автобуса, обумовлений динамікою розгону АТЗ і алгоритмом трудових дій водія;

$n_n$  – кількість передач, що використовуються при розгоні відповідно до заданої операційної карти (для визначення  $n_n$  використовується спеціальна підпрограма);

$h_g$  – відносне положення педалі подачі палива,  $h_g \in (0;1)$ ;

$U_{kr}$  і  $U_{ki}$  – передаточне число коробки передач автобуса у фазах розгону.

Вихідні значення характеристик тестової операції руху наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення елементів тестової операції в міському циклі

| $V_r$ , м/с | $V_m$ , м/с | $V_k$ , м/с | $\Delta V_s$ , м/с | $t_{v0}$ , с | $t_z$ , с | $l_y$ , м |
|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------|-----------|-----------|
| 3           | 14          | 9           | 11                 | 10           | 10        | 700       |

В результаті проведення моделювання для різних варіантів конструкції автобусів отримуємо значення показників ТЕЕА. До цих показників відносяться:

1)  $K_{ec}$  – енергетичний коефіцієнт пробігу, який являє собою відношення витрат енергії для заданого автобуса та еталонного [18];

2)  $K_{eq}$  – паливний коефіцієнт пробігу, який являє собою відношення витрат палива для заданого автобуса та еталонного [18];

3)  $K_{vc}$  – енергетичний коефіцієнт швидкості. Це відношення середньої швидкості в циклі до еталонної швидкості, яка приймається постійною (40 км/год);

4)  $K_{tn}$  – енергетичний коефіцієнт часу несталого руху. Це відношення часу руху при змінній швидкості до загального часу руху у циклі:

$$K_{tn} = \frac{t_p + t_z}{T_y}; \quad (3.7)$$

$$t_p = \sum_{i=1}^{n_n} t_{pi}, \quad (3.8)$$

де  $T_{\text{ц}}$  – загальний час руху у циклі, с.

5)  $\Pi_{ep}$  – показник енергетичної ефективності. Це відношення транспортної енерговіддачі заданого  $\rho_a$  та еталонного  $\rho_{em}$  автобуса;

$$\Pi_{ep} = \rho_a / \rho_{em}, \quad (3.9)$$

6)  $\Pi_{eq}$  – показник паливної ефективності. Це відношення транспортної паливовіддачі заданого автобуса до паливовіддачі еталонного АТЗ:

$$\Pi_{eq} = \rho_{qa} / \rho_{qem}, \quad (3.10)$$

7)  $TBC$  – середньозважене значення показника результативності технологічного впливу в циклі:

$$TB = \frac{q\gamma V_i}{P_{ci} \cdot t_i}, \quad (3.11)$$

$$TB_c = \sum TB_i \cdot l_i / l_{\text{ц}}. \quad (3.12)$$

8)  $TB_r$ ,  $TB_m$  – значення показника результативності технологічного впливу машинних процедур автобуса при швидкостях відповідно  $V_r$  та  $V_m$ .

### **3.3.1 Аналіз впливу конструктивних параметрів автобуса на його транспортну енергетичну ефективність**

Методика поелементного аналізу конструкції автобуса включає наступні

етапи:

а) постановка завдання аналізу (вибір базової моделі, переліку змінних характеристик, що вибрано для різних варіантів СПОКА);

б) формування конкуруючих варіантів конструкції автобуса для однопараметричного або багатопараметричного аналізу;

в) розрахунок показників транспортної енергоефективності автобуса  $\Pi_{ep}$  і  $TB$  для кожного варіанту;

г) встановлення закономірності впливу одного або декількох характеристик СПОКА;

д) формулювання висновків про вагомість даної характеристики або варіанту СПОКА.

Поелементний однопараметричний аналіз впливу конструкції автобуса проводиться за визначеним алгоритмом (рис. 3.2) та на основі функціональних залежностей:

$$\begin{aligned}
 K_v &= f_1(x), & K_e &= f_2(x), & \Pi_{ep} &= f_3(x), \\
 TB &= f_4(x), \\
 x &\in (x_{\min}; x_{\max}), \\
 \{P\} &\rightarrow idem, \{D\} \rightarrow idem,
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

де  $x$  – значення змінної характеристики СПОКА;

$x_{\min}$  і  $x_{\max}$  – мінімальне і максимальне значення характеристики  $x$ .

У математичних моделях для визначення показників  $K_v$ ,  $K_e$  і  $\Pi_{ep}$  в рамках перетину множин  $\{K\}$  (СПОКА автобуса),  $\{P\}$  (режими руху),  $\{D\}$  (дорога) враховується формування трьох фізичних чинників адаптивно-дискретної транспортної роботи [18]:

а) середньої швидкості складного адаптивно-дискретного руху автобуса;

б) енергоємності і паливоємності транспортної роботи на різних фазах руху;

в) пробігової структури операції руху, що складається з набору фаз сталого і несталого руху АП.

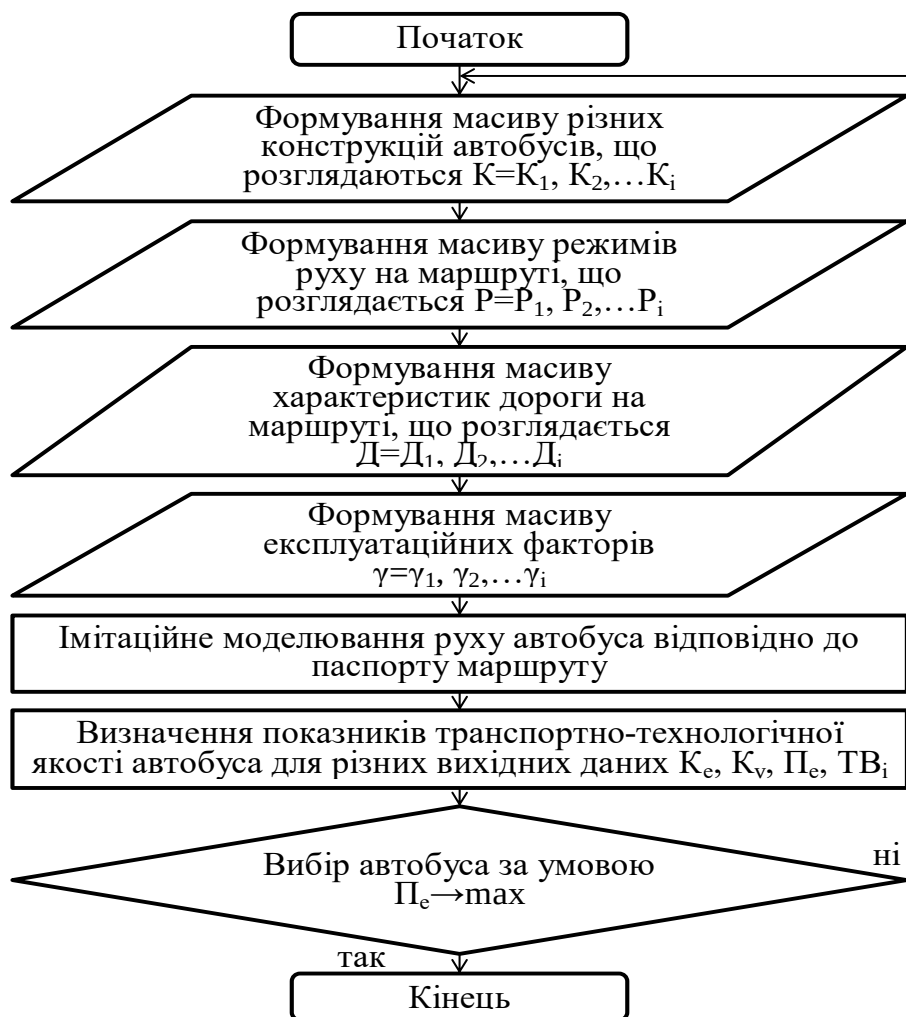


Рисунок 3.2 – Алгоритм багатоваріантного аналізу для оцінки автобуса за енергоефективністю

При параметричному аналізі СПОКА приймається незмінність множин  $\{D\}$  та  $\{P\}$ .

У зв'язку з цим, ідея поелементного параметричного аналізу конструкції автобуса полягає в оцінці комплексного впливу заданої характеристики конструкції  $x$  на три вищезгадані чинники. При цьому параметричний аналіз

енергоефективності СПОКА може бути використаним для рішення різних задач: а) маркетингового моніторингу нових автобусів; б) експлуатаційного аналізу придатності СПОКА автобуса до конкретного маршруту. При маркетинговому моніторингу нових автобусів розглядаються функціонування АТЗ як складного науково-технічного товару. Облік закономірностей такого впливу важливий для споживчо-орієнтованого оновлення РС. Оцінка відповідності технічної новизни автобуса до концепції збереження енергії та ресурсів в транспортному процесі здійснюється за допомогою показників енергетичної  $P_{ep}$  (в тестовій операції) [73, 80].

В якості базової моделі конструкції обрано автобус Богдан А-092, який широко використовується в міських пасажирських перевезеннях. Технічні характеристики даного автобуса наведено в табл. 3.2 [107].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики автобуса Богдан А-092

| Технічні характеристики                                        | Богдан А-092 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| Пасажіромісткість, чол. загальна / для сидіння                 | 50 / 21      |
| Габаритні розміри, мм:                                         |              |
| Довжина                                                        | 7205         |
| Ширина                                                         | 2370         |
| Висота                                                         | 2740         |
| Споряджена маса, кг                                            | 4600         |
| Повна маса, кг                                                 | 8100         |
| Колія коліс, мм:                                               |              |
| Передніх                                                       | 1665         |
| Задніх                                                         | 1650         |
| Розподіл маси на дорогу від автобуса у спорядженому стані, кг: |              |
| передня вісь                                                   | 2050         |
| задня вісь                                                     | 2550         |
| Розподіл маси на дорогу від автобуса з повною масою, кг:       |              |
| передня вісь                                                   | 2450         |
| задня вісь                                                     | 5650         |

## Продовження таблиці 3.2

|                                                                               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Час розгону до 60 км/год, с                                                   | 35       |
| Максимальна потужність, кВт (к.с.)                                            | 89 (121) |
| Частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності, об/хв        | 3200     |
| Частота обертання колінчастого вала при максимальному крутному моменті, об/хв | 1600     |
| Радіус шини, мм                                                               | 365      |
| Лінійна витрата палива, л/100 км                                              | 17       |

Створення конкуруючих варіантів конструкції автобуса відбувається шляхом зміни значення певної технічної характеристики, інші при цьому залишаються незмінними:

$$\{K\} \in (K_1, K_2, \dots K_n), \quad K_1 = \text{var}, \quad K_2, K_3, \dots K_n = \text{const}, \quad (3.14)$$

де  $n$  – кількість конструктивних параметрів автобуса, які враховуються у моделі.

На ринку міських перевезень конкуренція нових моделей відбувається за рахунок зміни значень певних конструктивних параметрів. Найчастіше створення нових зразків конструкцій АТЗ для міських перевезень відбувається за рахунок зміни заводами-виробниками таких технічних характеристик:

- максимальна потужність двигуна;
- максимальний крутний момент;
- максимальна частота обертання колінчастого вала;
- питома потужність автобуса;
- передаточне число головної передачі;
- передаточні числа коробки передач;
- радіус колеса;
- питома витрата палива двигуна.

Проаналізуємо вплив зміни окремих конструктивних параметрів на показники функціональної ефективності та результативності технологічного впливу автобуса.

### 3.3.1.1 Аналіз впливу максимальної потужності двигуна

Однією із конструктивних характеристик, що значно впливає на тягово-швидкісні властивості автобуса є максимальна потужність двигуна  $N_m$  [97, 98, 108, 109]. У різних виробників на автобусах одного і того ж класу цей показник має різні значення. Але методика, яка б оцінювала вплив та різницю зміни цієї характеристики на енергоефективність автобуса при здійсненні міських перевезень, відсутня.

Згідно з розробленою методикою, оптимальні значення  $N_m$  визначаються на основі аналізу транспортного руху АТЗ (тобто роботи АТЗ у режимах сталого і несталого руху, що чергуються). За отриманими результатами побудовано залежності показників енергетичної ефективності (рис. 3.3, 3.4, 3.5) та результативності технологічного впливу автобуса (рис. 3.6, 3.7) від максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.).

З рисунків 3.3, 3.4 видно, що при збільшені значення потужності  $N_m$  енергетичні коефіцієнти пробігу  $K_e$ , часу руху  $K_{te}$  та швидкості  $K_{vc}$  в циклі збільшуються, а частка часу в несталому русі  $K_{tn}$  зменшується. Також з рис. 3.5 видно, що надмірне збільшення або зменшення потужності негативно впливає на коефіцієнти енергетичної ефективності  $\Pi_e$  та паливної ефективності  $\Pi_{eq}$  автобуса в операції, а оптимальні значення знаходяться в межах  $N_m = 96 \dots 101$  (к.с.).



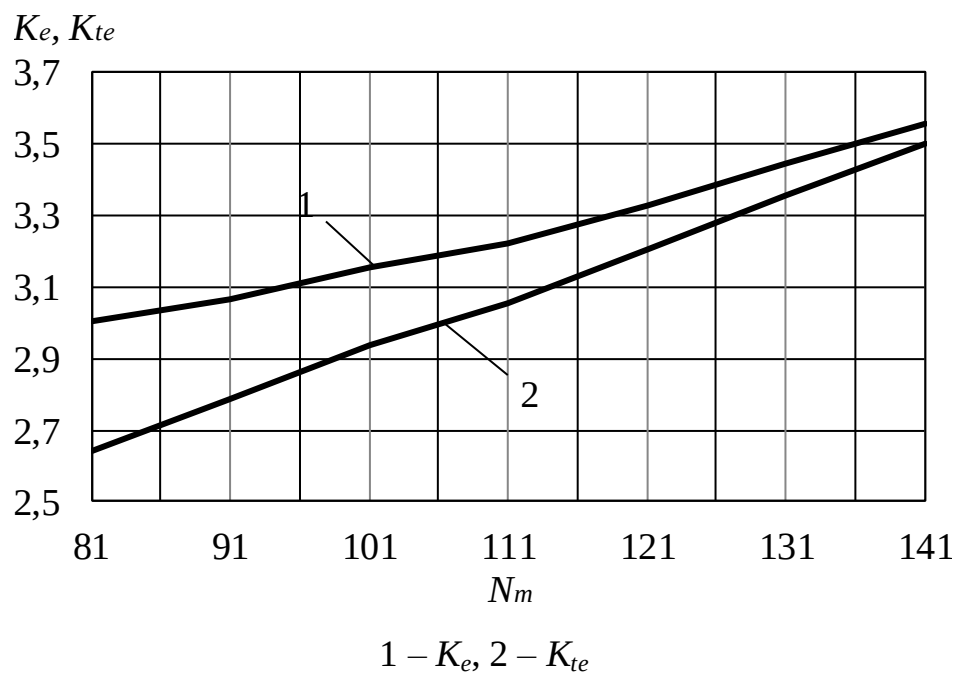


Рисунок 3.3 – Графік залежності показників транспортної енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.)

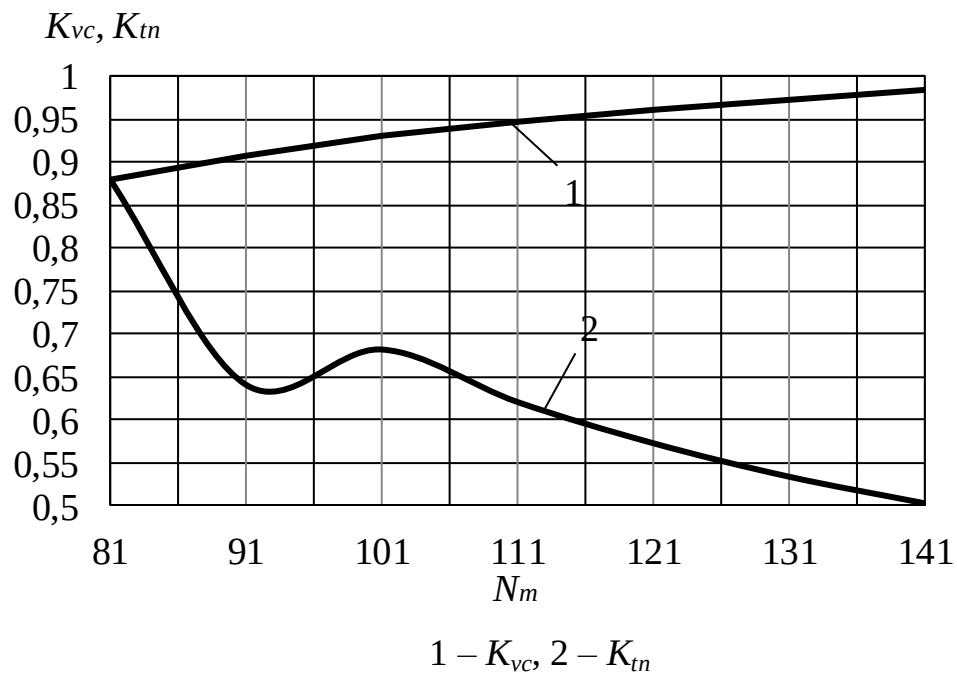


Рисунок 3.4 – Графік залежності показників транспортної енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.)

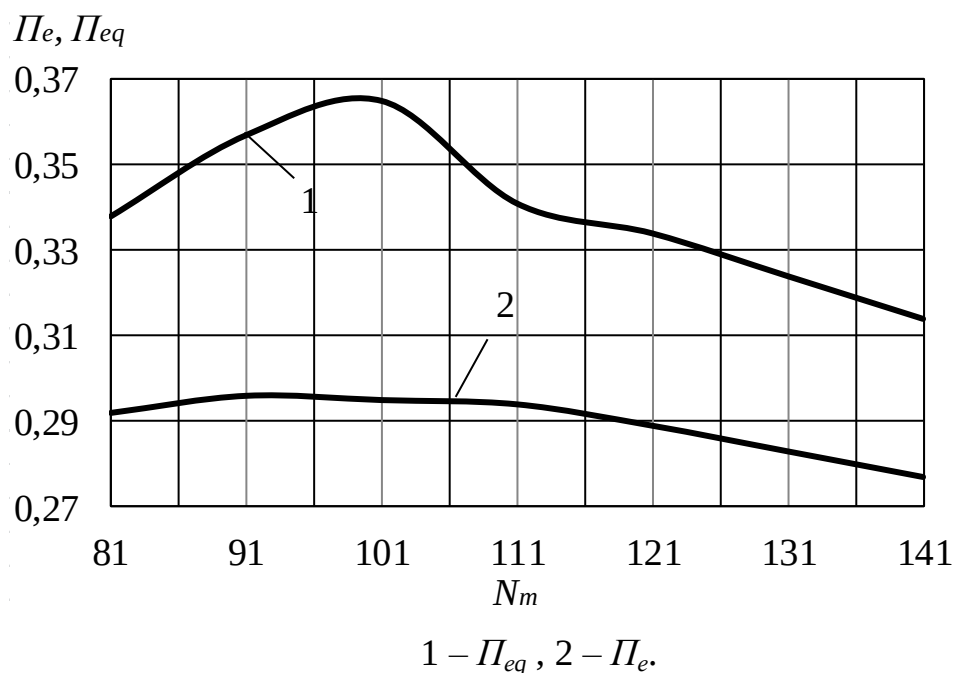


Рисунок 3.5 – Графік залежності показників транспортної енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.)

Залежність показників результативності технологічного впливу від величини потужності двигуна  $N_m$  представлено на рис. 3.6, 3.7. Для обраної тестової операції рух здійснюється з використанням трьох передач, а саме: другої, третьої та четвертої (відповідно криві 1, 2, 3 рис. 3.6). З графіка видно, що під час руху автобуса у режимі розгону із переходом на більш швидкісні передачі, вплив максимальної потужності  $N_m$  збільшується та значення показника результативності технологічного впливу на різних передачах ( $TB_2$ ,  $TB_3$ ,  $TB_4$ ) зростає. Показники  $TB_r$  (рис. 3.6) та  $TB_m$  (рис. 3.7) характеризують рівномірний рух автобуса на початковій стадії із швидкістю  $V_r = 3$  м/с та швидкістю  $V_m$  після розгону, яка в даному випадку прийнята  $V_m = 14$  м/с. Аналізуючи отримані результати видно, що найбільший вплив значення  $N_m$  має на  $TB_m$  при русі на швидкості  $V_m$ . Також, вплив величини  $N_m$  на середньозважений показник

результативності технологічного впливу  $TBC$  (рис. 3.7) в циклі при збільшенні значення потужності, зменшується.

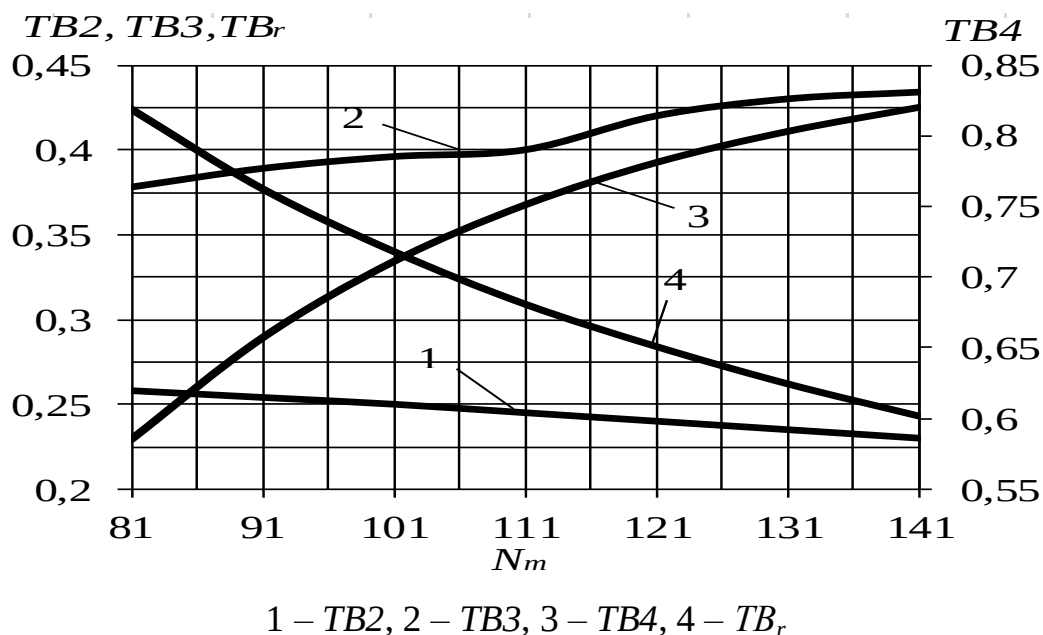


Рисунок 3.6 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу при розгоні автобуса Богдан А-092 від максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.)

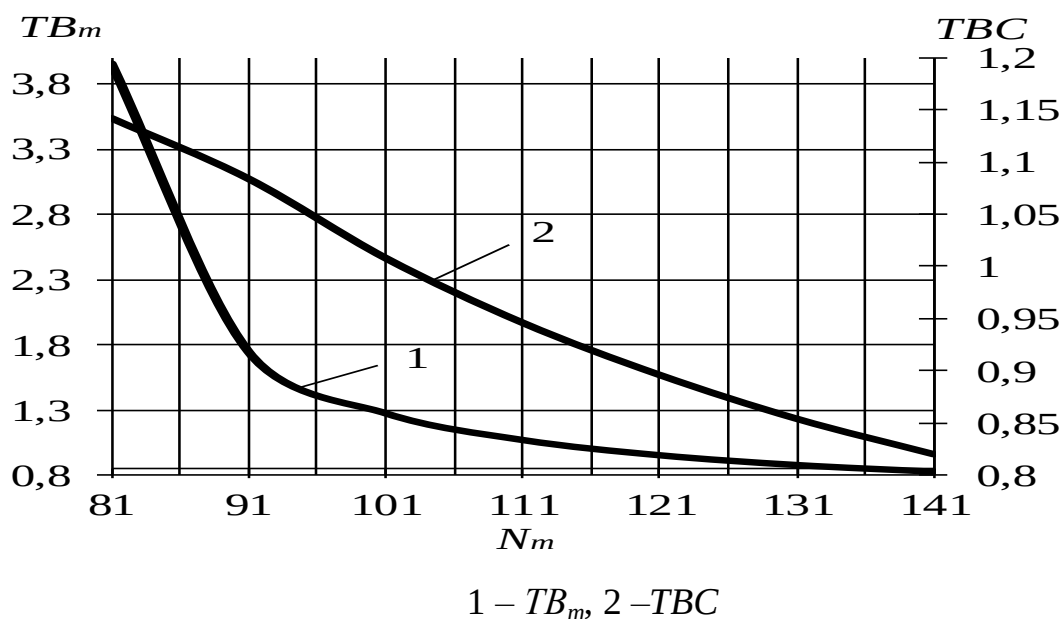


Рисунок 3.7 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу при розгоні автобуса Богдан А-092 від максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.).

### 3.3.1.2 Аналіз впливу передаточного числа головної передачі

Елементи трансмісії мають велику кількість варіантів та комбінацій, частіше за все змінюються, значення передаточних чисел головної передачі та коробки передач, а також кількість самих передач [110, 111].

Головна передача створена для збільшення крутного моменту, що передається на ведучі колеса та впливає на тягові характеристики, витрати палива, розгін та максимальну швидкість руху автобуса. Чим більше число передач в коробці передач, тим кращі динамічні та паливно-економічні характеристики АТЗ. Із збільшенням кількості передач легше підібрати оптимальний режим роботи двигуна для заданої швидкості руху у конкретних дорожніх умовах, відповідно економічність АТЗ покращується [18].

За результатами математичного моделювання проведеного відповідно до розробленої методики було встановлено та проаналізовано вплив передаточного числа головної передачі  $U_o$  на показники енергоефективності ( $K_e$ ,  $K_{te}$ ,  $K_{vc}$ ,  $K_{tn}$ ,  $P_{eq}$ ,  $P_e$ ) та результативності технологічного впливу  $TB$  автобуса.

З рис.3.8 видно, що значення передаточного числа головної передачі має великий вплив на енергетичні коефіцієнти пробігу  $K_e$  та часу руху  $K_{te}$ , криві залежності мають схожий екстремальний характер та показують, що пік значень коефіцієнтів приходить на  $U_o=5,2$ . При збільшенні  $U_o$  від 5,857 і вище, майже не змінюється.

Доля часу в неусталеному режимі руху  $K_{tn}$  (рис. 3.9) значно збільшується в межах значень  $U_o=5,3 \dots 5,9$ , а при значеннях менше та вище зазначених майже не впливає. А коефіцієнт швидкості  $K_{vc}$  при збільшенні  $U_o$ , стрімко зменшується.

З графіку (в) рис.1 видно, що передаточне число головної передачі значно впливає на коефіцієнт енергетичної ефективності автобуса в тестовій операції, крива має екстремальний характер та показує, що оптимальне значення  $U_o = 5,857$ , а при його збільшенні  $P_e$  не змінюється.

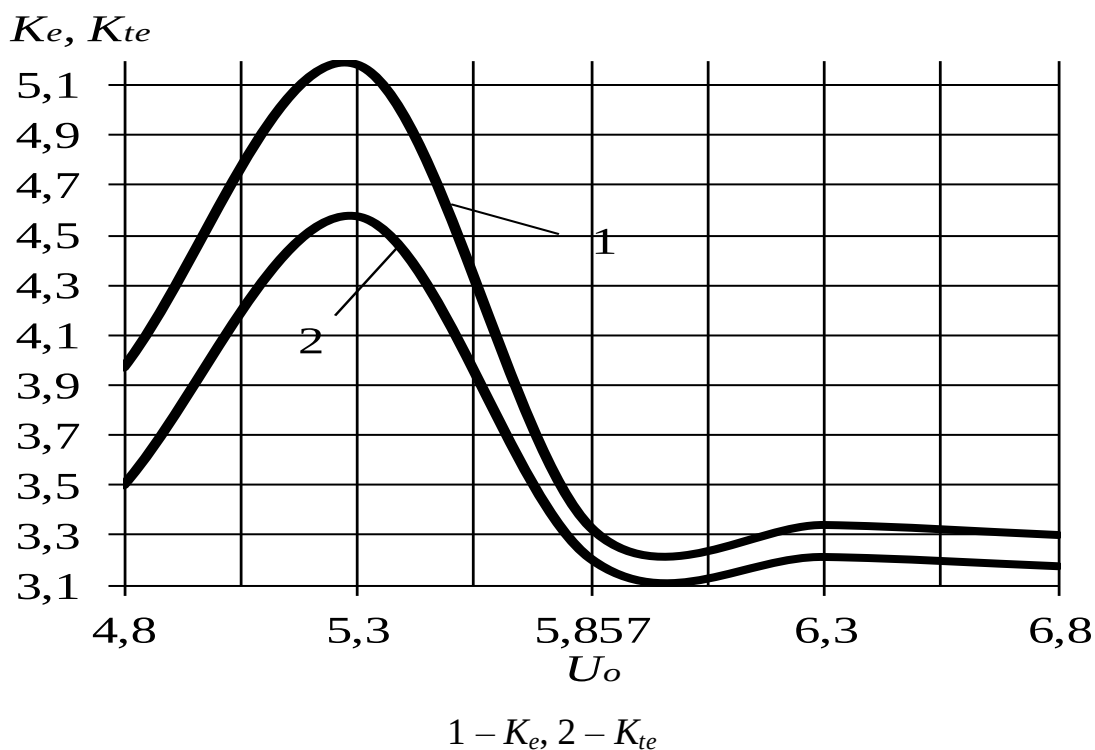


Рисунок 3.8 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від передаточного числа головної передачі  $U_o$

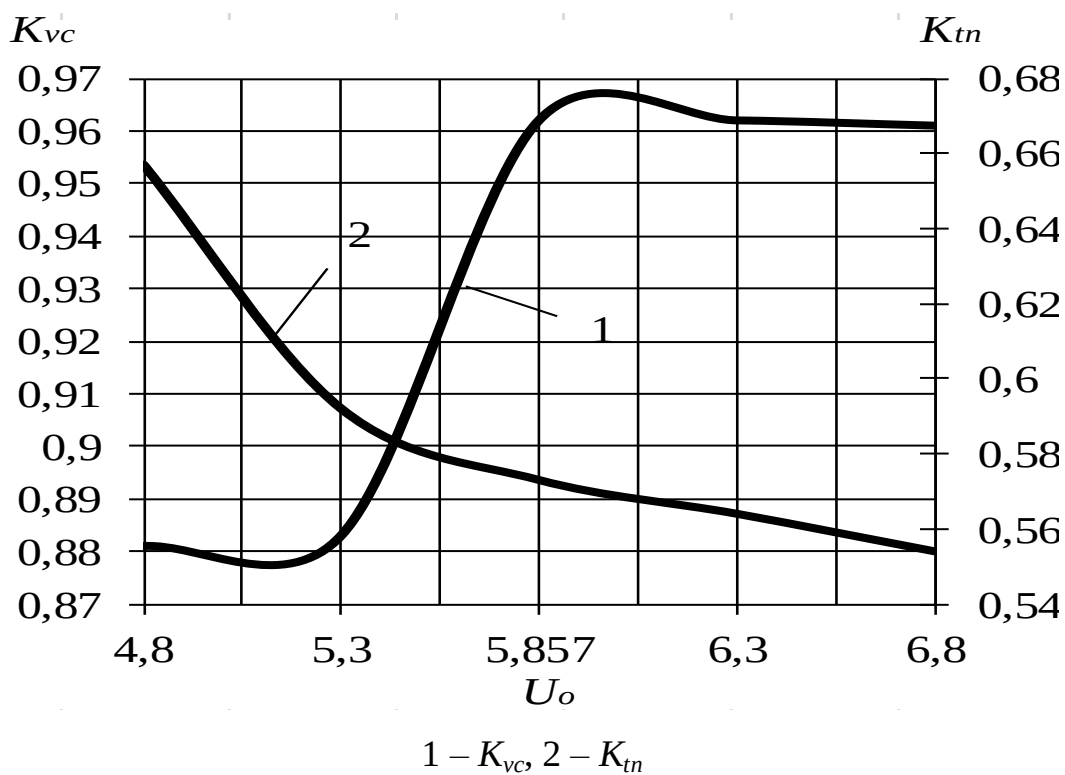


Рисунок 3.9 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від передаточного числа головної передачі  $U_o$

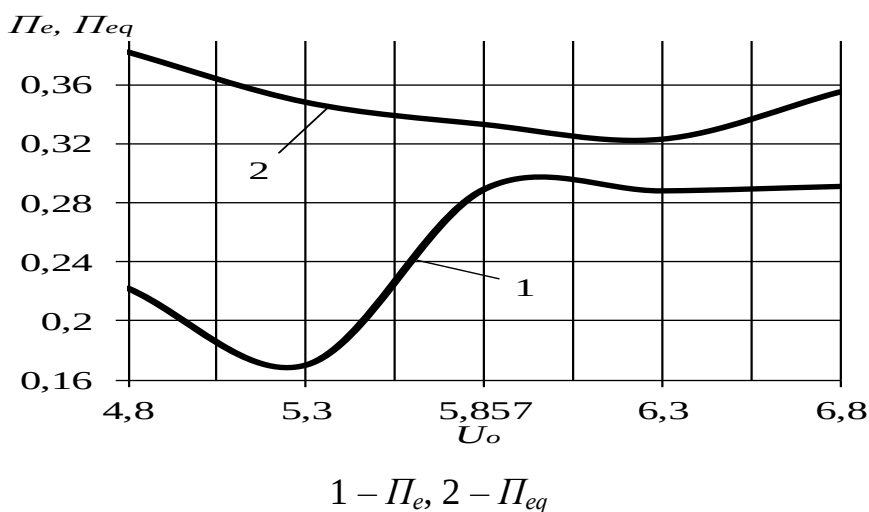


Рисунок 3.10 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від передаточного числа головної передачі  $U_o$

На графіку (рис.3.11) видно, що перша передача коробки передач автобуса використовується в тому випадку коли передаточне число головної передачі знаходиться в межах  $U_o = 4,8 \dots 5,35$ , а при передаточному числі більше 5,3 автобус може починати рух із другої передачі при цьому чим більше передаточне число тим більше результативність технологічного впливу  $TB2$ . А при русі автобуса на четвертій передачі  $TB4$  із збільшенням передаточного числа  $U_o$  зменшується результативність технологічних впливів.

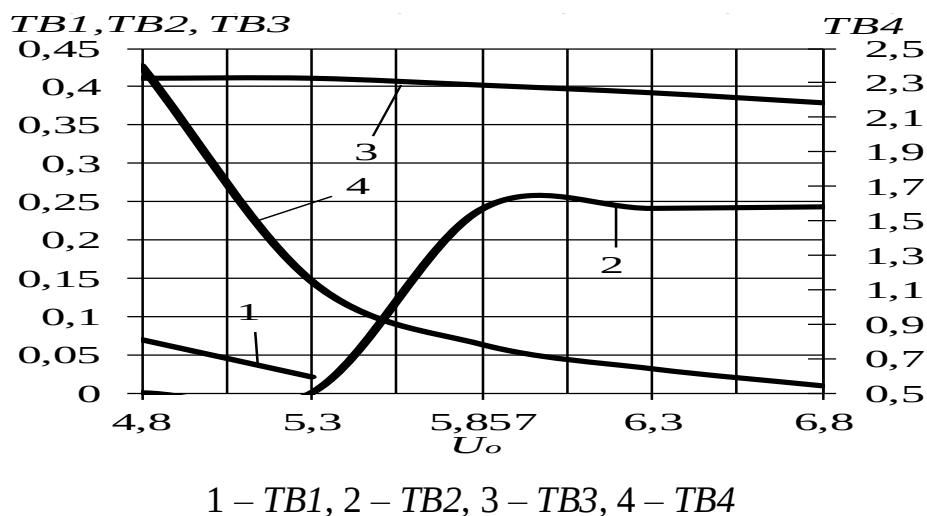


Рисунок 3.11 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від передаточного числа головної передачі  $U_o$

Криві 1 і 3 графіка (рис. 3.12) характеризують рівномірний рух автобуса при швидкостях  $V_r = 3$  м/с,  $V_m = 14$  м/с. Величина  $U_o$  здійснює достатньо великий вплив на значення  $TB$  при початковому русі автобуса  $V_r$  та при русі з максимальною швидкістю  $V_m$ . Так з графіка (рис. 3.12) видно, що крива початкового руху автобуса (1) має форму параболи із максимальним значенням технологічного впливу при значенні передаточного числа  $U_o = 5,35$ , а при русі із початковою швидкістю із збільшенням значення передаточного числа  $TB_r$  зменшується.

Крива 2 (рис. 3.12) залежності середньозваженого значення  $TBC$  від  $U_o$  має вигляд синусоїди, набуваючи екстремальних значень при  $U_o = 5,3$  (мінімум) і  $U_o = 5,9$  (максимум).

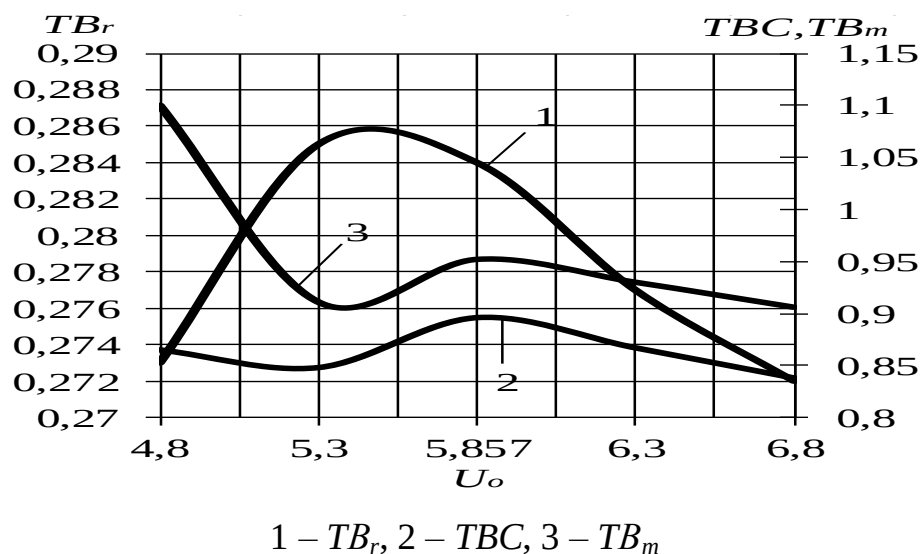


Рисунок 3.12 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від передаточного числа головної передачі  $U_o$

### 3.3.1.3 Аналіз впливу радіуса колеса

Колеса автомобіля забезпечують безпосередній зв'язок з дорогою і формування сили тяги автобуса, беруть участь у створенні й зміні його руху,

передають навантаження від ваги автомобіля на дорогу [97, 98, 112]. Також за рахунок радіуса колеса можна змінювати корисний об'єм кузова автомобіля, тому було проведено дослідження його зміни на показники енергетичної ефективності та результативності технологічних впливів.

Із графіка (рис. 3.13) видно, що вплив радіуса колеса на енергетичні коефіцієнти пробігу та часу руху мають криві схожого характеру і показують, що із збільшенням радіуса вони теж збільшуються, а коефіцієнт швидкості (рис. 3.14) зменшується.

Крива впливу радіуса колеса на енергетичну ефективність автобуса  $\Pi_e$  (рис. 3.15) показує, що при збільшенні значення  $r$  енергетична ефективність суттєво зменшується, а показник паливної ефективності  $\Pi_{eq}$  майже не змінюється.

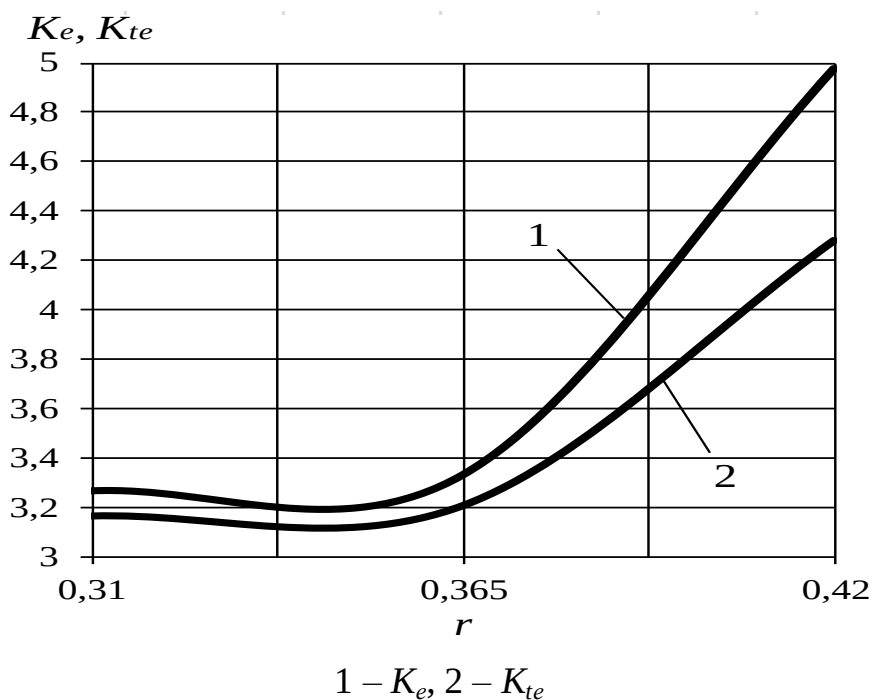


Рисунок 3.13 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від радіуса колеса  $r$  (м)



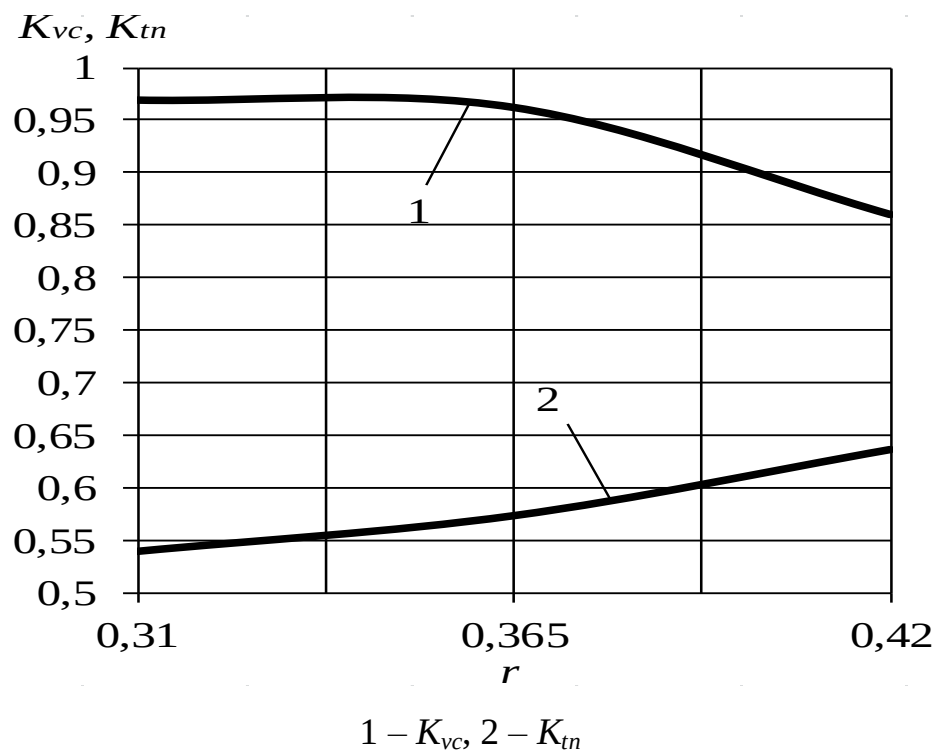


Рисунок 3.14 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від радіуса колеса  $r$  (м)

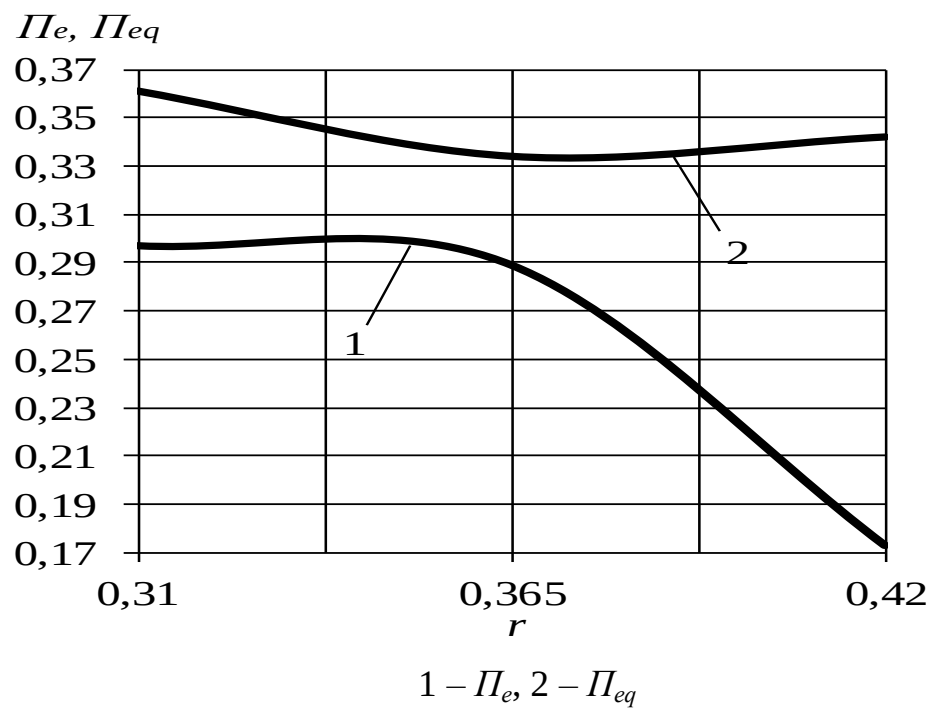


Рисунок 3.15 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від радіуса колеса  $r$  (м)

Аналізуючи вплив радіуса колеса (рис.3.16) на показники технологічного впливу видно, що при  $r < 0,365$  рух автобуса починається з другої передачі, що відповідає показнику  $TB2$ , який із зміною значення  $r$  більше  $0,365$  значно зменшується. При русі автобуса із сталою швидкістю на четвертій передачі, якій відповідає значення показника  $TB4$  видно, що із збільшенням  $r$  результативність технологічного впливу зростає.

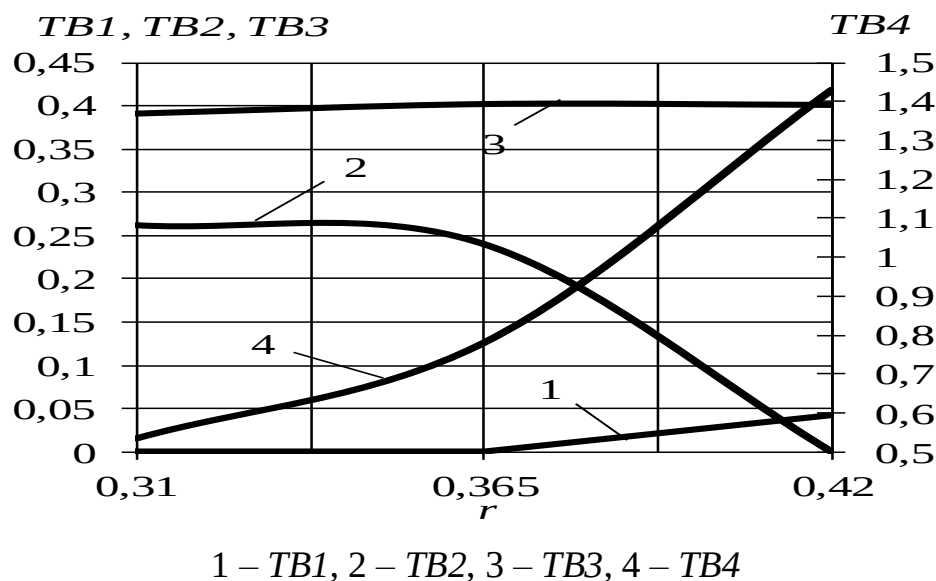


Рисунок 3.16 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від радіуса колеса  $r$  (м)

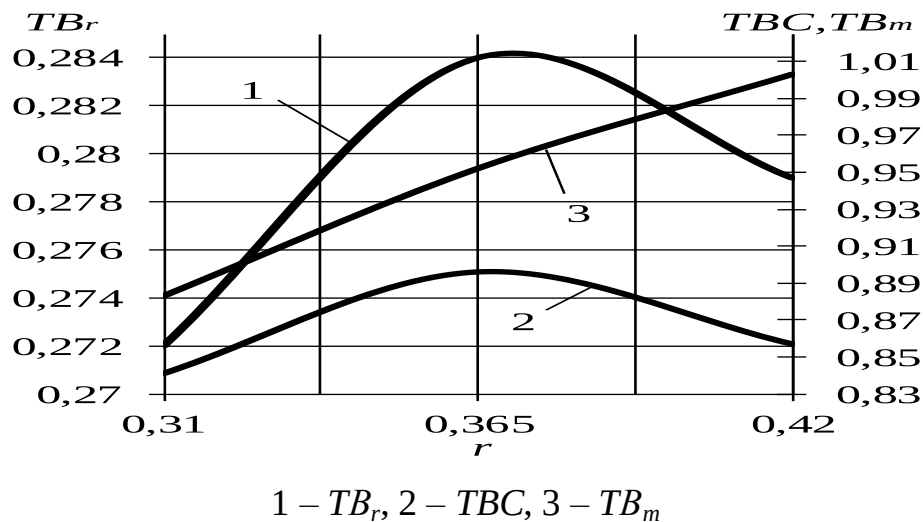


Рисунок 3.17 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від радіусу колеса  $r$  (м)

Криві впливу радіуса колеса (рис. 3.17) на результативність технологічного впливу при початковому русі автобуса  $TB_r$  та взагалі в циклі  $TBC$  показують, що найкраще значення  $r=0,37$  так як при більших або менших значеннях результативність зменшується, а при русі автобуса з постійною максимальною швидкістю, що задана показник  $TB_m$  із збільшенням  $r$  зростає.

### 3.3.1.4 Аналіз впливу питомої витрати палива двигуна

Досконалість конструкції автомобіля з точки зору паливної економічності оцінюється за питомою витратою палива [113, 114].

Аналізуючи графіки залежності показників енергетичної ефективності від зміни питомої витрати палива двигуна  $g_n$  на рис. 3.18 спостерігається, що при збільшенні  $g_n$  від 163 до 183 г/кВт·год показники швидкості  $K_{vc}$  і енергетичний коефіцієнт пробігу  $K_e$  майже не змінюються, а коефіцієнт паливної ефективності  $\Pi_e$  зменшується.

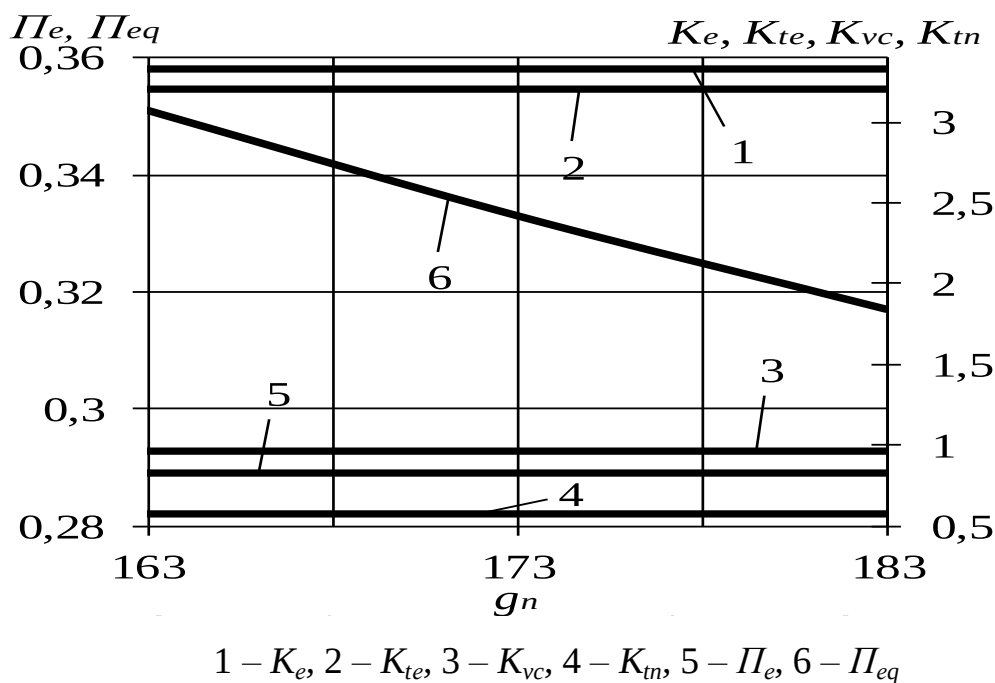
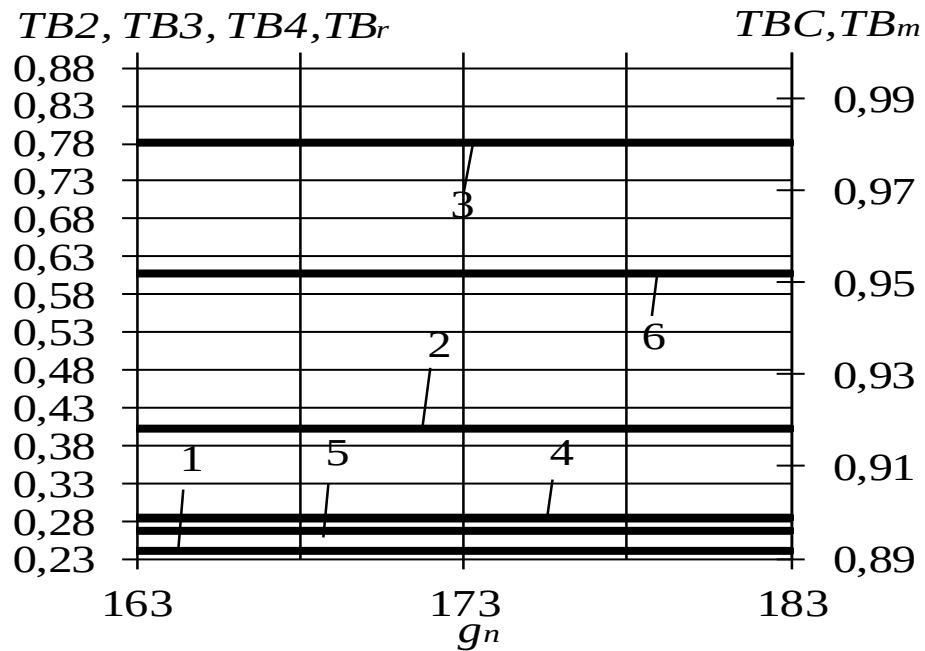


Рисунок 3.18 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від питомої витрати палива двигуна  $g_n$  (г/кВт·год)



1 –  $TB_2$ , 2 –  $TB_3$ , 3 –  $TB_4$ , 4 –  $TB_r$ , 5 –  $TBC$ , 6 –  $TB_m$

Рисунок 3.19 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від питомої витрати палива двигуна  $g_n$  (г/кВт·год).

### 3.3.2 Аналіз впливу експлуатаційних умов перевезень

#### 3.3.2.1 Аналіз впливу приросту швидкості руху автобуса

В даному дослідженні показниками, що характеризують умови руху, обрано зміну приросту швидкості руху (чим більше щільність транспортного потоку на перегоні, тим менше  $\Delta V_s$ ), коефіцієнт статичного використання пасажиромісткості та довжина перегону які при використанні існуючих методик складання графіків руху автобусів не враховуються [115]. З графіків (рис.3.20, 3.21) видно, що при збільшенні приросту швидкості  $\Delta V_s$  енергетичний показник пробігу  $K_{ec}$ , часу руху  $K_{tc}$  та доля часу в неусталеному режимі руху  $K_{tn}$  збільшується, а крива коефіцієнта швидкості  $K_{vc}$  має вигляд параболи із вершиною спадання при значенні

$\Delta V = 11$  м/с. Криві показників енергетичної та паливної ефективності мають схожий характер та показують, що із збільшенням приросту швидкості вони зменшуються.

З рис. 3.23 видно, що найбільший вплив величина  $\Delta V_s$  має на показник  $TB$  при сталому русі на четвертій передачі. Також по кривим показника результативності технологічного впливу в усталеному режимі  $TB_m$  і середньозваженого значення  $TBC$  (рис. 3.24) видно, що вони збільшуються із збільшенням  $\Delta V_s$ .

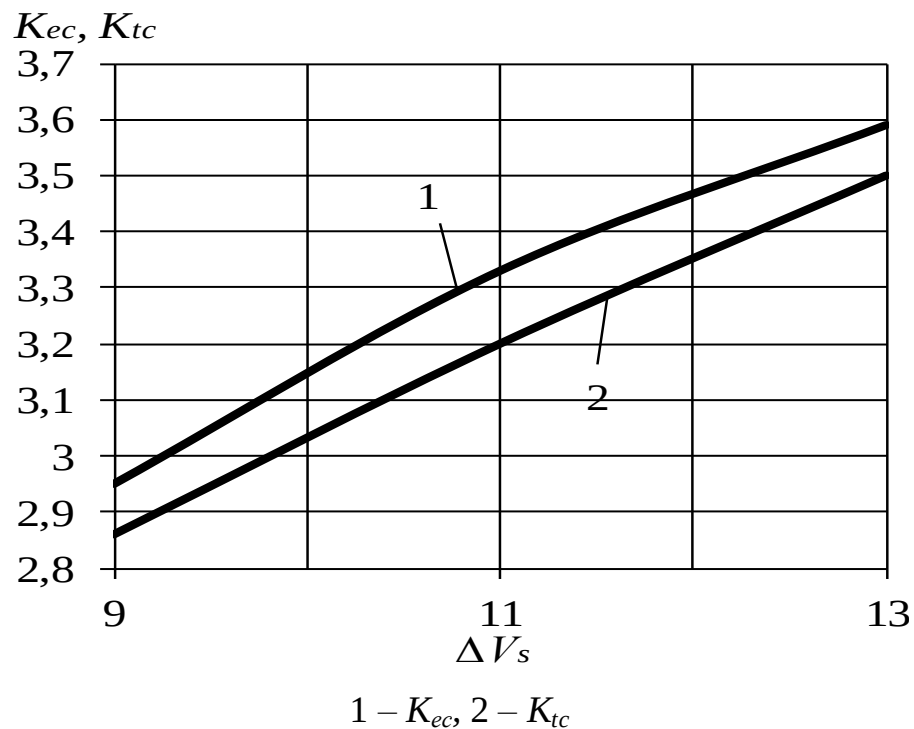


Рисунок 3.20 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від приросту швидкості  $\Delta V_s$  (м/с)

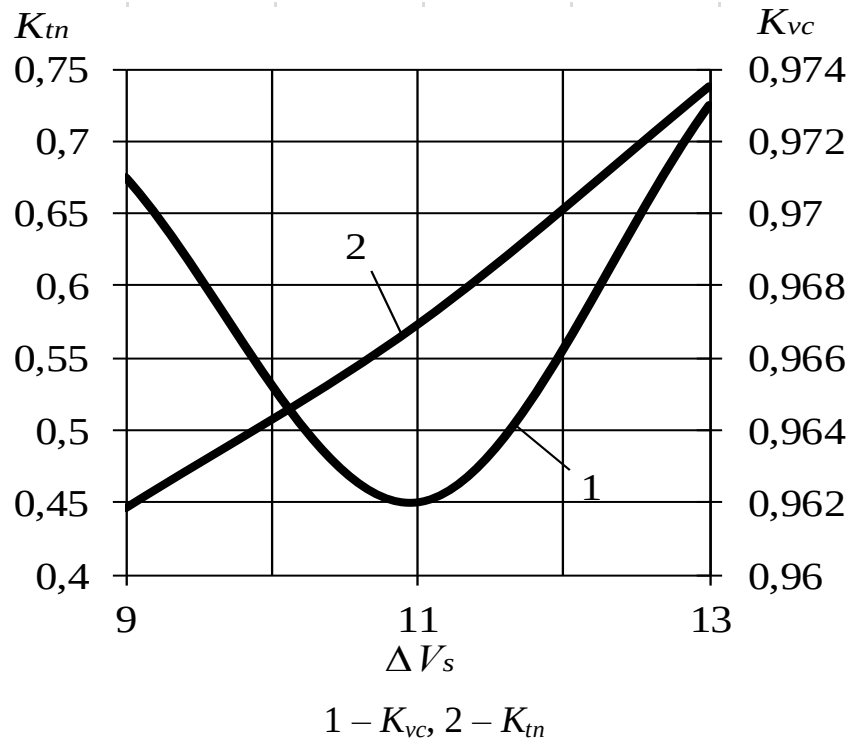


Рисунок 3.21 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від приросту швидкості  $\Delta V_s$  (м/с)

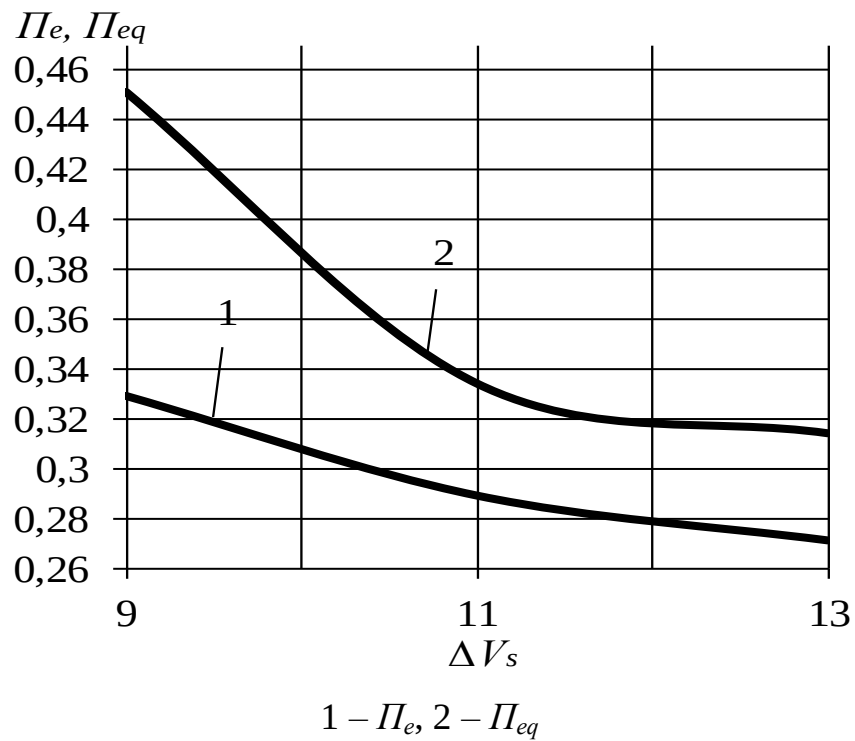
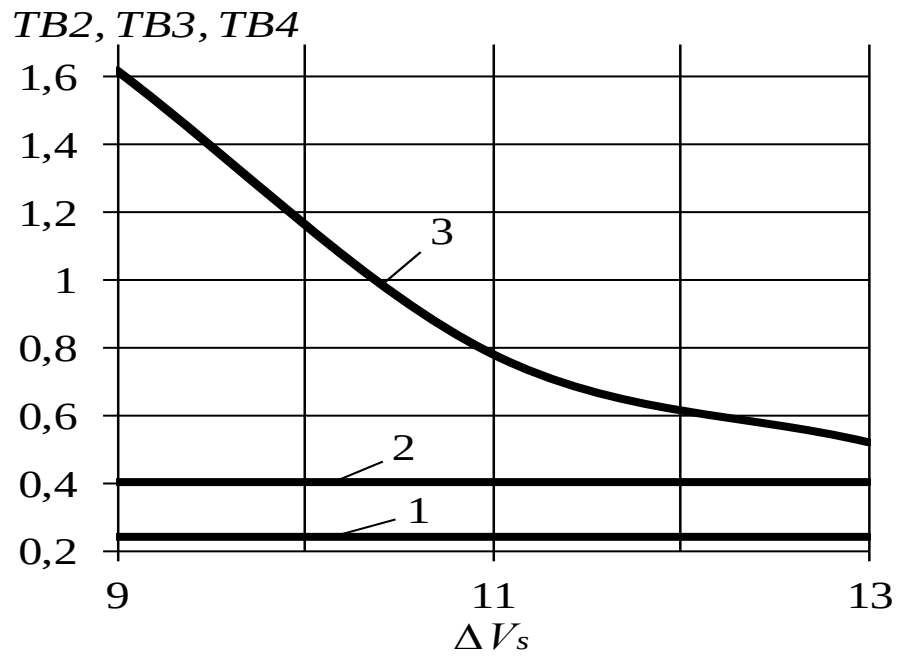
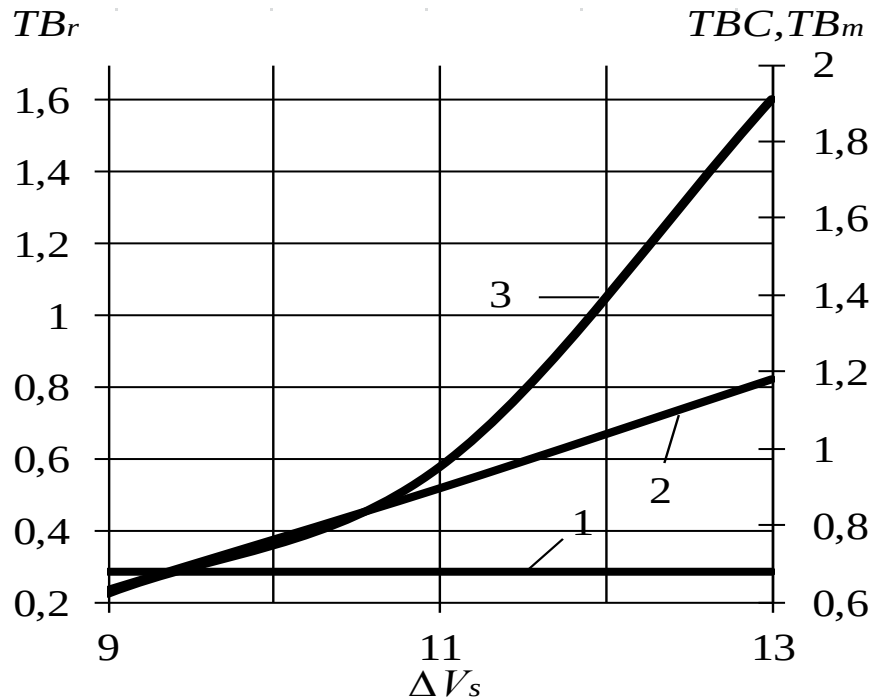


Рисунок 3.22 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від приросту швидкості  $\Delta V_s$  (м/с)



1 –  $TB_2$ , 2 –  $TB_3$ , 3 –  $TB_4$

Рисунок 3.23 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від приросту швидкості  $\Delta V_s$  (м/с)



1 –  $TB_r$ , 2 –  $TBC$ , 3 –  $TB_m$

Рисунок 3.24 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від приросту швидкості  $\Delta V_s$  (м/с)

### 3.3.2.2 Аналіз впливу довжини перегону між зупинками

Також необхідно дослідити вплив зміни довжини перегону  $l_c$  на показники енергетичної ефективності і технологічного впливу автобуса. Діапазон зміни перегону ми обираємо від 100 м до 1000 м, так як необхідно враховувати не лише відстань між зупинками, а ще світлофори, перехрестя та завантаженість дороги.

За отриманими результатами побудовано графіки (рис. 3.25, 3.26, 3.27) з яких видно, що при збільшенні довжини перегону  $l_c$  показник енергетичної ефективності  $P_e$  суттєво збільшується, енергетичний коефіцієнт швидкості  $K_{vc}$  має також достатньо значне збільшення, а енергетичний показник пробігу  $K_{ec}$  в діапазоні від 100 м до 400 м різко зменшується, а після 400м зменшення ні таке стрімке.

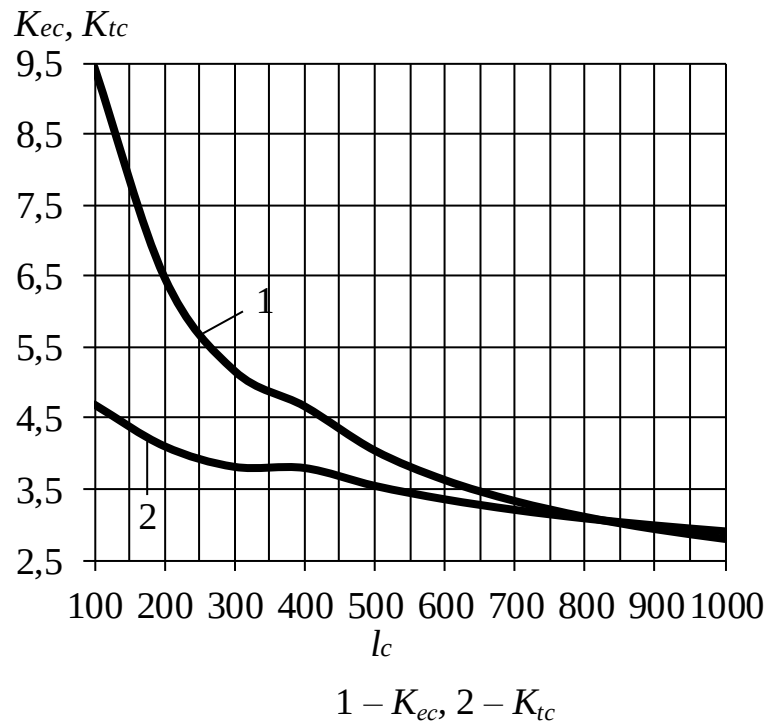


Рисунок 3.25 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від довжини перегону  $l_c$  (м)



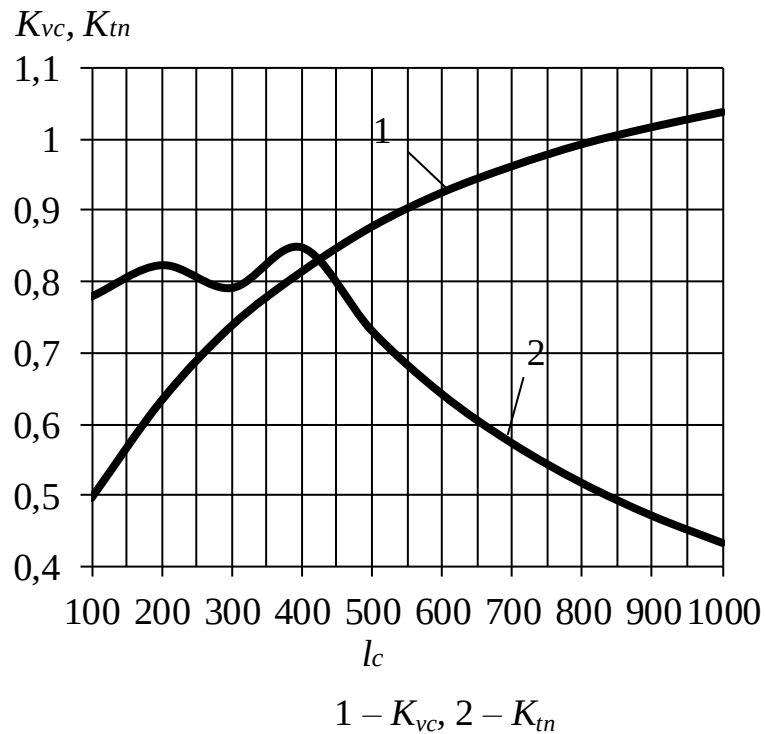


Рисунок 3.26 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від довжини перегону  $l_c$  (м)

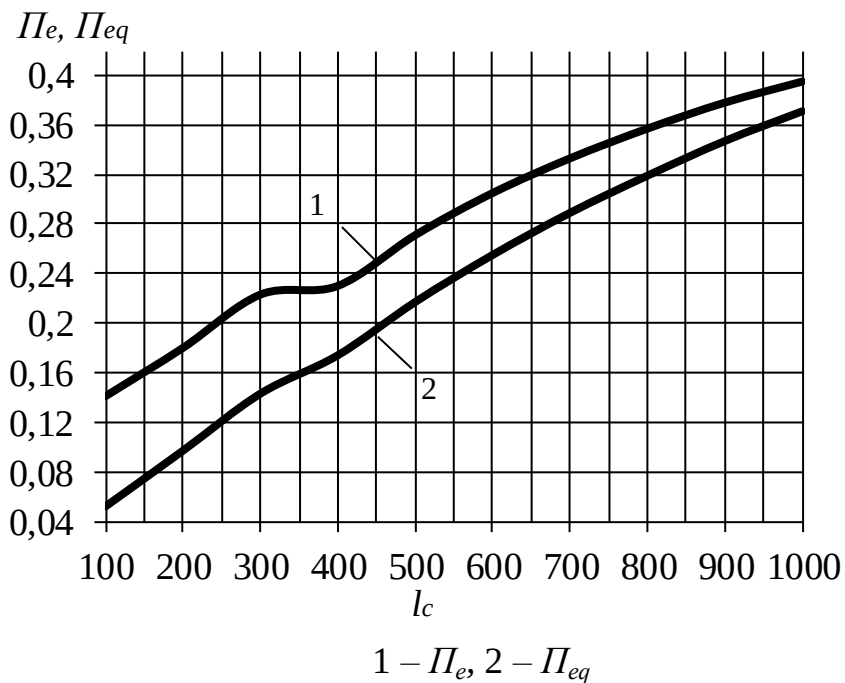
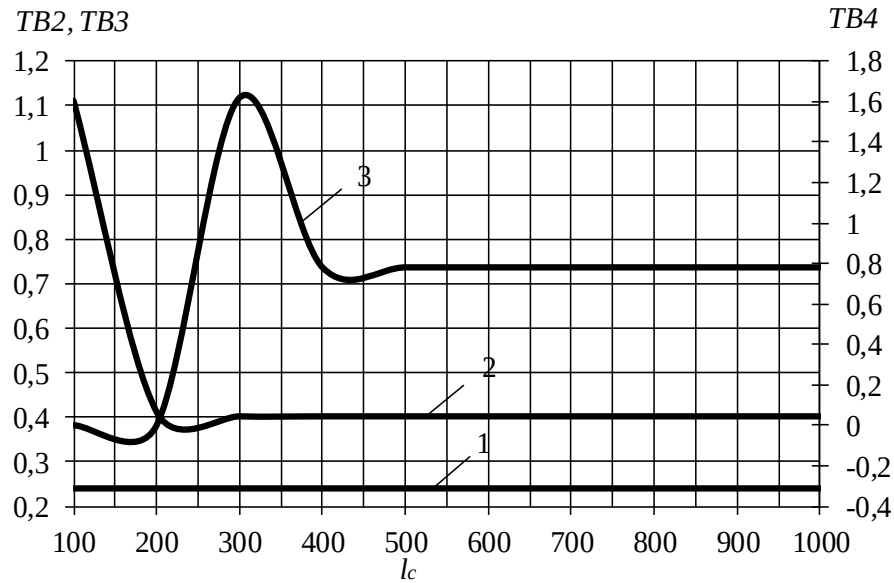


Рисунок 3.27 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від довжини перегону  $l_c$  (м)

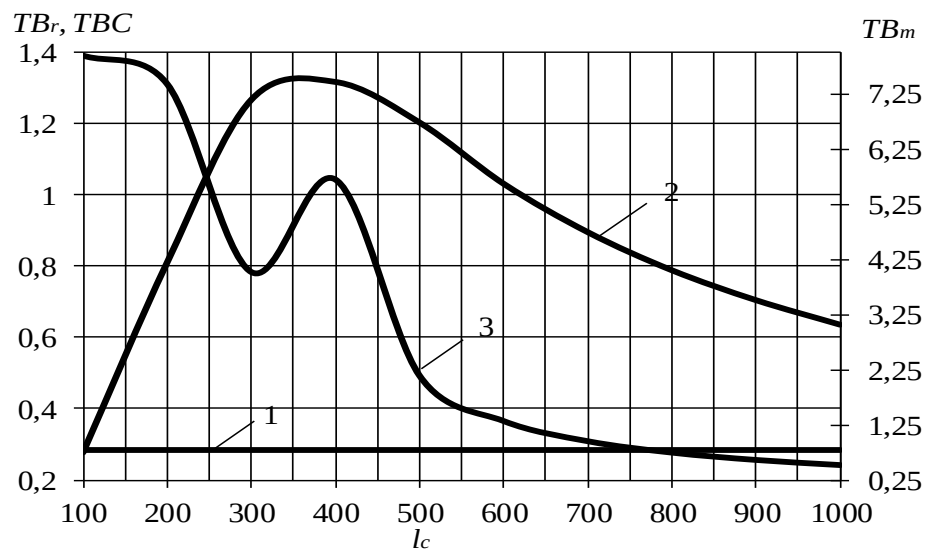
Аналізуючи графік залежності показника результативності технологічного впливу від довжини перегону (рис. 3.28), можна сказати, що найбільший вплив  $l_c$

має на  $TB$  при русі на третій та четвертій передачі і найбільше значення  $TB$  спостерігається на четвертій передачі, що характеризує рух автобуса із сталою швидкістю на перегоні із відстанню 300 м, а середньозважене значення  $TBC$  зростає від  $l_c=100$  м до 400 м, після чого знову зменшується.



1 –  $TB2$ , 2 –  $TB3$ , 3 –  $TB4$

Рисунок 3.28 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від довжини перегону  $l_c$  (м)



1 –  $TBr$ , 2 –  $TBC$ , 3 –  $TB_m$

Рисунок 3.29 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від довжини перегону  $l_c$  (м)

### 3.3.2.3 Аналіз впливу коефіцієнту наповнення автобуса

Міські автобуси загального користування мають таку особливість, що в кожний конкретний момент в автобусі може бути менше, а іноді і більше пасажирів, ніж це визначено номінальною місткістю. Тому досліджено вплив коефіцієнта наповнення  $\gamma_{cm}$  на показники енергетичної ефективності при різній кількості пасажирів в автобусі. Для дослідження було обрано завантаження автобуса від 25 % до 100 % із кроком коефіцієнта  $\gamma_{cm}$  в 0,25.

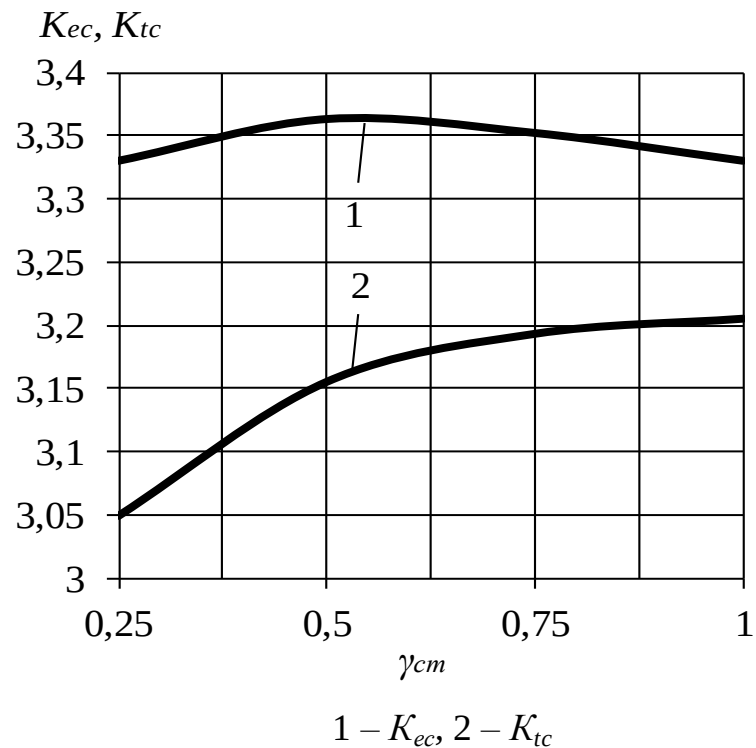


Рисунок 3.30 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта наповнення  $\gamma_{cm}$

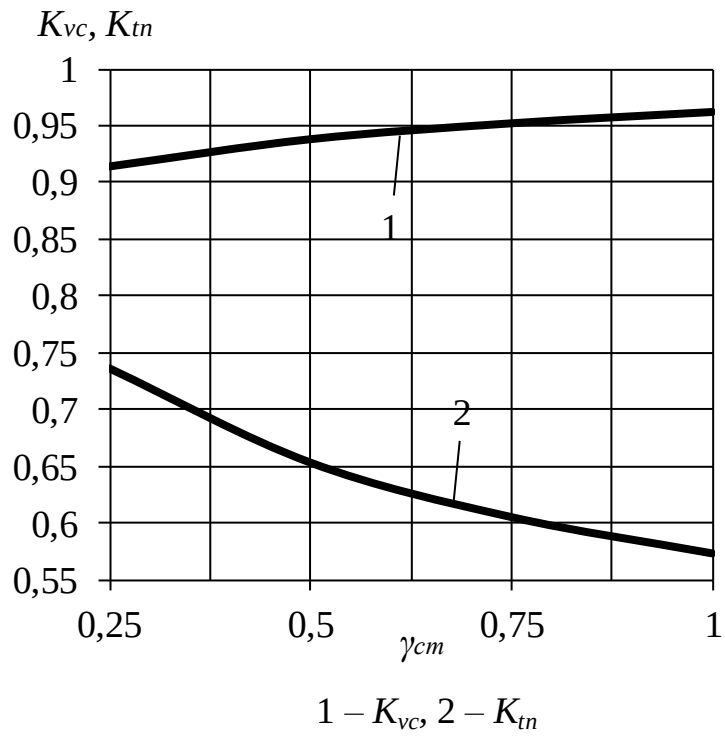


Рисунок 3.31 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта наповнення  $\gamma_{cm}$

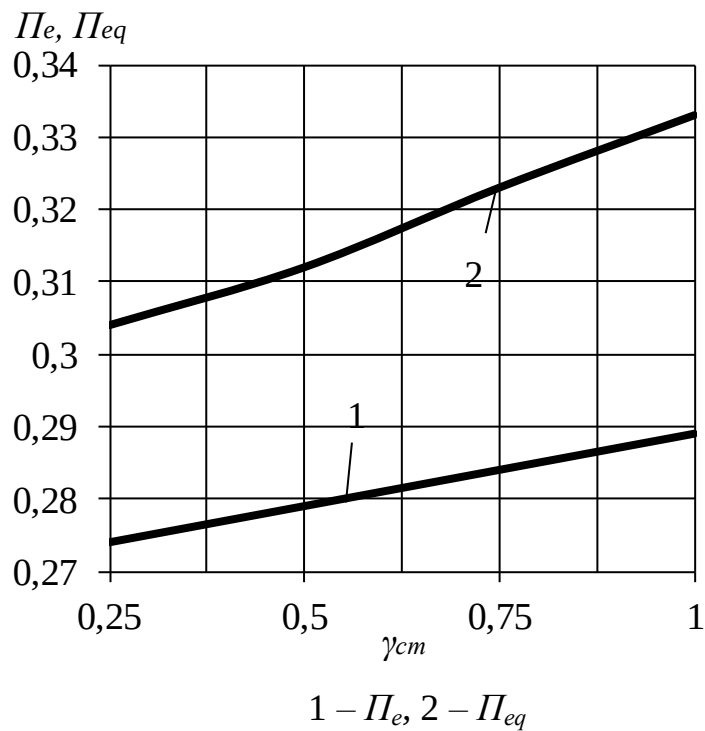
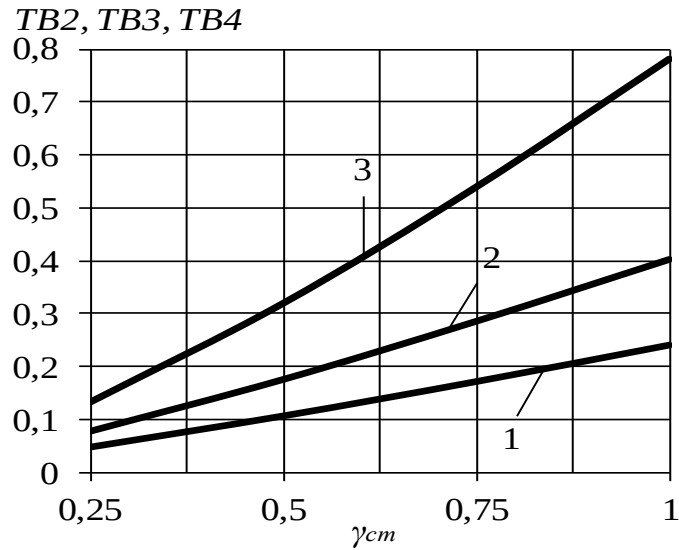


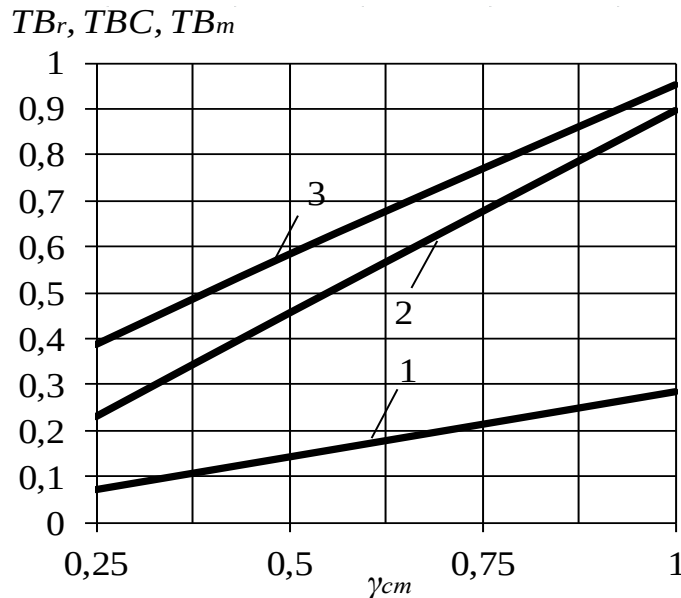
Рисунок 3.32 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта наповнення  $\gamma_{cm}$

Із отриманих результатів, які наведенні на рис. 3.30, 3.31, 3.32 видно, що коефіцієнт швидкості  $K_{vc}$  та енергетичний показник пробігу  $K_{ec}$  майже не змінюються, а показник паливної  $\Pi_{eq}$  та енергетичної ефективності  $\Pi_e$  збільшується.



1 – TB2, 2 – TB3, 3 – TB4

Рисунок 3.33 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта наповнення  $\gamma_{cm}$



1 – TB<sub>r</sub>, 2 – TBC, 3 – TB<sub>m</sub>

Рисунок 3.34 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта наповнення  $\gamma_{cm}$

Аналізуючи вплив коефіцієнта наповнювання автобуса  $\gamma_{cm}$  на показники технологічного впливу можна сказати, що вони збільшуються із збільшенням кількості пасажирів в салоні автобуса.

### 3.3.3 Аналіз впливу характеристик дороги

#### 3.3.3.1 Аналіз впливу коефіцієнту опору коченню коліс

Завдяки проведеним дослідженням [95, 96, 116] встановлено, що характеристики дороги, зокрема коефіцієнт опору кочення значно впливає на тягово-швидкісні та гальмівні властивості АТЗ. Зважаючи на це в даній роботі було проведено аналіз впливу цього показника на транспортну енергетичну ефективність автобуса.

Коефіцієнт опору коченню  $f$  суттєво впливає на втрату енергії при русі автобуса (рис. 3.35, 3.36, 3.37). При збільшенні коефіцієнта опору коченню  $f$  енергетичний коефіцієнт пробігу  $K_{ec}$  і паливний коефіцієнт пробігу  $K_{eq}$  збільшуються, а значення показників енергетичної  $\Pi_e$  та паливної ефективності  $\Pi_{eq}$  зменшуються. Це означає, що при зменшенні  $f$  значно зменшується витрата палива.

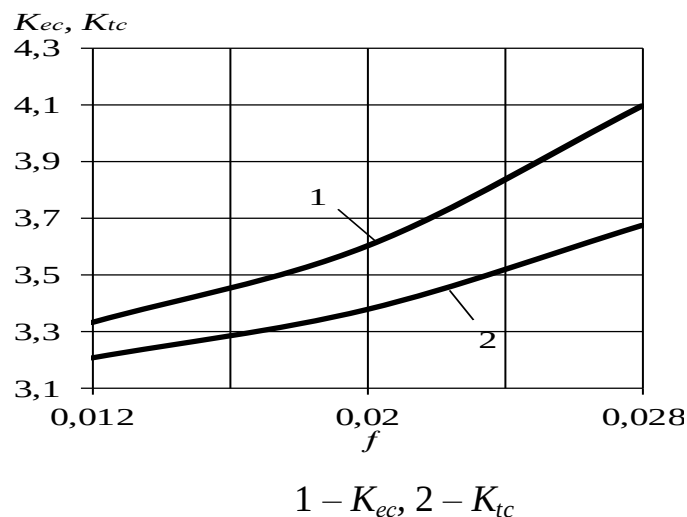


Рисунок 3.35 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від коефіцієнту опору кочення  $f$

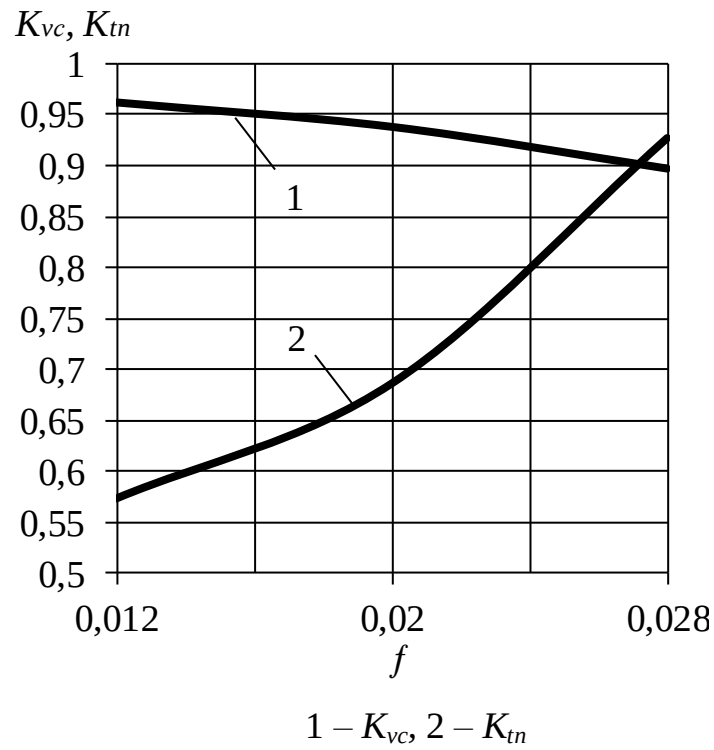


Рисунок 3.36 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта опору кочення  $f$

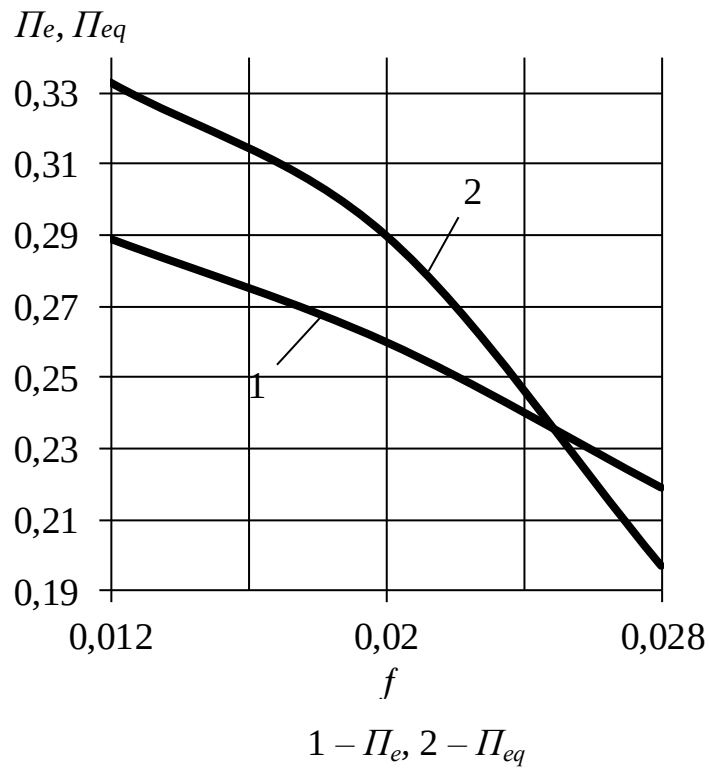
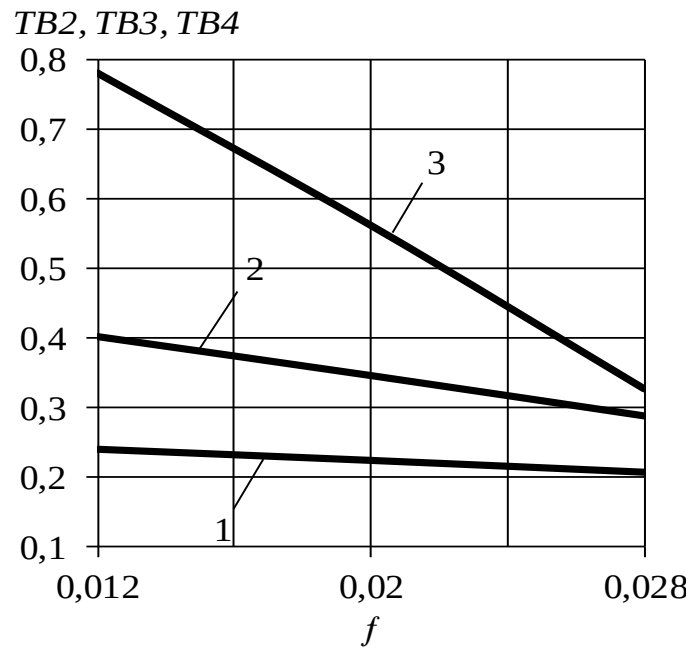
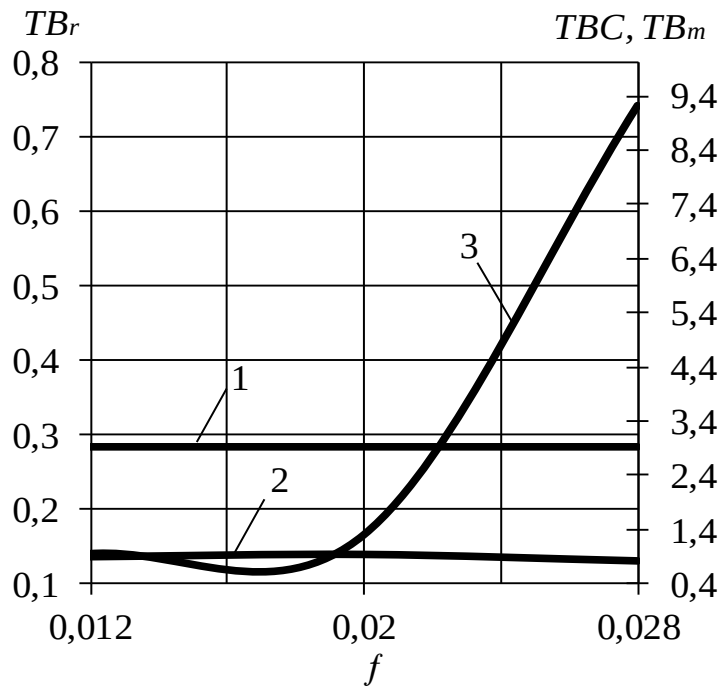


Рисунок 3.37 – Графік залежності показників енергетичної ефективності автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта опору кочення  $f$



1 –  $TB2$ , 2 –  $TB3$ , 3 –  $TB4$

Рисунок 3.38 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта опору кочення  $f$



1 –  $TB_r$ , 2 –  $TBC$ , 3 –  $TB_m$

Рисунок 3.39 – Графік залежності показників результативності технологічного впливу автобуса Богдан А-092 від коефіцієнта опору кочення  $f$



Як видно з рис. 3.38, 3.39 найбільший вплив коефіцієнт опору дороги  $f$  має на показник результативності технологічного впливу при русі автобуса на четвертій передачі  $TB4$  в режимі сталого руху  $TB_m$ .

Представлені залежності можуть бути використані для прогнозування зміни показника енергетичної ефективності при зміні конструктивних параметрів та характеристик дороги.

### 3.4 Аналіз впливу конструктивних параметрів автобуса на енергоеквівалентні показники продуктивності і собівартості

Для визначення впливу конструктивних параметрів автобуса на енергоефективність перевезень було використано енергоеквівалентні показники продуктивності автобуса і собівартості перевезень.

Аналіз результатів показує, що максимальна потужність двигуна має достатньо великий вплив на продуктивність. З графіка видно, що із збільшенням базової потужності двигуна на 20 к.с., продуктивність автобуса збільшується на 14 %.

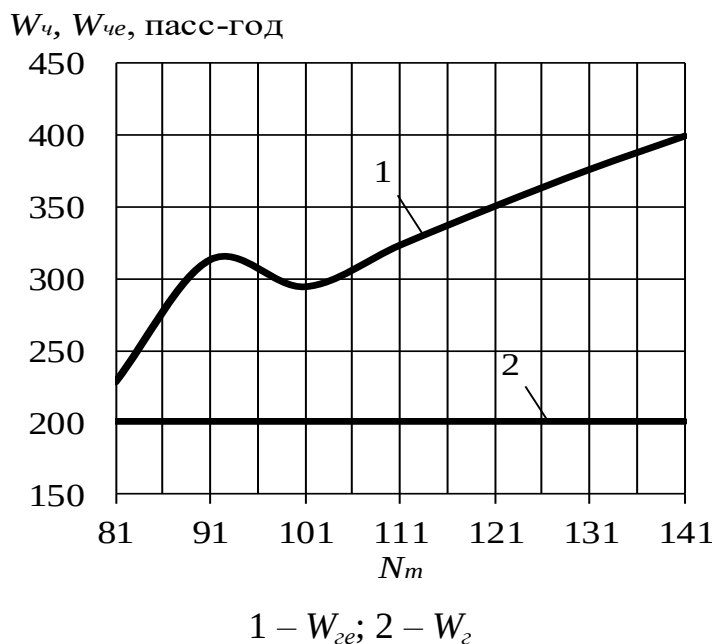


Рисунок 3.40 – Графік залежності продуктивності автобуса Богдан А-092 від зміни максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.)

З графіка (рис. 3.41) видно, що продуктивність автобуса із збільшенням передаточного числа головної передачі від 4,8 до 6,8 збільшується на 17 %. Це говорить про те, що при заданих умовах перевезень збільшення передаточного числа має місце.

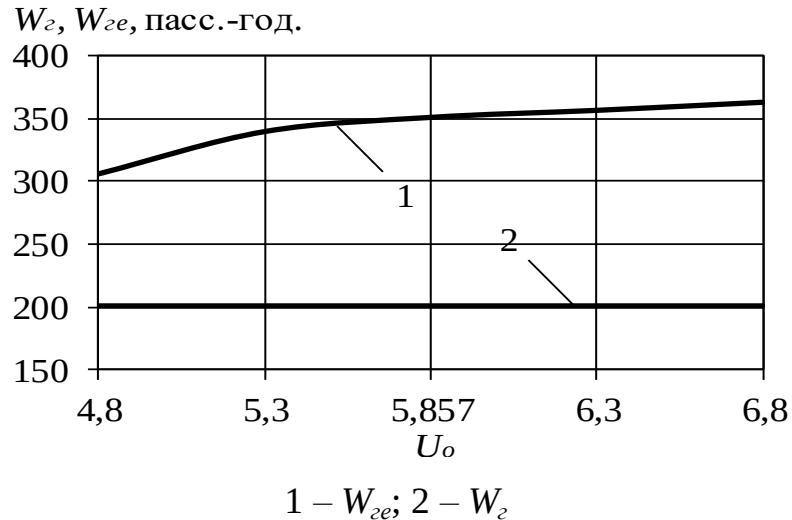


Рисунок 3.41 – Графік залежності продуктивності автобуса Богдан А-092 від зміни передаточного числа головної передачі  $U_o$

Із графіку (рис. 3.42) впливу максимальної потужності двигуна на собівартість перевезення видно, що із її  $N_m$  на 60 к.с. собівартість також зростає в межах 14%.

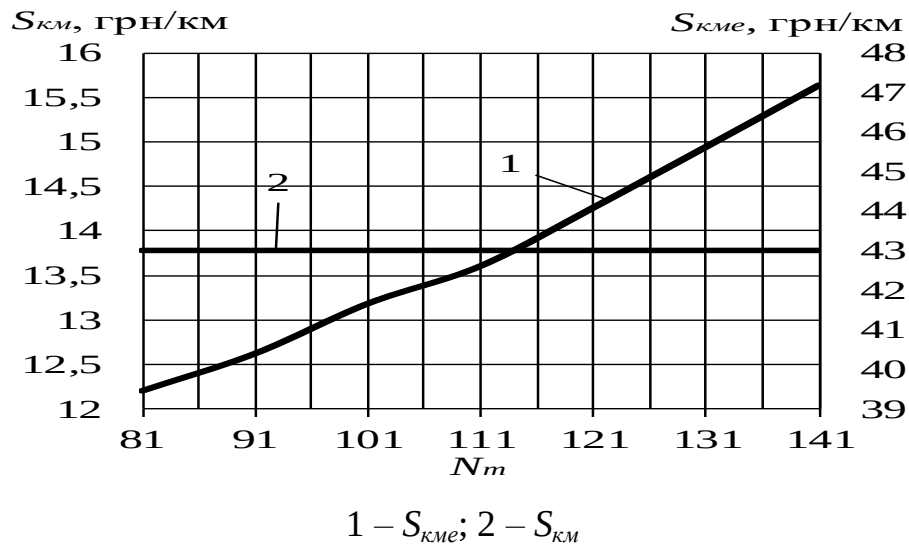


Рисунок 3.42 – Графік залежності собівартості перевезень автобусом Богдан А-092 від зміни максимальної потужності двигуна  $N_m$  (к.с.)

Вплив передаточного числа головної передачі на собівартість перевезень має екстремальний характер із максимальним значенням  $S_{кме}$  при значенні  $U_0=5,28$  та мінімальним при  $U_0=5,9$ .

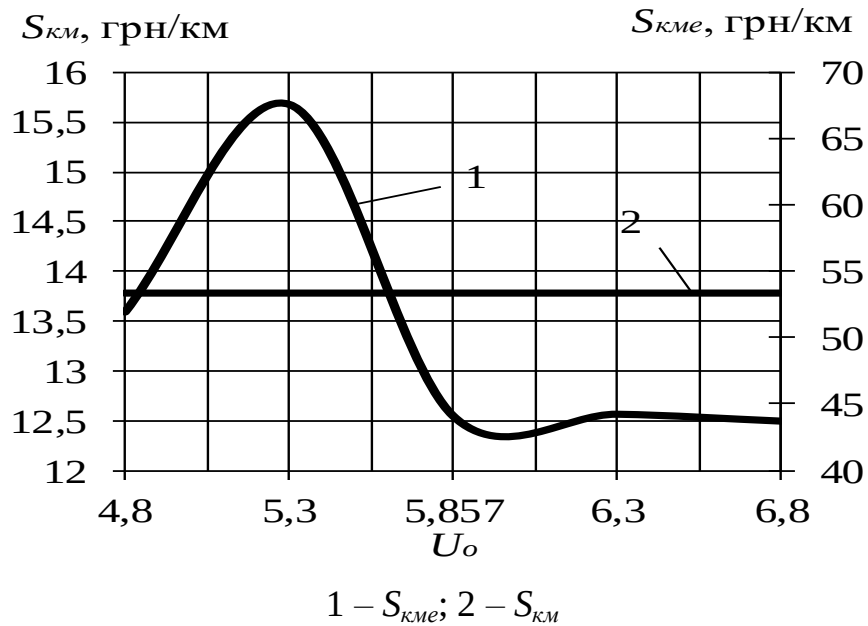


Рисунок 3.43 – Графік залежності собівартості перевезень автобусом Богдан А-092 від зміни передаточного числа головної передачі  $U_0$

### 3.5 Висновки до розділу 3

1. Розроблено методику моделювання енергоресурсної ефективності МПАП з урахуванням його конструкції, що розглядаються. При цьому, завдяки використанню модульної схеми узагальненого АТЗ, необхідна мінімальна зміна програмного забезпечення, а натурально-фізичні та вартісні умови порівняльного аналізу зберігаються.

2. Встановлено квадратичні залежності, які можуть бути використані для прогнозування зміни показника енергетичної ефективності при зміні конструктивних параметрів та характеристик дороги.

3. Розроблено методику аналізу придатності основних конструктивних параметрів автобуса, яка може бути використана для підвищення енергетичної ефективності МПАП.

4. Отримані функціональні залежності між енергоеквівалентними показниками собівартості перевезень та продуктивності автобуса і конструктивними параметрами автобуса на основі математичного моделювання енергоресурсної ефективності МПАП.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ МЕТОДИК МОДЕРНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПІДВИЩЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

#### **4.1 Постановка задачі модернізаційно-технологічного підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень**

Актуальність методів технологічно-інноваційного аналізу транспортного процесу і модернізаційного підвищення енергоефективності автобусних перевезень обумовлена тим, що спеціалістами транспортних підприємств використовуються суто господарчий підхід до їх керування сервісно-комерційним функціонуванням з використанням вартісного, але технологічно-консервативного методу максимізації прибутку від перевезень [74-77].

В першому розділі було показано, що недоліком з точки зору розвитку ТТ є використання схеми віртуального транспортування, принципу FUT та відсутність опису технологічного транспортування з урахуванням властивостей автобуса. В результаті нехтування задачами технологічно-інноваційного розвитку спостерігається дуже великий рівень фізичного та морального зносу автобусів. Важливою причиною цього нехтування на практиці є наслідки розукрупнення на автотранспорті та появою великої кількості малих та дуже малих автомобільних підприємств з міських перевезень пасажирів. Така ситуація призвела до того, що в містах функціонують до 85-90 % малих підприємств (з кількістю автобусів від 3-х до 12-ти одиниць) [2, 4]. З точки зору можливості розвитку автотранспорту у сфері міських автобусних перевезень сформувалось явище масового дрібнотоварного виробництва автотранспортних послуг [117] в умовах низького економічного

стану міського населення, яке є основним споживачем автотранспортних послуг. В теорії економіки транспортного процесу [118] таке виробництво має ряд суттєвих недоліків в аспекті управління модернізаційним розвитком автотранспортних підприємств. По-перше, вони мають дуже низький рівень економічної стійкості, по-друге, вони мають дуже малі штати інженерно-технічних працівників і тому не можливо забезпечити потрібний рівень спеціалізації робітників в напрямку аналізу і формування енергозберігаючих транспортних технологій. В той же час, в цих підприємствах обмежені фінансові можливості для своєчасного оновлення рухомого складу. Воно відбувається дуже повільно із-за низької економічної стійкості. При цьому, в основному використовується вартісний метод обґрунтування оновлення, який має суттєві вищеназвані недоліки. Основними умовами такого обґрунтування є мінімізація експлуатаційних і приведених витрат [117] без врахування метода модернізаційно-технологічного підвищення ТЕЕА і концепції технологічного енергозбереження на автотранспорті. Завдяки сумарному впливу недоліків суто вартісного підходу формуються низькі транспортні технології, які характеризуються невисокими рівнями продуктивності та ТЕЕА, а з іншого боку, це не відповідає і суперечить стратегічній концепції енергозбереження.

В зв'язку з цим, для методологічного забезпечення концепції експлуатаційно-технологічного енергозбереження та для інноваційного підвищення рівня ТТ, а також для експлуатаційного керування техніко-технологічним рівнем автотранспортних послуг потрібно сформувати комплекс експлуатаційних методик підвищення ТЕЕА. При цьому слід використати такі важливі принципи технологічного розвитку процесів перевезень [18]: а) життєвого циклу транспортних послуг; б) технологічно-інноваційного збереження енергії і ресурсів в процесі автобусних перевезень; в) концептуально-обґрунтованої реалізації комплексу техніко-технологічних новацій.

В першому розділі було визначено, що з точки зору концепції інноваційно-технологічного енергозбереження існуючі методи [10-17], що є нефізичними, нетехнічними, нетехнологічними, неенергетичними, невиробничими та антимодернізаційними і антивиробничими. Відомо, що в цих методах використано схему віртуального транспортування, а в основу теорії організації перевезень покладено принцип FUT (див. перший розділ). На практиці експлуатації автобусів вищевказані методологічні недоліки обумовили низький рівень техніки та технології міських пасажирських автобусних перевезень. В теоретичному і практичному аспектах не вирішується актуальна науково-технічна задача модернізаційно-технологічного підвищення ТЕЕАП. Слід зауважити, що при вирішенні цієї задачі необхідно врахувати важливі особливості міських автобусних перевезень (див. перший розділ). В зв'язку з вищевикладеним для формування вищеназваного комплексу експлуатаційних методик підвищення ТЕЕА сформовані наступні вимоги, що до врахування:

- конструктивного різноманіття автобусів;
- нерівномірності пасажиропотоку на маршруті;
- нестабільне заповнення автобусів пасажирами;
- нерівномірно-переривчастий рух автобусів на маршрутах;
- високу енергоємність руху автобуса.

З урахуванням вищевикладеного і сформульованих вимог в вищеназвану структуру комплексу для інноваційного підвищення ТЕЕА входять наступні три методики:

- методика моніторингу заданого сегменту ринка автобусів за рівнем їх ТЕЕА;
- методика експлуатаційного підвищення ТЕЕА з урахуванням конструктивних параметрів, а також дорожніх і транспортних умов руху на маршруті;

- методика врахування ТЕЕА при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут.

В результаті того, що на ринку існує велике конструктивно-технічне різноманіття автобусів, перед перевізниками постає задача в систематизації, зберіганні, обробці і аналізі технічних, енергетичних та конструктивних параметрів автобусів в різних сегментах ринку надання транспортних послуг. Це дасть можливість перевізникам робити вибір автобусів більш науково обґрунтованим та таким, що буде відповідати високому технологічному рівню транспортного обслуговування і експлуатації на заданих маршрутах.

Транспортне обслуговування і експлуатація автобусів повинні бути не тільки противитними, а і технологічно якісними.

Під технологічно якісними розуміють такі проекти транспортування, в яких необхідно забезпечити:

- адаптивну транспортну продуктивність в умовах конфліктної дорожньої мережі;
- транспортну безпеку з урахуванням можливих небезпечних дорожньо-транспортних ситуацій;
- транспортна енергоефективність з урахуванням конфліктності, небезпечних ситуацій і названих особливостей АП.

Це можна досягти на основі формування і реалізації проектів модернізаційно-технологічного підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень. Крім того, вибір автобусів в цих проектах повинен виходити з умов підвищення: а) технологічної ефективності машинних і трудових процедур ТТ; б) ефективності процесів енергетичного перетворення ресурсів в продукт транспорту при експлуатації автобусів.

Крім того, рішення поставленої задачі з врахуванням вищеназваних вимог повинно виходити із інноваційно-технологічної концепції експлуатаційно-технологічного енерго-ресурсозбереження, яка сформульована в першому розділі.



З точки зору інноваційно-технологічного забезпечення як автотранспорту так і автотранспортного процесу міських автобусних перевезень, названа концепція модернізаційно-технологічного розвитку повинна реалізуватися при вирішенні усіх експлуатаційних задач в аспекті підвищення ТЕЕАП: обґрунтування оновлення автобусів, технологічного вибору РС, вибір маршрутів руху, формування парку рухомого складу та інноваційного формування енергозберігаючих транспортних технологій при плануванні техніко-технологічного розвитку автобусних перевезень.

В цих методиках загальними вимогами є необхідність дослідження і прогнозування впливу характеристик автобуса на ТЕЕАП як ресурсо-технічного засобу якісного транспортного виробництва.

Враховуючи це, для вирішення задачі техніко-технологічного обґрунтування та концептуально-орієнтованого оновлення парку РС необхідно використання теорії енергоресурсної ефективності АТЗ [18].

Проектне підвищення ТЕЕА [39] забезпечує в майбутньому гарантоване зниження енерго- і ресурсоемності автотранспортних послуг.

#### **4.2 Методика моніторингу заданого сегменту ринка автобусів за рівнем їх транспортної енергетичної ефективності**

Згідно принципу життєвого циклу автотранспортних послуг першим етапом рішення задачі транспортної енергетичної ефективності автобуса починається з маркетингового аналізу сегменту ринку автобуса [119].

Слід відзначити, що автоперевізники, перед якими виникла задача оновлення існуючого парку або формування нового, зіштовхуються із великим конструктивно-технічним різноманіттям автобусів. Згідно існуючого противитратного підходу при виборі автобуса користуються критеріями їх пасажиромісткості. При цьому вищеназвані вимоги (п. 4.1) враховуються

недостатньо, а деякі важливі (СПОКА, дорожньо-мережева інфраструктура, технологічні процедури) взагалі не враховуються. В зв'язку з цим, такі рішення є концептуально хибними так як вони не забезпечують інноваційно-технологічне енергозбереження та не дозволяють оцінювати і спрогнозувати придатність технічних характеристик автобусів до енергозберігаючих транспортних технологій. Особливо такий не концептуальний підхід небажаний при керуванні розвитком міських автобусних перевезень. Відомо, що вони відносяться до масових перевезень пасажирів. Крім того, вони здійснюються в складних дорожніх умовах та на адаптивно-дискретних режимах руху автобусів і при постійних змінах їх експлуатаційних характеристик. Це приводить до значного зростання енерго- і ресурсоемності автобусних перевезень.

Зважаючи на це, для більш обґрунтованого вибору автобусів із заданими характеристиками СПОКА, запропоновано методику маркетингового моніторингу автобусів за показниками ТЕЕА [120-122].

В запропонованій методиці моніторингу автобусів на міські маршрути оцінка ТЕЕА відбувається за показником їх енергетичної ефективності для різних марок і моделей автобусів. Для уніфікованого аналізу конструктивно-технічних особливостей нових автобусів запропоновано модель автобуса узагальненого типу, яка враховує варіанти структурно-параметричної організації конструкції автобуса у вигляді 14-ти функціонально конструктивних модулів. Вона дає змогу провести аналіз із ряду автобусів і вибрати той, що відповідає технологічним вимогам заданих параметрів.

Метою методики моніторингу є оцінка та прогнозування придатності технічних характеристик автобусів, які пропонуються на ринку, до енергозберігаючих транспортних технологій.

Під транспортними технологіями розуміється науково-описана сукупність людино-машинних і енергоресурсних способів створення якісного продукту транспорту [18, 83, 84].

Для розробки методики моніторингу були вирішені наступні задачі:

- сегментування ринку автобусів і формування конструктивних варіантів;
- формування варіантів СПОКА на основі визначення технічних і вартісних характеристик міських автобусів як нових товарів;
- уточнення математичних моделей для проведення моніторингу автобусів за показником їх енергетичної ефективності;
- розробка електронних таблиць для автоматизованих розрахунків показників транспортно-технологічної якості автобусів.

Також було розглянуто процес моніторингу ринку автобусів заданого сегменту за ТЕЕА (рис. 4.1) та визначено напрямки подальших досліджень.

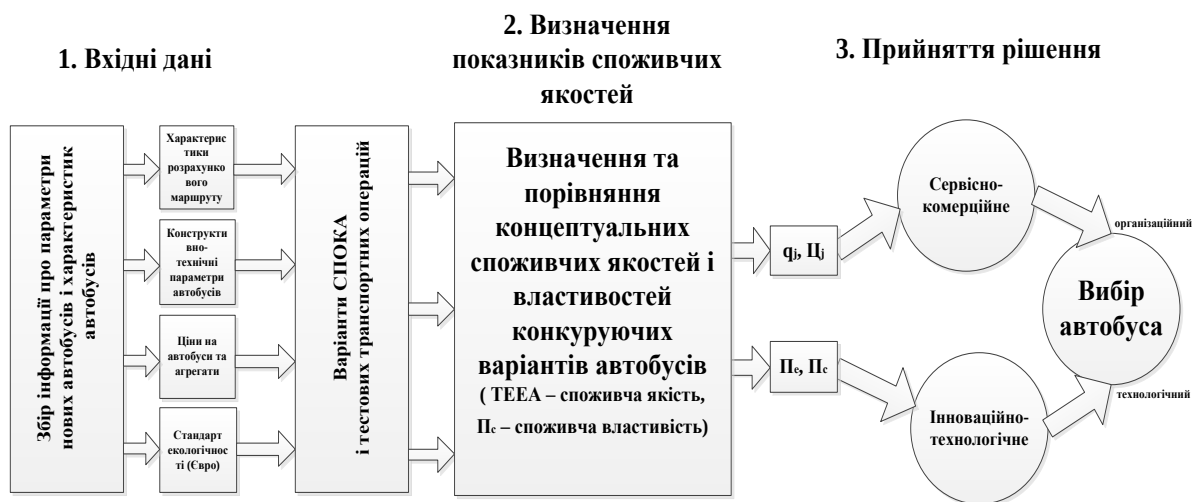


Рисунок 4.1 – Процес моніторингу ринку автобусів заданого сегменту за ТЕЕА

Згідно концепції енергозбереження, параметри конструкції автобуса і характеристики його структури повинні бути такими, що забезпечать максимізацію показників транспортної енергоефективності  $P_e$ . Саме такий показник характеризує придатність автобуса до максимізації технологічної якості

продукта транспорту.

Звідси формується математична постановка задачі проведення моніторингу ринку в заданому сегменті, яка виглядає так:

Задані:

- 1) сегмент ринку;
- 2) характеристики маршрутів (довжина, кількість перегонів, характеристики дороги;
- 3) пасажиромісткість автобуса;
- 4) завантаженість автобуса;
- 5) конкуруючі варіанти СПОКА.

Визначити рівень показника енергетичної ефективності  $\Pi_e$  кожного варіанта СПОКА автобуса для групи конкуруючих варіантів.

Порівняти та вибрати той, який відповідає  $\Pi_e \rightarrow \max$ . Цей варіант повинен забезпечити підвищення ТЕЕА для заданих автобусних маршрутів.

Рівень автобуса як науково-технічного товару задається критерієм споживчої якості  $\Pi_{ca}$ , який є мультиплікативною функцією від п'яти показників споживчих якостей [18]:

$$\begin{aligned} \Pi_{ca} &= \Pi_e \cdot \Pi_{\partial} \cdot \Pi_{pn} \cdot \Pi_{me} \cdot \Pi_{pe} \\ \Pi_e &\geq \Pi_{ej}, \Pi_{\partial} \geq \Pi_{\partial j}, \Pi_{pn} \geq \Pi_{pnj}, \Pi_{me} \geq \Pi_{mej}, \Pi_{pe} \geq \Pi_{pej} \end{aligned} \quad (4.1)$$

де  $\Pi_e$  – показник енергетичної ефективності АТЗ, який прийнятий як показник комплексної якості автобуса;

$\Pi_{\partial}$  – показник довговічності (відношення величин амортизаційного пробігу даного автобуса і його середнього значення для сегменту автобусів):

$$P_{\partial} = \frac{LH}{LH_j} \rightarrow \max, \quad (4.2)$$

де  $P_{pn}$  – показник ресурсної неоднорідності конструкції автобуса, який залежить від агрегатної структури транспортних засобів, нормативного пробігу агрегатів, а також їх цін (на даному етапі  $P_{pn} = 1$ );

$P_{me}$  – показник товарної економічності, який є відношенням середньої ціни автобусів у даному сегменті ринку до ціни конкретного автобуса (на даному етапі  $P_{me} = 1$ ):

$$P_{me} = \frac{C_j}{C} \rightarrow \max, \quad (4.3)$$

де  $P_{pe}$  – показник рівня екологічності автобуса, згідно стандартів Євро;

$j$  – індекс, який характеризує обмеження характеристик споживчої властивості у сегменті автобусів.

Звідси зрозуміло, що чим більший показник споживчої якості  $P_{ca}$ , тим вища досконалість конструкції автобуса.

Алгоритм моніторингу представлений на рисунку 4.2. В ньому представлена логіка і процедури переробки інформації і прийняття рішення.

Для забезпечення автоматизованих розрахунків показників були розроблені електронні таблиці (рис. 4.3) за допомогою пакету програм EXCEL. Вони забезпечують порівняльний аналіз автобусів та застосовуються для збору, зберігання, швидкого розрахунку та систематизації характеристик ТЗ, що використовуються для техніко-технологічного обґрунтування автобуса.

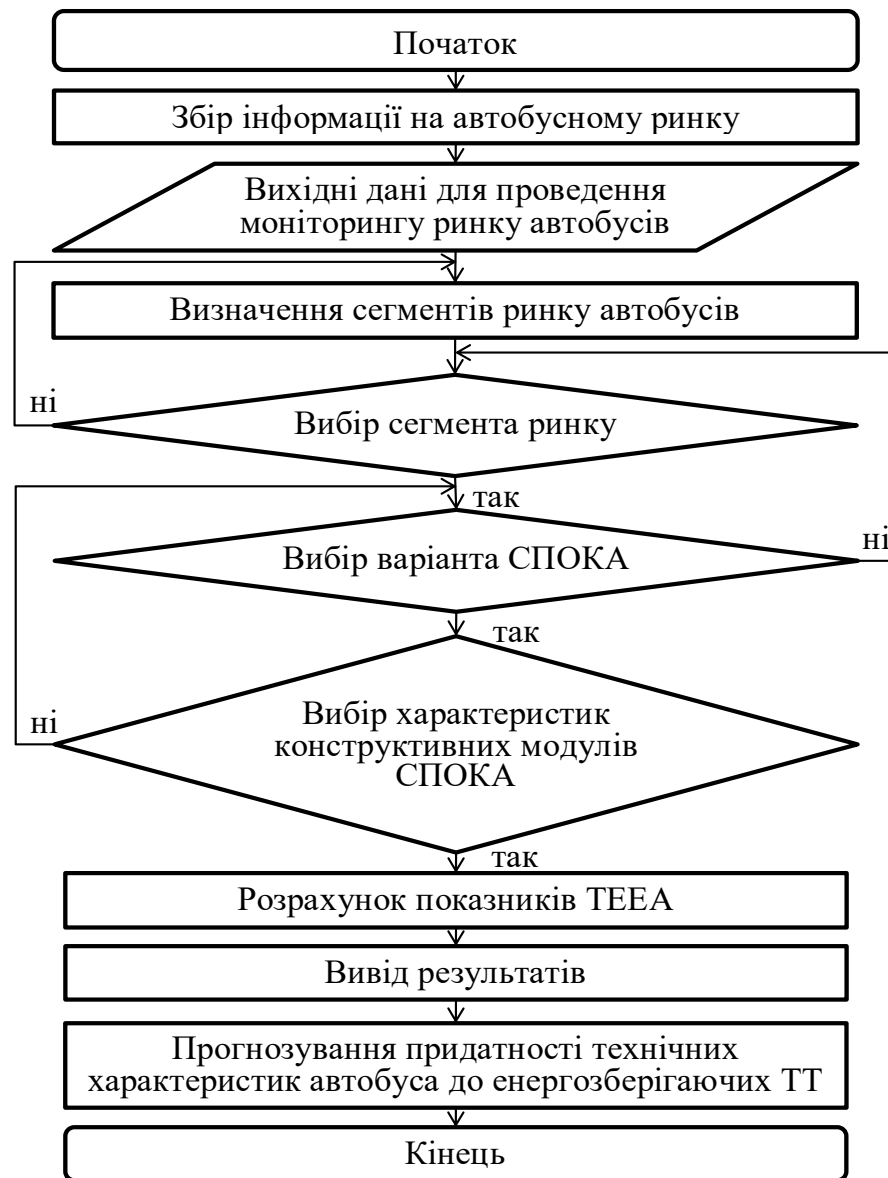


Рисунок 4.2 – Схема алгоритму моніторингу ринку автобусів за рівнем їх ТЕЕА на наданому сегменті

Згідно умови (2.12) здійснюється ранжирування автобусів за ступенем їх придатності до енергозберігаючих технологій. Крім того, за допомогою цих таблиць формуються вихідні дані для технологічного прогнозування, яке полягає у визначенні характеру впливу зміни найважливіших конструктивних параметрів на величину енергетичної ефективності автобуса.

| 4  | ЕНЕРГОРЕСУРСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ |       |                       |                  |             |                      |            |                 |            |                                            |            |             |             |
|----|----------------------------------------------------|-------|-----------------------|------------------|-------------|----------------------|------------|-----------------|------------|--------------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| 5  |                                                    |       |                       |                  |             |                      |            |                 |            |                                            |            |             |             |
| 6  | Марка                                              | КТ    | Показник тов. економ. | Пс. Потр. власт. | Пс. зм. шв. | Коефіцієнт швидкості |            | Паливний індекс |            | Показник енергетичної ефективності (а=0.4) |            |             |             |
| 7  | автомобіля                                         |       |                       |                  |             | Міс. шв. міст.       | Магістраль | Міс. шв. міст.  | Магістраль | Міс. шв. міст.                             | Магістраль | Зм.ш. міст. | Зм.ш. магі. |
| 8  |                                                    |       |                       |                  |             |                      |            |                 |            |                                            |            |             |             |
| 9  | ГАЗ-3221 до 30.04-02                               | 0.189 | 0.237                 | 0.007            | 0.010       | 0.801                | 0.856      | 5.846           | 4.497      | 0.032                                      | 0.044      | 0.036       | 0.040       |
| 10 | ГАЗ-32213 до 30.04-02                              | 0.239 | 0.299                 | 0.012            | 0.016       | 0.807                | 0.859      | 5.415           | 4.165      | 0.039                                      | 0.055      | 0.045       | 0.049       |
| 11 | УАЗ-2206                                           | 0.317 | 0.396                 | 0.014            | 0.024       | 0.761                | 0.841      | 6.749           | 4.527      | 0.036                                      | 0.060      | 0.045       | 0.052       |
| 12 | РАФ-2203-01                                        | 0.331 | 0.414                 | 0.014            | 0.020       | 0.795                | 0.864      | 7.534           | 5.795      | 0.035                                      | 0.049      | 0.040       | 0.044       |
| 13 | ІНЕР 3265 5-й клас АЗ                              | 0.280 | 0.350                 | 0.020            | 0.030       | 0.710                | 0.819      | 3.828           | 2.871      | 0.056                                      | 0.086      | 0.066       | 0.075       |
| 14 | КААЗ-3976                                          | 0.379 | 0.474                 | 0.022            | 0.033       | 0.694                | 0.812      | 5.425           | 4.173      | 0.046                                      | 0.070      | 0.064       | 0.061       |
| 15 | Богдан А-062                                       | 0.305 | 0.381                 | 0.019            | 0.029       | 0.642                | 0.787      | 5.108           | 4.142      | 0.060                                      | 0.076      | 0.069       | 0.067       |
| 16 | ГАЗ-3205                                           | 0.450 | 0.562                 | 0.023            | 0.035       | 0.688                | 0.809      | 5.933           | 4.564      | 0.041                                      | 0.062      | 0.043       | 0.055       |
| 17 | ГАЗ-672М                                           | 0.446 | 0.557                 | 0.022            | 0.035       | 0.642                | 0.787      | 6.031           | 4.639      | 0.040                                      | 0.063      | 0.043       | 0.055       |
| 18 | БАЗ-3202Еталон                                     | 0.230 | 0.238                 | 0.015            | 0.027       | 0.646                | 0.789      | 4.360           | 2.953      | 0.053                                      | 0.094      | 0.067       | 0.079       |
| 19 | ГАЗ-3205А                                          | 0.502 | 0.628                 | 0.025            | 0.037       | 0.688                | 0.809      | 6.534           | 5.026      | 0.039                                      | 0.060      | 0.046       | 0.052       |
| 20 | ГАЗ-3205А                                          | 0.408 | 0.510                 | 0.038            | 0.033       | 0.688                | 0.809      | 3.438           | 4.845      | 0.075                                      | 0.064      | 0.071       | 0.063       |
| 21 | БАЗ-А-079 04Еталон                                 | 0.305 | 0.381                 | 0.022            | 0.035       | 0.646                | 0.789      | 4.313           | 3.318      | 0.058                                      | 0.092      | 0.070       | 0.080       |
| 22 | Богдан А-092                                       | 0.273 | 0.342                 | 0.021            | 0.030       | 0.688                | 0.809      | 4.427           | 3.689      | 0.062                                      | 0.087      | 0.070       | 0.078       |
| 23 | Богдан А-091                                       | 0.316 | 0.396                 | 0.025            | 0.043       | 0.688                | 0.809      | 4.684           | 3.223      | 0.063                                      | 0.108      | 0.079       | 0.083       |
| 24 | ЛАЗ-4207                                           | 0.163 | 0.204                 | 0.013            | 0.020       | 0.646                | 0.789      | 3.022           | 2.324      | 0.061                                      | 0.098      | 0.074       | 0.085       |
| 25 | ЛАЗ-699Р                                           | 0.608 | 0.760                 | 0.028            | 0.044       | 0.679                | 0.805      | 5.795           | 4.458      | 0.037                                      | 0.057      | 0.044       | 0.050       |
| 26 | ЛАЗ-4202А                                          | 0.363 | 0.454                 | 0.029            | 0.044       | 0.679                | 0.805      | 3.628           | 2.790      | 0.064                                      | 0.098      | 0.076       | 0.086       |
| 27 | ЛАЗ-699Н                                           | 0.435 | 0.544                 | 0.032            | 0.051       | 0.666                | 0.799      | 6.498           | 4.999      | 0.043                                      | 0.066      | 0.051       | 0.058       |
| 28 | МАЗ-104С-21 до 30.04-02                            | 0.435 | 0.544                 | 0.032            | 0.051       | 0.750                | 0.836      | 2.275           | 1.750      | 0.100                                      | 0.145      | 0.116       | 0.129       |
| 29 | Богдан А-144                                       | 0.226 | 0.283                 | 0.019            | 0.033       | 0.688                | 0.809      | 4.087           | 2.725      | 0.066                                      | 0.117      | 0.084       | 0.099       |
| 30 | КАРІУС-263                                         | 0.399 | 0.499                 | 0.029            | 0.046       | 0.658                | 0.795      | 4.378           | 3.368      | 0.059                                      | 0.092      | 0.071       | 0.081       |
| 31 | МАЗ 104С-21                                        | 0.227 | 0.284                 | 0.018            | 0.027       | 0.692                | 0.811      | 3.803           | 2.925      | 0.063                                      | 0.095      | 0.074       | 0.084       |
| 32 | ЛАЗ-62527                                          | 0.303 | 0.379                 | 0.026            | 0.040       | 0.666                | 0.799      | 3.789           | 2.915      | 0.068                                      | 0.106      | 0.081       | 0.093       |
| 33 | КАРІУС-263 64 64.2.2.2                             | 0.478 | 0.598                 | 0.037            | 0.062       | 0.601                | 0.765      | 3.732           | 2.870      | 0.062                                      | 0.103      | 0.077       | 0.089       |
| 34 | ЛАЗ-6256                                           | 0.275 | 0.344                 | 0.031            | 0.047       | 0.706                | 0.817      | 3.554           | 2.733      | 0.090                                      | 0.136      | 0.106       | 0.120       |
| 35 | КАРІУС-263 00 64.2.2.2                             | 0.603 | 0.754                 | 0.044            | 0.076       | 0.551                | 0.737      | 3.773           | 2.902      | 0.058                                      | 0.100      | 0.073       | 0.085       |
| 36 | КАРІУС-436 01 64.2.2.2                             | 0.420 | 0.526                 | 0.044            | 0.070       | 0.650                | 0.791      | 3.055           | 2.350      | 0.085                                      | 0.134      | 0.102       | 0.117       |
| 37 | Богдан А-231                                       | 0.216 | 0.270                 | 0.030            | 0.046       | 0.688                | 0.809      | 3.185           | 2.450      | 0.112                                      | 0.171      | 0.133       | 0.150       |
| 38 | ЛАЗ-А291                                           | 0.248 | 0.310                 | 0.027            | 0.045       | 0.602                | 0.766      | 3.056           | 2.351      | 0.087                                      | 0.144      | 0.107       | 0.124       |

Рисунок 4.3 – Фрагмент розробленої електронної таблиці

Інформація в електронній таблиці згрупована по марках автобусів. Таблиця поділена на кілька частин, у яких представлено вихідні дані, проміжні розрахунки та показники оцінки ТЕЕА, за якими приймається рішення що до обґрунтування вибору автобуса згідно з концепцією енергозбереження.

#### 4.3 Методика експлуатаційного підвищення транспортної енергоефективності автобуса з урахуванням конструктивних параметрів, а також дорожніх і транспортних умов руху на маршруті

Існуючі методики [10-17, 123] забезпечують підвищення противитратної ефективності двох видів експлуатації автобусів (транспортно-організаційну та комерційну), в яких його властивості розглядаються дуже спрощено - як перевізного засобу. При цьому, враховується тільки одна конструктивно-технічна (пасажиромісткість) і одна експлуатаційна властивість (технічна швидкість), яка

визначається за схемою віртуального транспортування. Такий підхід не дозволяє реалізувати концепцію енергозбереження при експлуатації без врахування конструктивно-технічних і ресурсно-технічних властивостей автобуса.

Для цільового управління та експлуатаційного підвищення енергозберігаючого розвитку автобусного парку актуальним є створення методів комбінаторного аналізу схем функціонування автобуса і композиційного проектування процесу відтворення основного товару автотранспортного комплексу – автотранспортних послуг, що забезпечує заданий рівень енергетичної якості.

Тому була запропонована нова методика експлуатаційного підвищення ТЕЕА [64, 71, 80]. Ця методика на відміну від існуючих заснована на транс-технологічній схемі транспортування пасажирів та враховує виробництво продукту транспорту, виробничу функцію автотранспорту та матеріальну виробничу і модернізаційну компоненту транспортних технологій.

Методики, що використовувались раніше на відміну від запропонованої не можуть науково-обґрунтовано вирішувати задачі технологічно-якісної експлуатації автобусів як носія технічних ресурсів.

Дана методика має дві мети: стратегічна мета – реалізація концепції технологічного енерго- і ресурсозбереження при експлуатації автобуса та тактична мета – забезпечення технологічного вибору автобуса за критерієм ТЕЕА із урахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх і трафікових (автомобільних і пішохідних) умов руху. Крім того, забезпечити вибір автобуса відповідно до поставлених задач та обраних маршрутів згідно концепції енергозбереження.

Для розробки методики експлуатаційного підвищення ТЕЕА були вирішені наступні задачі:

- аналіз технічних характеристик автобусів;
- аналіз характеристик маршруту;



- визначення особливостей функціонування автобуса на маршруті;
- уточнення математичних моделей для експлуатаційного підвищення ТЕЕА;
- розробка методики експлуатаційного підвищення ТЕЕА з урахуванням конструктивних параметрів і умов руху на маршруті.

Математична постановка задачі визначення автобуса із оптимальною СПОКА сформується наступним чином.

Задані:

- 1) конкуруючі варіанти СПОКА автобусів;
- 2) фіксовані характеристики дороги, тестової операції, режимів руху;
- 3) вимоги до рівня ТЕЕА;
- 4) вимоги до рівня показників продуктивності та собівартості.

Знайти варіанти СПОКА, які будуть задовольняти вимогам 3.4.

На рисунку 4.4 представлено алгоритм методики експлуатаційного підвищення ТЕЕА з урахуванням конструктивних параметрів і умов руху на маршруті. В ньому наведено два підходи до вирішення задачі вибору автобуса: організаційний і техніко-технологічний.

Таким чином, реалізація процедур та методів запропонованих у блок-схемі алгоритму методики експлуатаційного підвищення ТЕЕА з урахуванням конструктивних параметрів і умов руху на маршруті дозволить вирішити визначені в роботі задачі та досягти поставленої мети.

Методом параметричного математичного моделювання енергоефективності автобусів з різними конструктивно-технічними характеристиками і з урахуванням змін характеристик маршрутів та дорожніх умов отримані функціональні залежності (табл. 4.1).

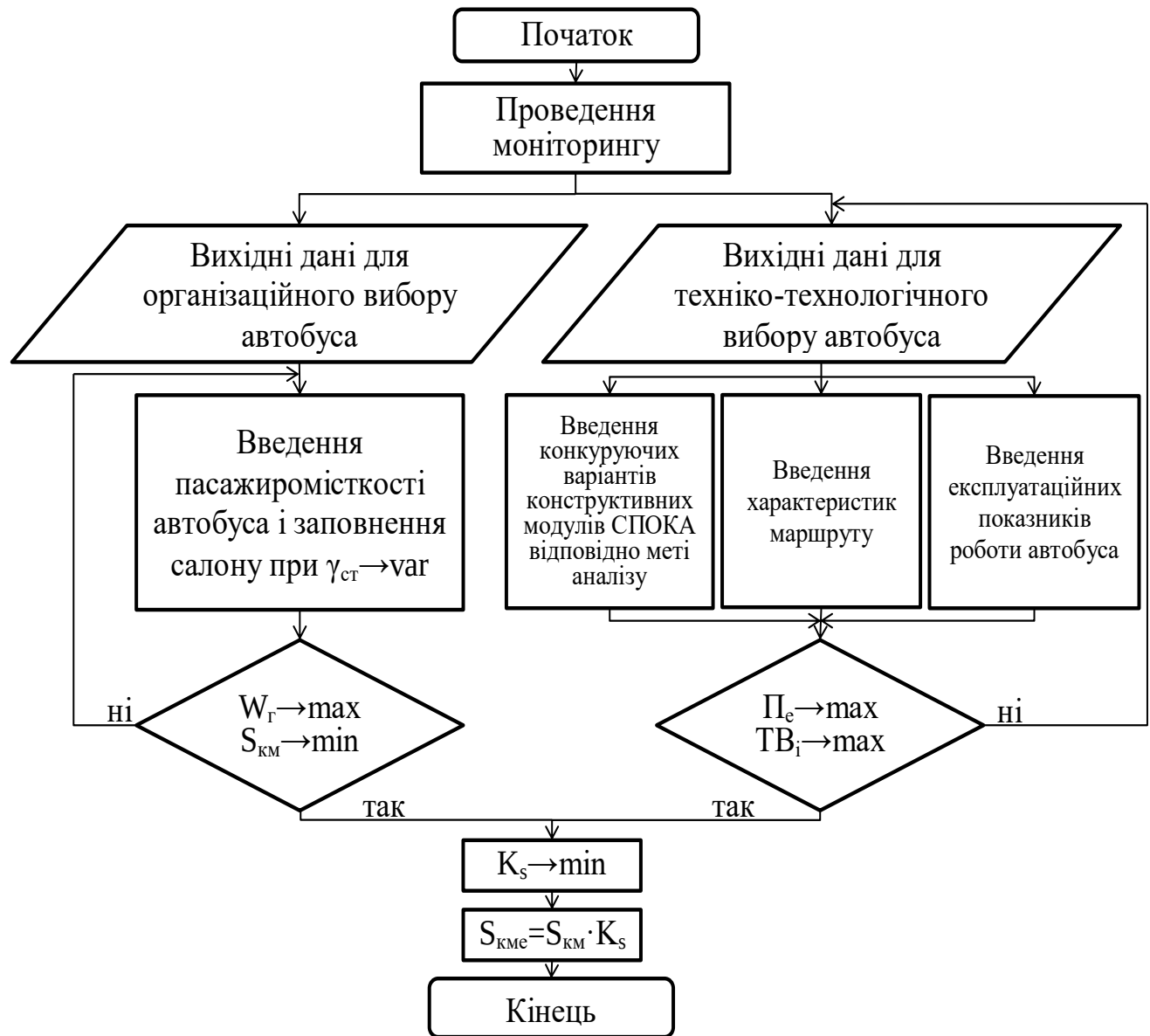


Рисунок 4.4 – Блок-схема алгоритму вирішення задачі техніко-технологічного обґрунтування вибору автобусів для міських маршрутів

В результаті моделювання встановлено, що використані математичні моделі та розроблені алгоритми мають достатню чутливість щодо однопараметричного та багатопараметричного аналізу ТЕЕА.

Таблиця 4.1 – Результати апроксимації залежності показника енергетичної ефективності від вихідних даних для автобуса Богдан А-092

| Залежності         | Формула                             | Величина<br>достовірності<br>апроксимації<br>( $R^2$ ) | Вид<br>апроксимаційної<br>залежності |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| $P_e(l_c)$         | $y = -0,0012x^2 + 0,0487x + 0,0042$ | 0,9994                                                 | Параболічна                          |
| $P_e(\gamma_{cm})$ | $y = 0,005x + 0,269$                | 1                                                      | Пряма                                |
| $P_e(N_m)$         | $y = -0,0013x^2 + 0,0069x + 0,2866$ | 0,9592                                                 | Параболічна                          |
| $P_e(f)$           | $y = -0,006x^2 - 0,011x + 0,306$    | 1                                                      | Параболічна                          |

Це дозволить виконати такий вибір автобуса, який забезпечить врахування комплексу конструктивно-технічних, дорожніх і трафікових (автомобільних і пішохідних) умов руху та буде відповідати концепції енергозбереження.

#### **4.4 Методика врахування транспортної енергоефективності автобуса при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут**

З точки зору інноваційного розвитку транспортних підприємств важливе значення має врахування і реалізація концепції модернізаційно-технологічного розвитку не тільки під час експлуатації автобуса, але і на самих ранніх етапах життєвого циклу автотранспортних послуг. Одним із таких етапів є участі цих підприємств в конкурсах з перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування [55, 56].

Однак, існуючий порядок проведення конкурсу, заснований на методиці організаційного вибору автобусів та не відповідає інноваційно-технологічній концепції експлуатаційно-технологічного енерго-ресурсозбереження. Він враховує лише окремі експлуатаційні показники (пасажиромісткість, витрати на

перевезення, термін експлуатації ТЗ). При цьому не враховуються перспективні, важливі, аспекти експлуатації – підвищення ТЕЕА. В методиках конкурсу не оцінюються такі фактори як : конструктивні параметри, експлуатаційні і дорожні характеристики, що впливають на енергоефективність перевезень на маршруті. Крім того, в першому розділі було встановлено, що методики організаційного вибору автобусів, ґрунтуються на технологічно-консервативних теоріях транспортних процесів і економіки транспорту [10-12, 117, 118], в яких розглядається автобус, як простий віртуальний рухомий кузов, а не як носій технічних ресурсів транспорту [18]. В розрахунковій схемі автобусної операції фіксуються тільки події відправлення та прибуття автобуса на зупинку, а не процес їх енерговитратного та ресурсо-перетворювального переміщення.

З іншого боку, в удосконаленні порядку проведення конкурсу згідно зазначеної концепції перш за все можуть бути зацікавлені органи виконавчої влади, які виконують роль організаторів цього конкурсу. Технологічно-модернізаційне зниження енерго- і ресурсоемності АП є гарантією того, що майбутні тарифи на перевезення можуть залишатися на мінімально допустимому рівні (тому, що на них впливає рівень майбутніх витрат на технічні, енергетичні та трудові ресурси АП). Крім того, відомо, що підвищення ТЕЕА позитивно впливатиме на рівень екологічності АП [124-126].

Дану задачу запропоновано вирішити за допомогою удосконалення існуючого порядку проведення конкурсу серед перевізників претендентів [58, 59].

Метою удосконалення методики є забезпечення вибору перевізника-претендента на обслуговування запропонованого маршруту, парк автобусів якого буде відповідати характеристикам маршруту та забезпечить технологічно-якісне обслуговування пасажирів.

Для досягнення поставленої мети було вирішені наступні задачі:

- аналіз технічних характеристик автобусів;
- аналіз характеристик маршрутів;

- розробка математичних моделей для врахування ТЕЕА;
- удосконалення існуючого порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування.

Математична постановка задачі удосконалення існуючої методики конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті та планування оновлення РС формується наступним чином:

Задані:

- 1) паспорт і схема, характеристики маршруту;
- 2) характеристики автомобільного і пішохідного трафіка;
- 3) дані завантаженості автобуса по перегонах;
- 4) графіки руху автобусів;
- 5) різні варіанти СПОКА автобуса;
- 6) величина тарифу.

Необхідно вирішити задачу техніко-технологічного вибору автобуса за критерієм ТЕЕА і відобразити такий вибір методики конкурсу в якості методичної основи для вирішення цієї задачі.

Згідно першого розділу для забезпечення концептуально-орієнтованого перевізника (концепція експлуатаційно-технологічного енергозбереження) необхідно запропонувати розрахункову модель визначення балів, яка буде враховувати показник ТЕЕА.

Для врахування ТЕЕА використано математична модель показника енергетичної ефективності  $P_e$ . Цей показник, як критерій техніко-технологічної удосконаленості автобуса, пропонується ввести в існуючий комплекс показників конкурсної оцінки при виборі перевізника на обслуговування маршруту.

Алгоритм проведення конкурсу по вибору перевізника на маршрут представлена у вигляді блок-схеми (рис 4.5). Перші 13 блоків схеми є стандартними та торкаються організаційної сторони його проведення.

У 14 блоці запропоновано використання методики для комплексного обґрунтування експлуатаційних і техніко-технологічних якостей автобуса на маршруті, яка також має вигляд блок-схеми і представлена в даній роботі на рисунку 4.4.

Пропонується при виконанні всіх умов, що представлені перед перевізниками, за існуючим порядком проведення конкурсу та після реєстрації всіх необхідних документів визначити кращого перевізника-претендента з використанням удосконаленої бальної системи оцінки, яка дозволить реалізувати підвищення транспортної енергоефективності міських автобусних перевезень за допомогою кількісної оцінки із урахуванням енергоефективності автобуса.

Доповнивши існуючу методику оцінки рухомого складу, яка представлена в 14 блоці алгоритму проведення конкурсу показником  $\Pi_e$ , отримаємо вираз, який дозволяє враховувати енергетичну ефективність автобусів і дає їм кількісну оцінку у вигляді конкурсного балу:

$$b_{\kappa} = b_{\kappa i} + \Delta b_e, \quad (4.4)$$

де  $b_{\kappa i}$  – бал за існуючою методикою;

$\Delta b_e$  – приріст балу з урахуванням енергетичного коефіцієнту:

$$\Delta b_e = a \cdot \Pi_e, \quad (4.5)$$

де  $a$  – розрахунковий коефіцієнт:

$$a = (b_{\partial} - b_{\kappa i}) / \Pi_{e \max}, \quad (4.6)$$

де  $b_{\partial}$  – допустиме значення із урахуванням долі на енергоефективність, яке знаходиться в межах 15-20 % від максимальної кількості балів.

$$b_{\partial} = 1,5 \cdot b_{\max}, \quad (4.7)$$

де  $b_{\max}$  – максимальна кількість балів, що дається на РС за існуючою методикою.

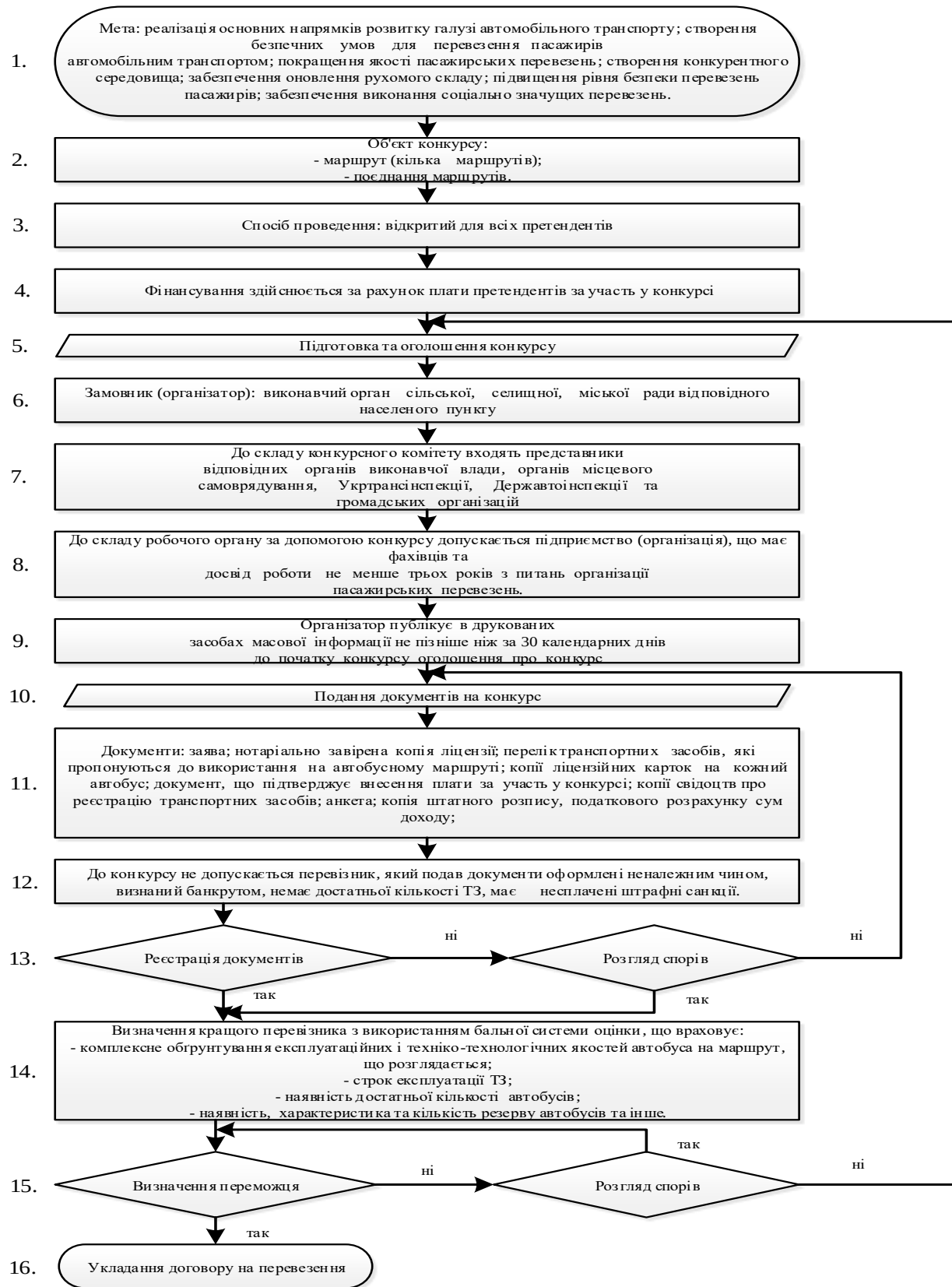


Рисунок 4.4 – Алгоритм проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування

Для більш швидкого та точного розрахунку балів розроблені електронні таблиці за допомогою пакету програм EXCEL.

Таблиці легкі у використанні і дають змогу проводити порівняльний аналіз придатності автобусів до характеристик заданого маршруту за енергоефективністю із переліку наявних у перевізників-претендентів. Також дають можливість систематизувати дані для різних автобусів, характеристик маршрутів, дорожніх умов та ін.

Для прикладу було розглянуто декілька перевізників-претендентів із різними моделями автобусів. Умовно за всіма організаційними показниками вони рівні між собою, а автобуси мають однакову СПОКА. Якщо використати існуючу методику вибору кожен з них може претендувати на обслуговування маршруту, що пропонується. Тоді може бути обрано перевізника-претендента, парк автобусів якого не буде відповідати концепції енергозбереження та не забезпечує технологічно-якісного обслуговування пасажирів.

Використавши запропоноване удосконалення методики проведення конкурсу, замовник, який його організовує, а саме – органи виконавчої влади, мають можливість обрати перевізника-претендента, автобуси якого будуть енергоефективними та відповідатимуть стратегії енергозбереження. Ця методика дозволяє збільшити бали отримані за існуючою процедурою, за рахунок показників енергоефективності, що дасть змогу науковообгрунтовано оцінити і обрати необхідні для перевезення автобуси.

Таким чином, розроблена методика, яка є доповненням існуючого порядку проведення конкурсу, дозволяє реалізувати комплексний підхід до вирішення задачі підвищення технологічного рівня перевезення пасажирів.



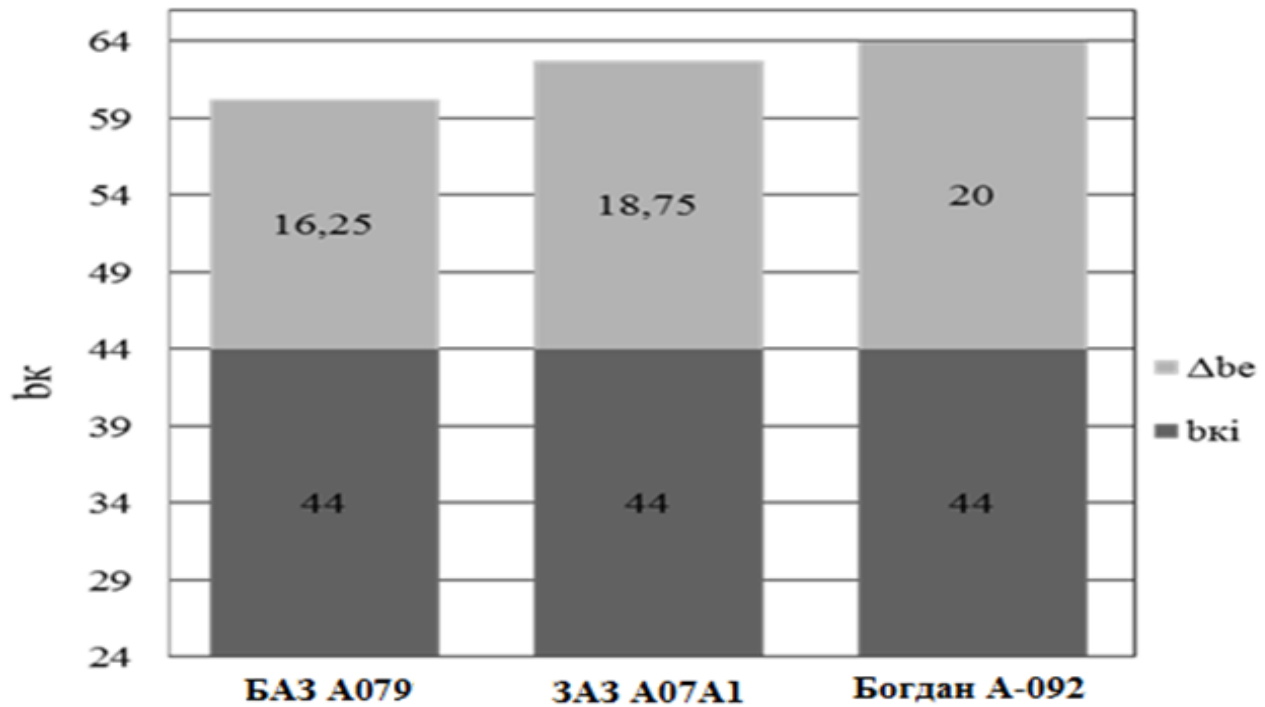


Рисунок 4.6 – Співвідношення балів з урахуванням їх приросту

#### 4.5 Висновки до розділу 4

1. Встановлено, що внаслідок технологічної парадоксальності продукту транспорту та технологічної вродженості існуючих розрахункових схем теорії транспортних процесів останні не можуть бути використані для вирішення задач модернізаційно-технологічного підвищення транспортної енергоефективності МПАП. Ці задачі можуть бути вирішені на основі методів теорії енергоресурсної ефективності.

2. Встановлено, що існуючі методи обґрунтування автобусів не враховують сутність процедур та процесів створення продукту транспорту та його форми і, отже, можуть бути використані лише для вирішення організаційних задач.

3. Встановлено, що за допомогою методів теорії енергоресурсної ефективності автомобіля можна комплексно аналізувати та обґрунтовувати

автобусні парки різних автотранспортних підприємств з урахуванням технічної новизни рухомого складу та впливу дорожніх умов.

4. Розроблено методику експлуатаційного підвищення транспортної енергоефективності автобуса з урахуванням конструктивних параметрів, дорожніх і транспортних умов руху на маршруті яка дозволяє науково-обґрунтовано вирішувати задачі технологічно-якісної експлуатації автобусів як носія технічних ресурсів.

5. Розроблена методика удосконалення існуючого порядку проведення конкурсу по вибору перевізника на маршрут яка дозволить серед транспортних підприємств обрати той, парк автобусів якого буде відповідати характеристикам маршруту та забезпечить технологічно-якісне обслуговування пасажирів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-технічна задача підвищення транспортної енергетичної ефективності МАП шляхом використання техніко-технологічного підходу та методу комплексного (технологічно-організаційного) обґрунтування автобусів як носіїв технічних ресурсів автотранспорту із урахуванням конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів, що дозволяє забезпечити реалізацію концепції експлуатаційно-технологічного збереження енергії в процесах автобусних перевезень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Аналіз існуючих методів обґрунтування оновлення рухомого складу автобусних парків, виявив, їх не відповідність концепції енергозбереження на автотранспорті, оскільки в них використовується спрощений метод підвищення противитратної ефективності автобусних перевезень. Спрощений метод базується на розрахунковій схемі віртуального транспортування пасажирів і на принципі незмінності параметрів транспортних технологій. В зв'язку з цим, вони не дозволяють аналізувати та вдосконалювати техніко-технологічні проекти МАП згідно названої концепції.

2. Уточнено математичну модель аналізу енергетичної ефективності автобусних перевезень за рахунок врахування особливостей функціонування автобуса на міських маршрутах. На її основі запропоновано нову розрахункову схему технологічного транспортування автобуса, а також принцип врахування техніко-технологічної новизни на автотранспорті і транспортних технології, що дозволило вирішувати задачі комплексного підвищення ТЕЕА із врахуванням комплексу конструктивно-технічних, дорожніх та експлуатаційних факторів в умовах їх експлуатації.

3. Розроблено алгоритм імітаційного моделювання технологічного функціонування автобусів на маршруті, що дає змогу враховувати зміну його структурно-параметричної організації та визначити кількісні значення показника транспортної енергоефективності автобусів, а також встановити функціональні залежності впливу на них низки параметрів (дорожніх та транспортно-експлуатаційних) на відміну від існуючих моделей.

4. Встановлено залежності показників енергоефективності автобусів від конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів, що дають змогу комплексно обґрунтувати параметри автобусів у відповідності до умов експлуатації. На основі аналізу отриманих результатів доведена достатня чутливість математичних моделей транспортної енергоефективності. Шляхом аналізу впливу різної довжини перегону між зупинками (від 100 м до 1000 м) встановлено, що на перегонах довжиною 1000 м показник транспортної енергоефективності зростає майже на 32 % по відношенню до перегону в 100 м, що має суттєве значення при плануванні та організації автобусних маршрутів. Крім того, за результатами аналізу впливу максимальної потужності двигуна автобуса Богдан А-092 на показник транспортної енергоефективності встановлено екстремальний характер функціональної залежності, з оптимумом в межах 91...94 к.с.

5. Розроблено методики для комплексного підвищення транспортної енергоефективності МАП з урахуванням техніко-технологічних параметрів починаючи із ранніх етапів експлуатації: «Моніторингу сегментів ринку автобусів»; «Експлуатаційного підвищення ТЕЕА»; «Врахування ТЕЕА при проведенні конкурсу».

На відміну від існуючих ці методики дозволять конкретизувати заходи по експлуатаційному підвищенню транспортної енергоефективності і враховувати їх при плануванні організації міських автобусних перевезень.

6. Результати досліджень та методики експлуатаційного підвищення енергетичної ефективності міських автобусних перевезень апробовані у практичній діяльності ПАТ «САТП 0904». Це дозволило із ряду наявних на підприємстві автобусів обрати ті, що за своїми конструктивно-технічними характеристиками більше відповідають характеристикам маршрутів, що обслуговуються. Крім цього, результати дисертаційної роботи рекомендовано використовувати при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут директоратам з безпеки на транспорті Міністерства інфраструктури України. Розроблені теоретичні та методичні положення використані в навчальному процесі у Національному транспортному університеті при підготовці фахівців спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» з таких дисциплін, як: «Сучасні транспортні технології», «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті» та «Комплексні проблеми технологій пасажирських перевезень».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яцківський Л. Ю., Зеркалов Д. В. Загальний курс транспорту. К. : Арістей, 2007. 544 с.
2. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту [Електронний ресурс]. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html>
3. Пасажирооборот та кількість перевезених пасажирів // База даних «Транспорт» / Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstst.gov.ua>. (дата звернення: 12.03.17).
4. Ігнатенко О.С., Маруніч В.С. Пасажирські перевезення. Київ: НТУ, 2017. 265 с.
5. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. URL: [https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ1\\_u.htm](https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm)
6. Піцик М. Г. Принципи та методи комплексного аналізу транспортно-технологічних процесів за енергетичними критеріями. *LXII науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2007. С. 143.
7. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Шляхи реалізації технологічної концепції комплексного збереження енергії та ресурсів у системі автобусних перевезень. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2019. С 246.
8. Яновський П. О. Пасажирські перевезення. Київ: НАУ, 2008. 469 с.
9. Цибулка Ян., Качество пассажирских перевозок в городах. М.: Транспорт, 2010. 239 с.
10. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. К. : Вища школа, 1986. 447 с.

11. Вельможин А. В., Гудков В. А., Миротин Л. Б. Основы теории транспортных процессов и систем. Волгоград : ВолгПИ, 1992. 192 с.
12. Дмитриченко М. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяева С. В., Докуніхін В. З. Основы теорії транспортних процесів і систем: навчальний посібник для ВНЗ. К. : Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.
13. Афанасьев Л. Л., Воркут А. И., Дьяков А. Б. Пассажирские автомобильные перевозки. М. : Транспорт, 1986. 220 с.
14. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Організація автобусних перевезень у містах. К. : УТУ, 1998. 196 с.
15. Доля В. К. Пассажирські перевезення. Харків : Форт, 2011. 504 с.
16. Спирин И. В. Городские автобусные перевозки: справочник. М. : Транспорт, 1991. 237 с.
17. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В., Ширяев С. А. Пассажирские автомобильные перевозки. М. : Горячая линия – Телеком, 2006. 448 с.
18. Хабутдинов Р. А. Системное формирование технологий автомобильных перевозок по критериям энерго- и ресурсоотдачи : дис. докт. техн. наук: 05.22.01. Киев, 2003. 332 с.
19. Петрашевский О. Л., Хабутдинов А. Р. Метод риско-регулятивного обеспечения технологической успешности движенческих операций автомобильных перевозок //Вісник Національного транспортного університету. 2012. № 26 (2). С. 243-247.
20. Осташевский С.А. Теоретические основы и практические методы оценки и повышения эффективности системы "автомобиль-водитель-дорога": автореф. дис. докт. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2015. 43 с.
21. Кравченко О. П. Технічна експлуатація автомобілів. Теоретичні основи : навчальний посібник. Луганськ : СНУ, 2005. 104 с

22. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія : підручник. К.: Вища шк., 2007. 527с.
23. Коваленко Н. А., Лобах В. П., Веприцев Н. В. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. пособие. Минск : Новое знание, 2008. 352 с.
24. Хабутдінов Р. А. Концептуальна характеристика транспортної системи та її інтегративної властивості // Управління проектами, системний аналіз і логістика. 2006. № 3. С. 153 – 157.
25. Хабутдінов Р. А., Коцюк О. Я. Энергоресурсна ефективність автомобіля. К. : УТУ, 1997. 137 с.
26. 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.
27. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. Москва: Транспорт, 2009. 267 с.
28. Железняк О. О., Олещенко Л. М. Визначення собівартості пасажирсько-транспортного процесу. Актуальні проблеми економіки. 2012. №11, С. 218-226.
29. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Аналіз експлуатаційно-технологічних характеристик міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2008. № 17. С. 160 – 163.
30. Піцик М. Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів сімейства «Богдан». *LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2008. С 156.
31. Піцик М. Г. Аналіз транспортно-технологічних процесів автобусних перевезень в умовах міста за енергетичними критеріями. *LXVI науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету: тези доповідей.* Київ, 2010. С 178.



32. Піцик М. Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів. *LXV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2009. С 158.

33. Піцик М. Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів на міському маршруті за енергетичними критеріями. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2011. С 168.

34. Піцик М. Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів на маршруті за енергетичними критеріями. *LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2013. С 216.

35. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Аналіз енергоефективності АТЗ для здійснення міських вантажних перевезень. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2015. С 256.

36. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Аналіз транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2017. С 246.

37. Піцик М. Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2018. С 231.

38. Піцик М.Г. Аналіз впливу умов руху на показники технологічної якості АТЗ. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2019. С 246-247.

39. Пицык М. Г., Хмелёв И. В. Метод оценки проектов пассажирских перевозок с учётом изменения конструктивных параметров автобусов // Вестник БУТ: Наука и транспорт, №1 (38), 2019, с. 22-24.

40. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430. К. : КМУ, 2018.

41. Самойлов Д. С. Городской транспорт. М. : Стройиздат, 1983. 384 с.

42. Юдин В. А., Самойлов Д. С. Городской транспорт. М. : Стройиздат, 1975. 287с.

43. Островского Н. Б. Пассажирские автомобильные перевозки. М : Транспорт, 1986. 224 с.

44. Александров Л. А., Козлов Р. К. Организация управления на автомобильном транспорте. М. : Транспорт, 1985. 264 с.

45. Зимелев Г. В. Теория автомобиля. М. : Машгиз, 1959. 312 с.

46. Фалькевич Б. С. Теория автомобиля: учебник для вузов. М. : Машгиз, 1963. 239 с.

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

48. Великанов Д. П. Эффективность автомобиля. М. : Транспорт, 1969. 284 с.

49. Великанов Д. П. Развитие автомобильных транспортных средств. М. : Транспорт, 1984. 120 с.

50. Лурье М. И., Токарев А. А. Скоростные качества и топливная экономичность автомобиля. М. :Машиностроение, 1967 163 с.

51. Хабутдинов Р. А. Транспортная эффективность автомобиля в процессе дорожного движения // Респ. межвед. научн.-техн. сб. Автомобильный транспорт. К. : Техника, 1989. № 26. С. 18-22.

52. Хабутдинов Р. А. О системном анализе путей энергоресурсосбережения при проектировании и эксплуатации автомобиля // Автошляховик України. 1993. № 3. С. 33-35.

53. Хабутдинов Р. А. Теория автомобильного подвижного состава для энергосберегающих технологий систем перевозок // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: зб. наук. пр. К. : НТУ, ТАУ. 2002. № 13. С. 19-22.

54. Хабутдінов Р. А. Методи параметричного аналізу автомобілів для ресурсозбереження // Автошляховик України // Вісник ІНЦ ТАУ. 2000.-№ 3. С. 33-34.

55. Про затвердження Порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування : Постанова Кабінету Міністрів України від 03.12.2008 № 1081. К. : КМУ, 2008.

56. Нагорный Е. В., Сословский В.Г., Токарев К.А. Определение победителей конкурса на обслуживание городских автобусных маршрутов Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. 2005. Вып.63. С. 288–300.

57. Закон України “Про автомобільний транспорт” № 22. К. : ВРУ, 2001.

58. Піцик М. Г. Вдосконалення конкурсної методики оцінки перевізників при виборі автобусів на маршрут // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. К. : 2012. № 9. С. 155-157.

59. Піцик М. Г. Аналіз методики конкурсного вибору перевізників на міських маршрутах. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних співробітників університету*: тези доповідей. Київ, 2014. С 205.

60. Хабутдинов Р. А. Комплексные методы реализации энерго- и ресурсосберегающих технологий перевозок в логистических системах. *Збірник доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики»*. К. : Автоекспо. 2005. С. 141 – 144.

61. Піцик М. Г. Експлуатаційне обґрунтування параметрів міських автобусів по їх транспортній ефективності // *Вісник Національного транспортного університету*. К. : 2012. № 26(2). С. 254-258.

62. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Методика оцінки транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2014. С 204.

63. Піцик М. Г. Методика оцінки техніко-технологічних якостей автобусів, що здійснюють перевезення по місту. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2015. С 256.

64. Піцик М. Г. Методика обґрунтування вибору автобуса на міський маршрут з урахуванням його транспортної енергоефективності. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2016. С 231.

65. Вельможин А. В. Теория организации и управления автомобильными перевозками: логистический аспект формирования перевозочных процессов: монография. Волгоград : РПК "Политехник", 2001. 177 с.

66. Вельможин А. В. Измерение эффективности автоперевозок: монография. Волгоград : Нижне-Волж., 1985. 144 с.

67. Мун Э. Е, Рубец А. Д. Организация перевозок пассажиров маршрутными такси. М. : Транспорт, 1986. 136 с.
68. Таранов А. Т. Перевозка пассажиров автомобильным транспортом. Изд. 2-е перераб. и дополн. М. : Транспорт, 1972. 316 с.
69. Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки. М. : Транспорт, 1981. 198с.
70. Володин Е. П., Громов Н. И. Организация и планирование перевозок автомобильным транспортом: учебник. М. : Транспорт, 1982. 224 с.
71. Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П., Піцик М. Г. Концептуально-орієнтований метод підвищення технологічної енергоефективності автобусів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Сєвєродонецьк. 2011. № 5 (1). С. 208-212.
72. Хабутдінов Р. А., Хмельов І. В. Концептуальний показник транспортно-технологічної якості автопоїздів // Проблеми транспорту : зб. наук. праць. 2007. № 4. С. 114 – 117.
73. Хабутдінов Р. А., Піцик М. Г., Ткаченко С. П. Кількісна оцінка машинних процедур транспортних технологій автобусних перевезень // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2011. № 8. С. 207 – 209.
74. Бычков В. П. Экономика автотранспортного предприятия: учебник. М. : ИНФРА-М, 2006. 384 с.
75. Автотранспортные предприятия: нормативное регулирование деятельности. М. : Современная экономика и право, 2000. 215 с
76. Ефанов А. В., Зырянова Н. И. Экономика автотранспортного предприятия: учебное пособие для вузов. Екатеринбург : РГППУ, 2006. 218 с.
77. Кудинова Л.А. Применение теории систем к проблеме управления на городском пассажирском транспорте. Экономические основы совершенствования

управления на автомобильном транспорте. Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2012. 315 с.

78. Хабутдінов Р. А. Енергоресурсний аналіз технічного розвитку рухомого складу автотранспорту // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: зб. наук. пр. К. : НТУ, ТАУ, 2001. Вип.11. С.157-160.

79. Хабутдінов Р. А. Логіко-поняттєвий апарат теорії транспортних технологій // Вісник Національний транспортний університет. 2007. Вип.13. С. 33-34.

80. Хмельов І. В., Гусєв О. В., Піцик М. Г. Методика аналізу енергетичної ефективності транспортних засобів з урахуванням умов перевезень // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 (1). С. 348-353.

81. Хабутдинов Р. А. Управление энергоресурсной эффективностью автомобиля в его жизненном цикле. *Материалы международной научно-технической конференции “Проблемы транспорта и пути их решения”*. Киев. 1997. С. 56-57.

82. Свідерський Є. І. Бухгалтерський облік у галузях економіки: навч. посібник. К. : КНЕУ, 2004. 233 с.

83. Хабутдінов Р. А. Методологічні основи транспортно-технологічної енергології // Зб. наук. праць “Проблемі транспорту”. К. : НТУ, 2006. Вип.3. С 164–168.

84. Хабутдінов Р. А. Методологія концептуально-новаційного управління технологічним розвитком автотранспорту // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 С 409-414.

85. Хабутдинов Р. А. Безопасное и экономичное управление автомобилем. К. : Знание, 1986, 23с.

86. Хабутдінов А. Р. Ризико-регулятивне водіння як процедурний чинник безпеки та енергоефективності автомобільного руху // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2011. № 8. С. 204-207.

87. Хабутдінов Р. А., Хабутдінов А. Р. Концептуальна схема структурно-параметричної організації транспортної системи і технологічна ресурсосінергія в ній // Вісник Національного транспортного університету. 2008. № 17. С 134-142.

88. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. М. : Академия, 2003. 400 с.

89. Ищенко В. И., Поберезкин Г. А., Штанов В. Ф. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом. К. : Техника, 1988. 94 с.

90. Хмельов І. В., Гусєв О. В., Піщик М. Г. Метод оцінки транспортно-технологічної якості автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2017. № 1 (37). С. 410 – 415.

91. Дмитриченко М.Ф., Лановий О.Т., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Основи теорії систем і управління (Книга 1) Київ: Знання України, 2005. 344 с.

92. Лащенко О.А., Кузькін О.Ф. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем: навч. посібн. Запоріжжя: ЗНТУ, 2006. 435 с.

93. Тарасик В. П. Теория движения автомобиля. СПб. : ВНУ, 2006. 480 с.

94. Вахламов В. К. Конструкция, расчёт и эксплуатационные свойства автомобилей. М. : Академия, 2007. 560 с.

95. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. Пер. с англ. М. : Машиностроение, 1982. 284 с.

96. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. М. : Машиностроение, 1989. 240 с.

97. Токарев А. А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. М. : Машиностроение, 1982. 222 с.

98. Токарев А. А. Об оценке тяговых качеств автобусов городского типа. Автомоб. пром-ть. 1960. №11.
99. Аринин И.Н., Коновалов С.И., Баженов Ю.В. Техническая эксплуатация автомобилей. Изд. 2-е. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 314 с.
100. Прокудін Г.С., Омаров Д.М. Підвищення ефективності та якості автобусних пасажирських перевезень. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2014. С. 209.
101. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Підвищення продуктивності та якості автобусних пасажирських перевезень в місцях-конгломераціях // Науковотехнічний збірник «Вісник НТУ». Київ: НТУ, 2016. № 1 (34). Серія «Технічні науки». С. 378–387.
102. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Удосконалення організації перевезень пасажирів у великих містах // Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». Київ: НТУ, 2015. Вип. 16. Част. 1: «Технічні науки». С.125–135.
103. Єрмак О.М., Пустовіт В.І. Щодо визначення якості пасажирських перевезень / Міжвузівський збірник „Наукові нотатки”. Київ, 2014. Вип. 46. С. 170–176.
104. Гілевська К.Ю., Сокульський О.Є., Васільцова Н.М. Контроль якості транспортних послуг для підвищення ефективності організації автобусних маршрутів МПТС. Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». Київ: НТУ, 2014. Вип. 13. С. 163–171.
105. Хабутдінов Р. А., Піцик М. Г. Обґрунтування вибору автобусів з використанням моделі енергетичного показника собівартості // Вісник Національного транспортного університету. 2009. № 19(2). С. 111 – 114.
106. Волков Е. В. Теория движения автомобиля : монография. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 204 с.



107. Мирошниченко М.Е. Автобусы Богдан. Руководство по ремонту и эксплуатации. Днепропетровск: Монолит, 2009. - 370 с.
108. Илларионов В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля. М. : Машиностроение, 1966. 260 с.
109. Гащук П. Н Оптимизация топливно-скоростных свойств автомобиля. Львов : Вища шк., 1987. 168 с.
110. Островцев А. Н. Основы проектирования автомобилей. М. : Машиностроение, 1968. 204 с.
111. Гришкевич А. И., Бусел Б. У., Бутусов Г. Ф. и др. Проектирование трансмиссий автомобилей. Справочник. М. : Машиностроение, 1984. 272 с.
112. Токарев А. А. Исследование тягово-скоростных свойств и топливной экономичности городских автобусов: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1961. 190 с.
113. Токарев А. А. Оценка топливной экономичности автобусов городского типа // Автомоб. пром-ть. 1961. №3.
114. Токарев А. А. Определение эксплуатационных расходов топлива городскими автобусами типа // Автомоб. пром-ть. 1961. №12.
115. Сокульський О.Е., Гілевська К.Ю., Панченко Д.Л. Методика визначення інтервалу руху пасажирського транспортного засобу на маршруті МПТС, з урахуванням пасажиропотоків, коефіцієнту заповнення салону та часу чекання пасажиром на зупинці. Науковий журнал “Управління проектами, системний аналіз і логістика”. К.: НТУ, 2014. Вип. 14. С. 223–232.
116. Кавець В. Н. Проектирование автомобиля. Нижний Новгород : 1992. 230 с.
117. Шеремет А. Д., Хорин А. Н. Теория экономического анализа: учебник. 4-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 389 с.
118. Лавриков И. Н., Пеньшин Н. В. Экономика автомобильного транспорта: учебное пособие. Тамбов : ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 116 с.

119. Хабутдинов Р. А. Управление энергоресурсной эффективностью автомобиля в его жизненном цикле. *Материалы международной научно-технической конференции “Проблемы транспорта и пути их решения”*. Киев, 1997. С. 56-57.

120. . Хмельов І. В., Піцик М. Г. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів // *Проблеми транспорту*. 2011. № 8. С. 83 – 87.

121. Хмельов І. В., Гусев О. В., Алексеєнко О. В., Піцик М. Г. Моніторинг енергетичної ефективності міських автобусів // *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. № 34. С. 499 – 505.

122. Піцик М. Г. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2012. С. 200.

123. Про затвердження Методичних рекомендацій визначення рівня тарифів на послуги пасажирського автотранспорту загального користування : Наказ Міністерства транспорту України від 25.06.2003 № 461. К.: МТУ, 2003.

124. Хабутдінов Р.А. Інтегровані бази знань для вирішення задач ресурсозбереження і екології в автотранспортній системі. *Тези доповідей IV міжнародної конференції про роль університетів у майбутньому інформаційному суспільстві “RUFIS-2000”*. Київ, 2000. С. 24-25.

125. Хабутдінов Р. А. Теорія ресурсно-екологічної прогресивності транспортних зв’язків // *Вісник: зб. наук. пр. НТУ та ТАУ*. 2000. № 4. С.61-63.

126. Матейчик В. П., Цюман М. П., Смешек М. Особливості моніторингу і контролю показників екологічної безпеки транспортних засобів і транспортних потоків в умовах інтелектуальних систем // *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. № 1. С. 255-266.

**ДОДАТОК А**  
**АКТИ, ДОВІДКИ ВПРАВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ**  
**ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з навчальної роботи  
Національного транспортного  
університету



к.т.н., проф. О.К. Гришук

2019 р.

**АКТ**

про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи  
Піцика Максима Григоровича  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
на тему: «Підвищення транспортної енергоефективності міських  
пасажирських автобусних перевезень»

Результати, представлені в дисертаційній роботі Піцика М.Г., використовуються у навчальному процесі для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», а саме – закономірності впливу на транспортну енергоефективність різних міських автобусів таких факторів як: характеристика дороги, характеристика маршруту, експлуатаційні фактори та конструктивні параметри автобусу.

Зокрема, результати використовуються у лекціях, лабораторних та практичних заняттях з дисциплін: «Сучасні транспортні технології», «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті» та «Комплексні проблеми технологій пасажирських перевезень», а також при виконанні бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт.

Декан факультету транспортних  
та інформаційних технологій,  
д.ф.-м.н., професор

В.Д. Данчук

Завідувач кафедри  
транспортних технологій,  
д.т.н., професор

Р.А. Хабутдінов

УКРАЇНА  
ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
**СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ АВТОТРАНСПОРТНЕ  
ПІДПРИЄМСТВО 0904**

03151, м. Київ-151, Повітрофлотський проспект, 72. Тел.: +380 (044) 249-0251, 249-0261. Факс: +380 (044) 242-508

№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ Від \_\_\_\_\_

Р/рахунок 26005586776  
в АТ "Раифаїзен банк АВАЛЬ"  
МФО 380805  
Ідентифікаційний код 00435560

### ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Піцика Максима Григоровича  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
на тему «Підвищення транспортної енергоефективності міських  
пасажи́рських автобусних перевезень»

Результати дисертаційної роботи аспіранта Національного транспортного університету (НТУ) Піцика Максима Григоровича є актуальними, становлять практичний інтерес і містять розробку методик для застосування при вирішенні задач планування оновлення рухомого складу і організації перевезень.

Розроблені методики дозволяють управлінським структурам по організації роботи автобусних перевезень проводити:

- маркетинговий моніторинг енергетичної ефективності нових автобусів на ринку їх продажу при обґрунтуванні проектів оновлення рухомого складу згідно вимоги технологічного енергозбереження на автотранспорті;
- експлуатаційний аналіз транспортної енергоефективності автобусів із урахуванням характеристик маршрутів для формування енергозберігаючих транспортних технологій;
- оцінку наявного рухомого складу за рівнем їх транспортної енергоефективності для використання на маршрутах, що обслуговуються.

Практична реалізація цих досліджень дозволить реалізувати технологічно-інноваційний підхід до розвитку автобусних перевезень згідно концепції підвищення енергоефективності та обґрунтувати енергоефективні проекти автобусних перевезень з урахуванням технологічної новизни, а також з урахуванням дорожніх факторів. Крім того, враховується також фактор впливу морального зносу, який є дуже важливим для застарілого рухомого складу на підприємстві.

Розроблені методики дозволяють отримати сполучений ефект у сфері автобусних перевезень: підвищення середньої швидкості автобуса між зупинками і зростання паливовіддачі на маршрутах, що розглядаються з урахуванням вищезгаданих факторів.

На увагу заслуговують також розглянута в роботі методика врахування транспортної енергоефективності автобусів при проведенні конкурсу по

вибору перевізника на маршрут, яка дозволяє врахувати особливості маршруту та одночасно забезпечити підвищення транспортної енергоефективності.

Т.в.о. генерального директора



Пісной Я. Г.



МІНІСТЕРСТВО  
ІНФРАСТРУКТУРИ  
УКРАЇНИ  
ДИРЕКТОРАТ З БЕЗПЕКИ  
НА ТРАНСПОРТІ

просп. Перемоги, 14, м. Київ, 01135,  
тел. (044) 351-49-65, сайт: mtu.gov.ua

MINISTRY  
OF INFRASTRUCTURE  
OF UKRAINE  
DIRECTORATE FOR SAFETY  
ON TRANSPORT

14, Peremohy ave., Kyiv, 01135, Ukraine  
tel: (+38 044) 351-49-65, сайт: mtu.gov.ua

*Про впровадження результатів дисертаційної роботи*

Піцику М.Г.

Тема дисертації безперечно важлива для сучасного розвитку автомобільного транспорту України. Результати дисертаційної роботи на тему: «Підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень» аспіранта Національного транспортного університету (НТУ) Піцика Максима Григоровича мають практичний та науковий інтерес і містять розробку комплексу методик організаційно-технологічного енергозбереження на пасажирському автотранспорті в умовах його інноваційного розвитку, який складається з:

- методики моніторингу заданого сегменту ринка автобусів за рівнем їх транспортної енергетичної ефективності;
- методики експлуатаційного підвищення транспортної енергоефективності автобусів з урахуванням конструктивних параметрів, а також дорожніх і транспортних умов руху на маршруті;
- методики врахування транспортної енергоефективності автобусів при проведенні конкурсу по вибору перевізника на маршрут.

Особливої уваги заслуговує те, що в роботі використовувалась адаптивна модель транспортної операції, яка дозволяє забезпечити транспортну безпеку руху автобуса на маршруті, шляхом використання безпечних трудових і машинних процедур транспортних технологій з врахуванням дорожніх факторів, інтенсивності руху, щільності потоку та ін.

Розроблений комплекс методик дозволить, комплексно удосконалювати організаційні та технологічно-інноваційні проекти міських пасажирських перевезень згідно концепції технологічно-інноваційного енергозбереження в процедурно-безпечних транспортних операціях.

Генеральний директор

Антон ЩЕЛКУНОВ




№39/15148-19 від 11.10.2019

## **ДОДАТОК Б**

### **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

**Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукових баз:**

1. Пицык М. Г., Хмелёв И. В. Метод оценки проектов пассажирских перевозок с учётом изменения конструктивных параметров автобусов // Вестник БУТ: Наука и транспорт. 2019. №1 (38). С. 22-24.

**Статті у фахових виданнях України:**

2. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Аналіз експлуатаційно-технологічних характеристик міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2008. № 17. С. 160-163.

3. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А. Обґрунтування вибору автобусів з використанням моделі енергетичного показника собівартості // Вісник Національного транспортного університету. 2009. № 19 (2). С. 111-114.

4. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів // Проблеми транспорту. 2011. № 8. С. 83-87.

5. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П. Кількісна оцінка машинних процедур транспортних технологій автобусних перевезень // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2011. № 8. С. 207-209.

6. Піцик М. Г., Хабутдінов Р. А., Ткаченко С. П. Концептуально-орієнтований метод підвищення технологічної енергоефективності автобусів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. 2011. № 5 (1). С. 208-212.



7. Піцик М. Г. Експлуатаційне обґрунтування параметрів міських автобусів по їх транспортній ефективності // Вісник Національного транспортного університету. 2012. № 26 (2). С. 254-258.

8. Піцик М. Г. Вдосконалення конкурсної методики оцінки перевізників при виборі автобусів на маршрут // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2012. № 9. С. 155-157.

9. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В. Методика аналізу енергетичної ефективності транспортних засобів з урахуванням умов перевезень // Вісник Національного транспортного університету. 2014. № 29 (1). С. 348-353.

10. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В., Алексєєнко О. В. Моніторинг енергетичної ефективності міських автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2016. № 34. С. 499-505.

11. Піцик М. Г., Хмельов І. В., Гусєв О. В. Метод оцінки транспортно-технологічної якості автобусів // Вісник Національного транспортного університету. 2017. № 1 (37). С. 410-415.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

12. Піцик М.Г. Принципи та методи комплексного аналізу транспортно-технологічних процесів за енергетичними критеріями. *LXIII науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2007. С. 143.

13. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів сімейства «Богдан». *LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2008. С. 156.

14. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів. *LXV науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2009. С. 158.

15. Піцик М.Г. Аналіз транспортно-технологічних процесів автобусних перевезень в умовах міста за енергетичними критеріями. *LXVI науково-практична конференція науково-педагогічних співробітників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2010. С. 178.

16. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів на міському маршруті за енергетичними критеріями. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2011. С. 168.

17. Піцик М.Г. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2012. С. 200.

18. Піцик М.Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів на маршруті за енергетичними критеріями. *LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2013. С. 216.

19. Піцик М.Г. Аналіз методики конкурсного вибору перевізників на міських маршрутах. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2014. С. 205.

20. Піцик М.Г. Методика оцінки техніко-технологічних якостей автобусів, що здійснюють перевезення по місту. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ, 2015. С. 256.

21. Піцик М.Г. Методика обґрунтування вибору автобуса на міський маршрут з урахуванням його транспортної енергоефективності. *LXXII наукова*

*конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2016. С. 231.*

22. Піцик М.Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2018. С. 231.*

23. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Шляхи реалізації технологічної концепції комплексного збереження енергії та ресурсів у системі автобусних перевезень. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С. 246.*

24. Піцик М.Г. Аналіз впливу умов руху на показники технологічної якості АТЗ. *LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С. 246-247.*

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

25. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Методика оцінки транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2014. С. 204.*

26. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Аналіз енергоефективності АТЗ для здійснення міських вантажних перевезень. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2015. С. 256.*

27. Піцик М.Г., Хмельов І.В. Аналіз транспортно-технологічної якості транспортних засобів. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ, 2017. С. 246.